

SZAKDOLGOZAT

OE-YBL
2024.

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Jenei Dávid József





ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar
Építőmérnöki Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Jenei Dávid József

Szakedolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: [REDACTED]

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: Építőmérnöki

Specializáció: Tűz- és katasztrófavédelmi

A dolgozat címe: A tűzoltás és az életmentés sajátosságai az észak-déli metróvonalon

A dolgozat címe angolul: Specifics of fire fighting and life saving on the north-south metro line

A feladat részletezése: A metróvonal bemutatása, az alagút és a szerelvények paramétereinek ismertetése. Tűzkeletkezési okok számbavétele, úgymint műszaki meghibásodás, emberi gondatlanság, baleset. A tűz-és füstterjedés a metrókocsokban és a metróalagútban, a hő- és füstelvezetés bemutatása. Beavatkozás a kárhelyszínen, úgymint felderítés, kiürítés, életmentés, tűzoltás. Lehetséges fejlesztési irányvonalak.

Intézményi konzulens neve: Dr. Fehérvári Sándor

Külső konzulens neve: Nagy László

Munkahelye: Fővárosi Katasztrófavédelmi Műveleti Szolgálat

A kiadott téma elévülési határideje: 2027. 12. 31.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar
Építőmérnöki Intézet
1446 Budapest, Thököly út 74.
1442 Budapest, 70., Pf. 117.

Kiadva: Budapest, 2023. 10. 30.

P.H

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2023. 12. 15.

[Signature]
belső konzulens

[Signature]
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar

SZAKDOLGOZAT KONZULTÁCIÓS NAPLÓ

Hallgató neve:

JENEI DÁVID JÓZSEF

Neptun Kód:

[REDACTED]

Tagozat:

NAPPALI

Telefon:

[REDACTED]

Levelezési cím:

[REDACTED]

Szakedolgozat címe magyarul:

A TŰZOLTÁS ÉS AZ ÉLETMENTÉS SZÁJTOSSÁGAI AZ ÉSZAK-DELI METRÓVONALON

Szakedolgozat címe angolul:

SPECIFICS OF FIRE FIGHTING AND LIFE SAVING ON THE NORTH-SOUTH METRO LINE

Intézményi konzulens:

[Signature]

Külső konzulens:

[Signature]

Alk.	Dátum	Tartalom	Aláírás
1.	2023.10.11.	Tartalmi egyeztetés	[Signature]
2.	2023.11.20.	Tűzoltói beavatkozás	[Signature]
3.	2023.11.23.	Tartalmi és formai követelmények	[Signature]
4.	2023.12.12.	Leadás előtti egyeztetés	[Signature]

A Konzultációs naplót összesen 4 alkalommal az egyes konzultációk alkalmával kell láttamoztatni bármelyik konzulenssel.

A hallgató a „Szakedolgozat” tantárgy aláírási követelményét teljesítette.

[Signature]

Intézményi konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Jenei Dávid József hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2023. 12. 14.

hallgató aláírása

Köszönetem fejezem ki Héri József úrnak a Budapesti Közlekedési Vállalat Zrt. (BKV Zrt.) Metró Üzemigazgatóság igazgatójának és Dr. Varga Ferenc tűzoltó dandártábornok úrnak a Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság (FKI) igazgatójának, hogy dolgozatom elkészítéséhez engedélyezték, hogy a BKV Zrt. Metró Üzemigazgatóság és az FKI segítséget nyújtson.

Külön Köszönetem fejezem ki a dolgozat megírásához nyújtott segítségért Siposné Koncz Judit asszonynak a Metró Infrastruktúra Főmérnökség, Metró Infrastruktúra Műszaki Osztály osztályvezetőjének, Nagy László tű. alezredes úrnak a Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság Katasztrófavédelmi Műveleti Szolgálat KMSZ vezetőjének és Dr. Fehérvári Sándor tanár úrnak.

A TŰZOLTÁS ÉS AZ ÉLETMENTÉS SAJÁTOSSÁGAI AZ ÉSZAK-DÉLI METRÓVONAL ALAGÚTJÁBAN

Összefoglalás.

A témával kapcsolatos legfontosabb kutatási eredmények és szakirodalmi megállapítások bemutatását követően, az Árpád-hídnál 2011-ben történt tüzeset során végrehajtott tűzoltási, mentési művelet és a metróvonal rekonstrukciója során, az észak-déli metróvonalon (M3) telepített tűzvédelmi berendezések elemzése. A Dózsa György úti metróállomás kiürítéséről Pathfinder szoftverrel három különböző beállítással szimuláció készítése. A szimuláció futtatása során kapott eredmények elemzése, továbbá a szimulációk összehasonlítása egymással és a hatóság által jóváhagyott kéziszámolás kiürítési eredményével. Végül következtetések levonása a modellezés alapján kapott eredményekből. Szakdolgozatom megírásának fő célja az volt, hogy bemutassam és elemezzem az M3-as metró területén esetlegesen keletkezett tüzek alkalmával szükségessé váló kiürítés, hő- és füstelvezetési taktika, életmentés és tűzoltás sajátosságait.

Kulcsszavak: alagút tűzdinamika, hőfelszabadulási sebesség (HRR), hő- és füstelvezetés, passzív és aktív tűzvédelmi rendszerek, kiürítés, Pathfinder szoftver alkalmazásával végzett kiürítési szimuláció, hő- és füstelvezetési taktika, tűzoltás és mentés

Summary.

After the presentation of the most important research results and literature findings related to the topic, an analysis of the fire protection equipment installed on the north-south metro line (M3) during the firefighting and rescue operation carried out during the fire at the Árpád Bridge in 2011 and during the reconstruction of the metro line. Creating a simulation of the evacuation of the Dózsa György út metro station using Pathfinder software with three different settings. Analysis of the results obtained during the running of the simulation, as well as the comparison of the simulations with each other and with the emptying result of the manual calculation approved by the authority. Finally, drawing conclusions from the results obtained based on the modeling. The main purpose of writing my thesis was to present and analyze the specifics of evacuation, heat and smoke evacuation tactics, life saving and fire fighting necessary in the event of fires that may occur in the area of the M3 subway.

Keywords: tunnel fire dynamics, heat release rate (HRR), heat and smoke evacuation, passive and active fire protection systems, evacuation, evacuation simulation using Pathfinder software, heat and smoke evacuation tactics, firefighting and rescue

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	10
2. Szakirodalmi áttekintés	12
2.1 Irodalomkutatás	12
2.1.1 Metró tűzvizsgálatok áttekintése	12
2.1.2 Metrójárműtüzek hőfelszabadulási sebessége HRR	15
2.1.3 Füst rétegződése alagútban	18
2.1.4 Passzív tűzvédelem metró állomásokon és a vonalalagutakban	21
2.1.5 Aktív tűzvédelem metró állomásokon és vonalalagutakban	23
2.1.5.1 Tűzjelző érzékelő rendszerek	24
2.1.5.2 Normál szellőzés	26
2.1.5.2.1 Hosszirányú szellőzés	27
2.1.5.2.2 Keresztirányú szellőzés	29
2.1.5.2.3 Félig keresztirányú szellőztetés	30
2.1.5.3 Hosszirányú hő- és füstelvezetés	31
2.1.5.3.1 Kritikus sebesség	31
2.1.5.3.2 Back-Layering hossza	32
2.1.5.4 Füstelvezetés	32
2.1.5.4.1 Egyponthoz vezető rendszer	34
2.1.5.4.2 Kétpontos elszívó rendszer	35
2.1.5.5 Vízalapú fix tűzoltó rendszerek (FFFS)	36
2.1.5.5.1 Vízpermetező rendszerek	36
2.1.5.5.2 Vízköd rendszerek	36
2.1.5.6 Kommunikációs és riasztórendszer, vészvilágítás, jelzések	37
2.1.5.7 Füstfüggöny, tűzvédelmi redőny, peronfal ajtó PSD	38
2.2 Esettanulmányok a világban és Magyarországon történt metró tüzesetekről	41
2.2.1 Metróállomásokon és metrószerelvényeken történt balesetek elemzése	41
2.2.1.1 Metró tűzkatasztrófák a világban	41
2.2.1.2 Metró elleni terrorista támadások világszerte	44
2.2.1.3 Kiseb tüzek a budapesti metróvonalon	48
2.2.2 Kiürítés tűzriadó esetén a metró közlekedési rendszereiben	48
2.2.3 Budapesti metróhálózat	51
2.2.3.1 A budapesti metróhálózat bemutatása	51

2.2.3.2 Az észak-déli vonal paraméterei	54
3. Probléma megfogalmazása	56
4. Az M3 metróvonalon 2011.04.19-én kigyulladt metrószerelvény tüzesetének és a tűzoltási beavatkozásának elemzése	57
5. Észak-déli metró tűzvédelmi rendszereinek az elemzése	64
6. Tűzjelzéstől a kiérkezésig	71
6.1. Tűzérzékelés	71
6.2. Riasztás	71
6.3. Tűz esetén a metró munkavállalók szükséges tennivalói	71
7. Beavatkozás a kárhelyszínen	77
7.1. Felderítés	77
7.2. Kiürítés	78
7.3. Pathfinder szoftver felhasználásával a Dózsa György úti metróállomás kiürítésének számítógépes szimulációja	80
7.4. Életmentés, tűzoltás	106
7.4.1. Hő- és füstelvezetési taktika	110
7.4.2. Vízellátás a metróban keletkezett tűz esetén és a számításba vehető oltóanyagok	113
7.4.3. Metróban keletkezett tűz esetén beavatkozó tűzoltók kommunikációs lehetőségei	114
7.4.4. Javaslatok a Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság eszközállománya fejlesztésére	116
8. Következtetések és mérnöki javaslatok	122
9. Hivatkozások	127

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt években világszerte számos súlyos tüzeset történt a metró tömegközlekedési rendszereiben, terrorista cselekmények és gyújtogatásból származó súlyos katasztrófák száma is megnőtt. A katasztrófális alagúttüzek ráirányították a figyelmet a vasúti alagutak tűzvédelmének a fontosságára. Aktív tűzvédelmi rendszerek, mint például sprinklerek vagy vízköd rendszerek ezeknél a tragikus kimenetelű tüzeseteknél nem voltak telepítve. A katasztrófális metrótüzek számának növekedésében több fontos tényező is kulcsszerepet játszott. A fő tényezők közé tartozik a helyszínről evakuált emberek kiemelkedően nagy létszáma és a tűz gyors terjedése egy szerelvény több kocsija között illetve két metrószerelvény között. Egy másik fontos tényező a szellőzés és a tűz terjedése közötti kapcsolat, valamint a füst gyors felgyülemzése, amely könnyen csapdába ejtheti az elmenekülni képtelen embereket. Végezetül a tűzoltó szolgálatoknak jelentős kihívásokkal kell szembenézniük a tüzek oltása során. A füst korlátozza a látási viszonyokat, az erős hőség pedig lehetetlenné teszi a tűzoltók számára, hogy elérjék a tűz helyszínét [YU ET AL, 2018].

Egy metróban bekövetkezett tűz eseménynél a tűzoltók számos problémával szembesülnek. A szűk alagutakban a tűz és a hő áterjedhet a járművek között illetve a jármű több kocsija között. A hőhatás, amely néhány perc alatt elérheti az 1300 °C-ot, gyorsan károsíthatja az alagút szerkezetét, és az alagút egyes részeinek lepattozását, beomlását okozhatja [FEHÉRVÁRI S, 2007].

A csúcsforgalom idején a kulcsfontosságú csomópontokban, mint például a Deák Ferenc tér, a szerelvényeken tartózkodókkal együtt több ezer ember lehet egy viszonylag kis területen. Földalatti tüzesetek vagy szándékos támadások esetén, ezeken a helyeken nagy szükség lehet a segítségre és a mentésre, és az áldozatok elérésének lehetősége korlátozott lehet. Robbanóanyaggal végrehajtott szándékos támadások esetén figyelembe kell venni az első mentőegységek elleni második késleltetett támadás kockázatát. A robbanótöltet tönkre teheti a földalatti járműben az evakuáláshoz használt kritikus funkciókat, és potenciálisan veszélyeztetheti a metrókocsin és a szomszédos kocsikon utazók testi épségét. Az ilyen esetekben a sérültek létszáma valószínűleg nagy lesz, ami jelentős kihívással szembesítheti a tűzoltó- és mentőszolgálatokat [YU ET AL, 2018].

A tűz terjedési sebessége és hőfelszabadulási sebessége (HRR) a két legfontosabb tényező, ami kihat az alagút biztonságára. Az alagútban uralkodó légáramlás sebessége jelentős hatást gyakorol a tűz terjedési sebességére és hőfelszabadulási sebességére. Az alagútban a

levegő áramlása hatással van a füst irányára és helyzetére. A füst és a hő a két legfontosabb tényező, amit a tűzoltás alatt kezelni kell. A vészhelyzeti művelet megkezdésének területi határát és módját befolyásolja a füst áramlása. A tűz megközelíthetőségét a füstreteg hőmérséklete és konvekciós hője, valamint a lángok hősugárzása korlátozza. A vészhelyzeti művelet a füst elszívásának szabályozásával kisebb hőterhelés mellett hajtható végre [INGASON ET AL, 2015].

A BKV statisztikái alapján az M3-as metró naponta átlag 500 ezer utas veszi igénybe [HÉRI J, 2017]. A csúcsidőszakokban a metrószerelvényeken és a peronokon egyidejűleg összesen akár kétezer ember is tartózkodhat. Egy tüzeset alkalmával ezeknek a személyeknek a biztonságos kimenekítése nagy szervezettséget, felkészültséget, és korszerű technikai eszközöket és berendezéseket igényel a tűzoltóság részéről.

A régi szovjet gyártmányú járművek lecserélése előtt a budapesti metró szerelvényeken is voltak kisebb füstölések és tüzek [BÍRÓ E, GYÖRÖK B, 2012]. A budapesti észak-déli metró fejlesztése részeként 2015-2018 között lecserélésre kerültek a régi elavult, elhasználódott egyre gyakrabban füstöléses eseteket okozó szovjet gyártmányú metrószerelvények új orosz metrószerelvényekre, majd 2017-2023 között az M3-as vonal teljes rekonstrukciója során új tűzvédelmi rendszerek és eszközök kerültek kiépítésre és telepítésre. Az M3-as metró rekonstrukciójának 2023-ban történt befejezése alkalmából érdemes számvetést készíteni a metrószerelvények és az észak-déli metróvonal tűzvédelmi helyzetéről.

A témával kapcsolatos legfontosabb kutatási eredmények és szakirodalmi megállapítások bemutatását követően a szakdolgozatomban elemzem az Árpád-hídnál 2011-ben történt tüzeset során végrehajtott tűzoltási és mentési műveletet, a metróvonal rekonstrukciója során, az M3 vonalán telepített tűzvédelmi berendezéseket. A Dózsa György úti metróállomás kiürítéséről Pathfinder szoftverrel három különböző beállítással készítettem szimulációt. A szimuláció futtatása során kapott három eredményt elemeztem, továbbá összehasonlítottam az eredményeket egymással és a hatóság által jóváhagyott kéziszámlás kiürítési eredményével. Végül következtetéseket vontam le a modellezés alapján kapott eredményekből.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Irodalomkutatás

2.1.1 Metró tűzvizsgálatok áttekintése

A torontói metróvonalon 1976-ban és san franciscói metróvonalon 1979-ben bekövetkezett tűz-katasztrófák elemzése során került sor a tervezési tűzforgatókönyv első felülvizsgálatára. Az említett tüzesetek több metrókocsit is érintettek, és a tűz felgyulladása után körülbelül húsz perccel áttért a szomszédos metrókocsira. Mindkét eseménynél a metrókocsi padlólemeze alatt és felett minden éghető anyag és a padlólemez anyagának kevesebb, mint a fele égett az első metrókocsiban. A tűz a második és a többi metrókocsikban a padlólemez feletti éghető anyagokra korlátozódott [CHIAM, 2005].

1. táblázat A tűz terjedésének szakaszai a kísérlet alkalmával [CHIAM, 2005]		
Idő (perc)	Kocsiszám	Tűzterjedés folyamata
0-20	1.	Első metrókocsiban terjed a tűz.
20-40	1. 2.	Első metrókocsinál kialakul a flashover és áttér a tűz a második metrókocsira.
40-60	1. 2. 3.	Első metrókocsi ég. Második metrókocsinál kialakul a flashover és áttér a tűz a harmadik metrókocsira.
60-80	1. 2. 3. 4.	Első és második metrókocsi ég. Harmadik metrókocsinál kialakul a flashover és áttér a tűz a negyedik metrókocsira.
80-100	2. 3. 4. 5.	Első metrókocsi teljesen kiégett. Második és harmadik metrókocsi ég. Negyedik metrókocsinál kialakul a flashover és áttér a tűz az ötödik metrókocsira.

Német- finn kutatások 1985

Német- finn kooperáció részeként 1985-ben két nagyléptékű alagúttűz kísérletet végeztek a finnországi Lappeenranta-ban. A kísérletet egy mészkőbánya 45 méter mélyen lévő földalatti alagútjában végezték. A kutatás tapasztalatai azt mutatták, hogy a fő problémát a közet lepattogzása jelentette. Mindkét teszt során 10-20 cm vastag sziklarétegek váltak le a falakról és a plafonról a tűz közelében lévő területeken, ami veszélyeztette a vizsgálati személyzet biztonságát, és a tűz során tönkretett néhány mérőműszert. A kísérlet egyik fő következtetése az, hogy a meglévő beltéri tűzvédelmi előírásokon alapuló elméleti számítások nem képesek megbízhatóan megjósolni a tűz-átcsapás (flashover) bekövetkeztét [INGASON, 2006].

EUREKA (EU499) kísérletek 1990-1992

Az EU499 kísérletet a norvégiai Repparfjord elhagyott alagútjában hajtották végre. A kutatás fő célja a különböző típusú tüzelőanyagok, köztük valódi közútjárművek, vonat és metró kocsik tűzzel kapcsolatos viselkedésének vizsgálata volt. Emellett a menekülési és mentési lehetőségek felkutatása, a tűz oltása és az alagútszerkezet károsodásának megismerése. A nehéz tehergépjárművek, vonat és metró kocsik ezen alagút program vizsgálatában azonosított tűzviselkedése fontos hatással volt számos nagyszabású tervezési tanulmányra. A vizsgálatok megmutatták, hogy az üveglablakoknak fontos szerepe van az acél karosszériás kocsikon a tűzterjedésében. Az ablakok kitörése felgyorsítja a tűzterjedést. [INGASON ET AL, 2015].

2. táblázat EU499 vizsgálati program metró és vasúti kocsikkal kapcsolatos adatai [INGASON ET AL, 2015]						
Tűzforrás	u (m/s)	E _{tot} (GJ)	Q _{max} (MW)	T ₀ (°C)	T _{max} (0m) (°C)	T _{max} (+10m a központtól) (°C)
1,5 vasúti kocsi F2A1+F7 (aluminium+acél)	6-8/3-4	57,5	43	3,3	980	950
F2St vasúti kocsi (acél)	0,5	62,5	19	4,7	650	830
F1 vasúti kocsi (acél)	0,5	76,9	13	2,2	450	720
F4 metrókocsi (alumínium)	0,5	41,4	35	1,6	810	1060

Metro vizsgálatok 2011

A metró kutatásiprojektben két teljeskörű tesztet végeztek zárt alagútban, elővárosi vonat járművekkel. A vizsgálatokhoz két X1 típusú hosszú ideje használt régi vonatkocsit vettek igénybe, amit a stockholmi közlekedési vállalat adományozott. Gyújtogatást szimulálva a tüzet a kocsi végén a sarokban található ülésen egy liter benzin segítségével gyújtották be. A gyújtás pillanatában a kocsi egyik oldalán található három ajtó nyitott helyzetben volt. A szerelvények eredeti formájúak és anyagúak voltak, mind a két teszt során ugyanazt a szerelvénytípust (X1) alkalmazták. A második teszt során használt járművet úgy módosították, hogy a metróban használt modern C-20-as járműre hasonlítson. Az átalakított járműbe, a metró üléseihez hasonló üléseket raktak. A szerelvény belső oldalfalára és plafonjára alumínium

burkolatot helyeztek fel. A megfelelő 2-2,5 m/s sebességű szellőzést mobil ventilátor szolgáltatotta [LÖNNERMARK ET AL, 2012].

3. táblázat METRO tesztprogram adatai [LÖNNERMARK ET AL, 2012]						
Vizsgálatok sorszáma	Tűzforrás	u (m/s)	E _{tot} (GJ)	Q _{max} (MW)	T ₀ (°C)	T _{max} (°C)
1.	X1 eredeti metrókocsi	2-2,5	64	76,7	10	1081
2.	X1 felújított metrókocsi	2-2,5	71	77,4	10	1118

Vonatvizsgálat a Carleton Egyetem laboratóriumában 2011

Hadjisophocleous és kollégái két nagyléptékű tesztet végeztek távolsági vasúti és metró járművek HRR-jének és tűzfejlődésének vizsgálata érdekében [HADJISOPHOCLEOUS ET AL, 2012].

4. A Carleton Egyetem laboratóriumi tesztprogramjának adatai [HADJISOPHOCLEOUS ET AL, 2012]					
Vizsgálatok sorszáma	Tűzforrás	u (m/s)	E _{tot} (GJ)	Q _{max} (MW)	T ₀ (°C)
1.	Intercity vonat	2,4	50	32	10
2.	Metrókocsi	2,4	23	52,5	10

A vasúti járművel végrehajtott teszt során a tűz a gyújtást követő 1,7 perc múlva indul növekedésnek és az 5. percre 10 MW-ot ér el. Ezt követően lassan 15 MW-ra emelkedik, miközben a betört ablakok száma folyamatosan nő. Minden ablak betörését követően a HRR a gyújtást követően 18 perccel éri el a 32 MW-os csúcserőértéket. A metrójárműveken végzett vizsgálatok során a tűz hosszabb idő alatt erősödik fel, mint a vasúti szerelvényeken keletkezett tűz. A gyújtást követően az 52,5 MW-os csúcs HRR eléréséhez kb kilenc percre volt csak szükség. A tűznövekedése azért ilyen gyors, mert a kísérlet idejére nyitva hagytak négy ajtót, ami ideális szellőzési feltételeket biztosított az ilyen nagyságú növekedéshez. A metrójárműtűz a nagyobb HRR és a kisebb tűzterhelés miatt rövidebb ideig tartott, a vasútijárműtűznél. [HADJISOPHOCLEOUS ET AL, 2012]

A hatályos szabvány előírásoknak megfelelő elektromos metrószerelvények tűzterhelése 23 GJ, a vizsgálatok során az 1. és a 2. tesztek közben felszabadult energia megközelítően 64 GJ valamint 71 GJ volt [LÖNNERMARK, 2012].

A Kanadában végzett teljes körű vizsgálatok közben a koreai gyártmányú metrószerelvényen és a távolsági vonatszerelvényen megközelítően 23 GJ, illetve 50 GJ energia felszabadulása volt megfigyelhető [HADJISOPHOCLEOUS ET AL, 2012].

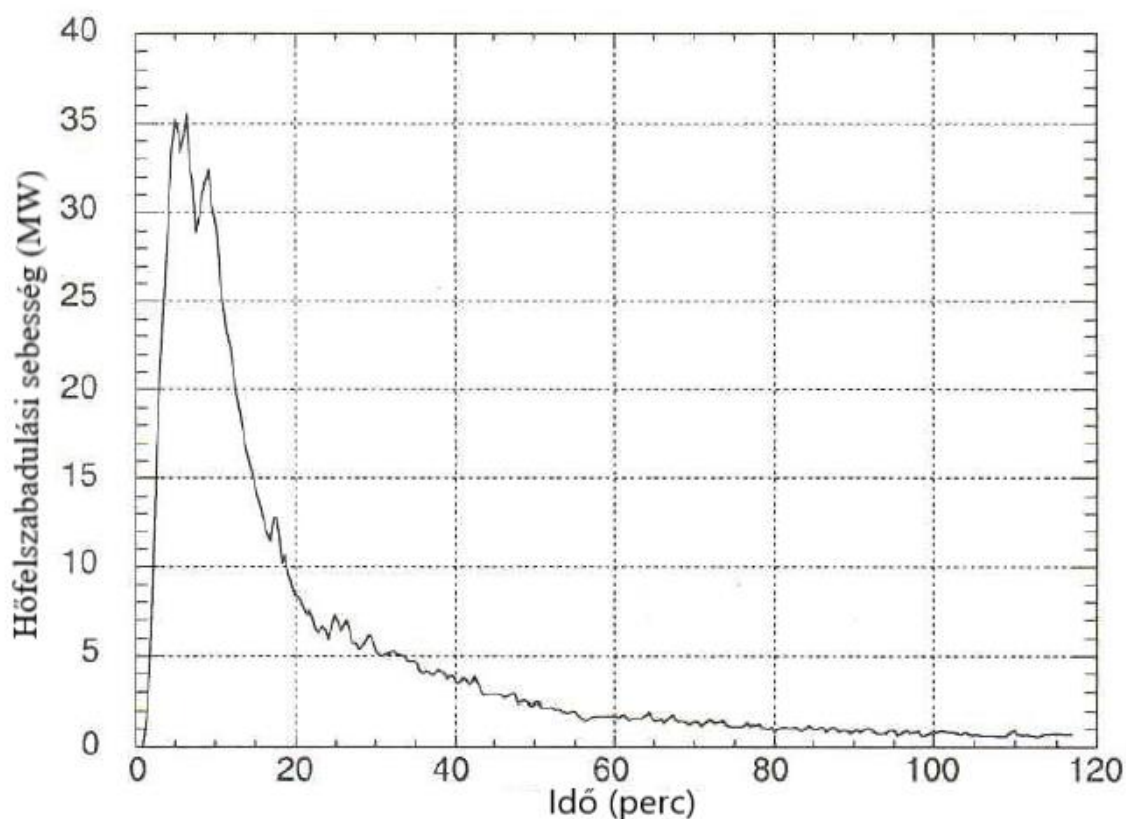
Egy Bécsben végzett, metrókocsi teljes körű tesztje során a régebbi U járművek és az újabb V járművek energiatartalmát megközelítően 80 GJ-ra, és 52 GJ-ra becsülték [INGASON ET AL, 1994].

Egymástól nem elkülönített kocsival rendelkező, nyitott folyosós metró és vonatszerelvények felé mutató tendencia új problémákat teremt. Ugyanis eddig nem végeztek olyan teljes körű teszteket, amely az ilyen egy légtérrel rendelkező szerelvények hőfelszabadulási sebessége alakulását illetve a csúcs PHRR-re gyakorolt hatását vizsgálná. Az egy légtérrel rendelkező szerelvények használata ellentmond a tűzbiztonság két alapelvének: a tűz és a füst elszigetelésének. Az egy légtérrel rendelkező szerelvényeken a füst és a tűz akadálytalanul terjedhet. Az egy légtérrel rendelkező szerelvényen erősödhet a kigyulladt kocsi szellőzése, ami befolyásolja a tűz kezdeti növekedési ütemét a tűzkörül. Az is feltételezhető, hogy a hőfelszabadulás nagysága a metrószerelvényen valamivel nagyobb lesz, mint egy különálló kocsik által alkotott szerelvényen. Továbbá, ha a különálló kocsik miatt a tűz terjedése a szerelvény külső részére kényszerül, akkor lassabban fog terjedni – a menetszél hatása miatt a menetirány szerint a tűz előtt elhelyezkedő – kocsik belsejében. Egy közös légtérrel rendelkező szerelvényen viszont a tűz terjedése mind a két irányban egyenletesebb. A kedvezőbb láthatóság az egy légtérrel rendelkező szerelvény teljes hosszában minimalizálhatja a kockázatot azáltal, hogy visszafogja az antiszociális magatartást, gyújtogatást. [AGNEW ÉS STACEY, 2014].

2.1.2 Metrójárműtüzek hőfelszabadulási sebessége HRR

A kísérlet során használt jármű, alumínium karosszériával rendelkező metrókocsi 2,8 méter széles, 18 méter hosszú és 3 méter magas. A 40 ülőhellyel rendelkező kocsi ülései poliuretán habszivacsból készültek, amire szövet huzat került. A jármű tűzterhelése mindösszesen 41300 MJ, amiből az ülőhelyek tűzterhelése 6000 MJ. A teszt során a HRR megközelítőleg 5 perc alatt érte el a 35 MW-ot [CHIAM, 2005].

Az 1. ábrán egy metrójármű HRR-görbéje látható.

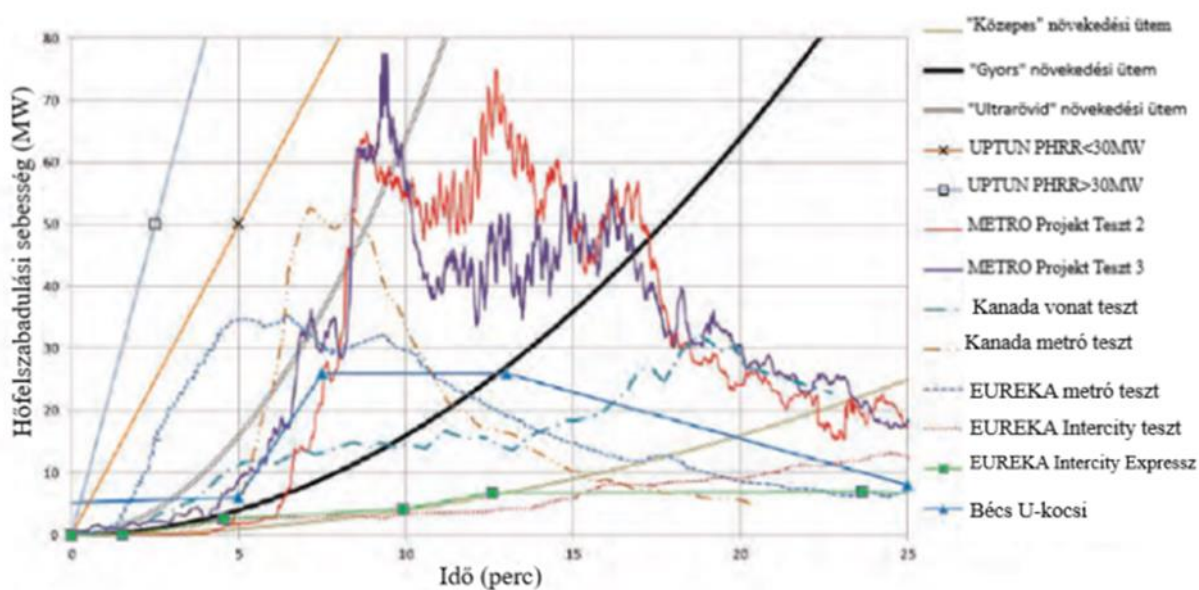


1. ábra: HRR-görbe egy metrókocsihoz [INGASON ET AL, 1994]

Metrókocsikon végzett HRR-mérésekről csak minimális számú szakirodalom lelhető fel. A vizsgálatok többségét az EUREKA 499 tesztekéről publikálták, de az utóbbi években már megjelentek további kutatási eredmények is. Az 5. táblázatban hivatkozott tesztek közös jellemzője, hogy nem több egymáshoz kapcsolt kocsival, hanem kizárólag egyetlen kocsi alkalmazásával került sor a vizsgálatok lefolytatására.

5. táblázat A járművekre vonatkozó nagyléptékű teszt adatok					
Járműtípus, vizsgálatssorozat, vizsgálati szám	Hosszanti szellőzés sebessége u (m/s)	Tűzterhelés E_{tot} (GJ)	Csúcs HRR Q_{max} (MW)	Csúcs HRR-ig eltelt idő (perc)	Hivatkozás
Német metrókocsi, EUREKA499	0,5	41	35	5	[INGASON ET AL, 1994]
METRO 2. vizsgálat	2-2,5	64	76,7	12,7	[LÖNNERMARK ET AL, 2012]
METRO 3. vizsgálat	2-2,5	71	77,4	117,9	[LÖNNERMARK ET AL, 2012]
Metrókocsi Carleton laboratórium	2,4	23	52,5	9	[HADJISOPHOCLEO US ET AL, 2012]

A vizsgálatok azt mutatják, hogy a csúcs HRR - egy metrókocsi kigyulladására esetén 7 és 77 MW között mozog, a maximális HRR kialakulásához szükséges idő pedig 5 és 80 perc között van. Több jármű égése esetén nyilván a maximális HRR is nagyobb volna, ezt azonban eddig még teljes léptékű teszttel nem vizsgálták. Az EURÉKA 499 vizsgálatokból kiderült, hogy a járműben a tűz kialakulását több paraméter is befolyásolja. Ilyen például a karosszéria anyaga, az üvegezés minősége, az éghető belső anyagok típusa és volumene, a nyílások alakja és mérete, az alagút levegőjének mozgási sebessége és az alagútszelvény alakja, a metrószerelvényt alkotó egyes kocsik egymáshoz való kapcsolódásának módja (egy légtérrel rendelkező, vagy az egyes kocsik között nincs nyitott folyosó). Ezeket a paramétereket mind figyelembe kell venni a földalatti alagutak tervezése során. Az ablakok beépítési módja és minősége lényeges tényező a tűz kialakulásában. Az ablakok, amíg nem törnek be illetve esnek ki, a tűz lassan növekszik. Ha azonban az ablakok kitörnek, a tűz rendkívül sebesen terjedhet és növekedhet.



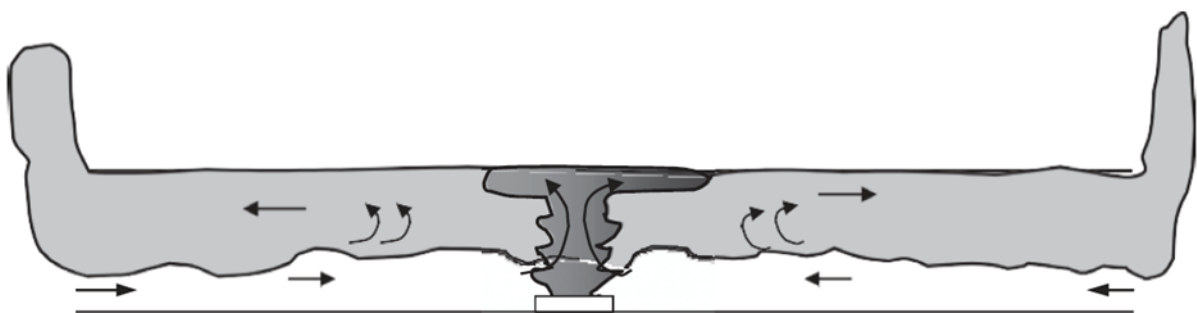
2. ábra A METRO Program Test 1 és Test 2, EUREKA 499 tesztek, bécsi vizsgálatok és a 2012-es kanadai vizsgálatok mért hő kibocsátási sebességi értékei [AGNEW ÉS STACEY, 2014]

A fenti adatok azt mutatják, hogy a tűzviselkedésnek két típusa volt megfigyelhető. „A” típus: Gyors, mindössze 2-5 percig tartó, tűznövekedés a 30 MW feletti maximális értékig. Meglehetősen rövid ideig tartó tűz, amelyet a tüzelőanyag kimerülésével gyors lecsengés követ. Ez az Eureka és Carleton metró tesztjeiben, valamint a Metroprojekt két tesztjében is megmutatkozott. „B” típus: lassú 15-25 percig tartó tűznövekedés, a kb.10 MW-os maximum értékig, hosszú órákig tartó égési idő, majd lassú kiégés. Ez volt megfigyelhető mindkét

EUREKA vonatesztjénél. Az „A” típusú tűzfejlődés az általában a 2 m/s-nál nagyobb sebességű gépi szellőztetés során volt megfigyelhető. A „B” típusú tűzfejlődés az alacsony áramlási sebességű természetes szellőzést alkalmazó tesztek során volt megfigyelhető [AGNEW ÉS STACEY, 2014].

2.1.3 Füst rétegződése alagútban

Alagúttüzeknél a füst rétegződése fontos kérdés az evakuálás szempontjából. A tűzből felszabaduló füst számos veszélyes égéstermékot tartalmaz. Ha egy alagútszakaszon megszűnik a füst rétegződés, akkor a környéken tartózkodó személyek nagy veszélynek lehetnek kitéve. Szellőzetlen vagy nagyon alacsony szellőzési sebességű alagútban a füst a tűz mindkét oldalán jelen van, és a korai szakaszokban jó rétegződés alakulhat ki, de általában nem rétegződik, amikor a tűz már megnőtt. A kritikusnál valamivel alacsonyabb szellőzési sebességnél a füst visszahúzódik és jó rétegződés figyelhető meg a szellőzés és a füst áramlási iránya szerint a tűz felett, de a füst rétegződése rossz lesz az áramlási irány szerint a tűz alatt. Nagyobb szellőzési sebességnél minden füst lefelé áramlik, ami megnehezíti a rétegződés fenntartását még rövid távolságokon is. A füst rétegződését a hosszanti szellőzési sebesség és a tűz által létrehozott felhajtó erő határozza meg. A felhajtóerő hatására a forró füst felfelé áramlik, és elfoglalja az alagút szelvény felső részét. Ennek eredményeként bizonyos esetekben rétegződés alakulhat ki. A tűz korai szakaszában a hőnek nem feltétlenül van nagy jelentősége, de bizonyos égéstermékek és mérgező gázok, például a szén-monoxid magas koncentrációja könnyen halálos kimenetelű lehet. A füst, ha az alagútban leereszkedik fejmagasságig, akkor a közelben tartózkodó személyeket életveszély fenyegeti [INGASON ET AL, 2015].



3. ábra A füst rétegződését bemutató vázlat egy alagútban, ahol a levegő sebessége nagyon alacsony, jellemzően 0-0,5 m/s az 1. csoport esetében [INGASON ET AL, 2015]

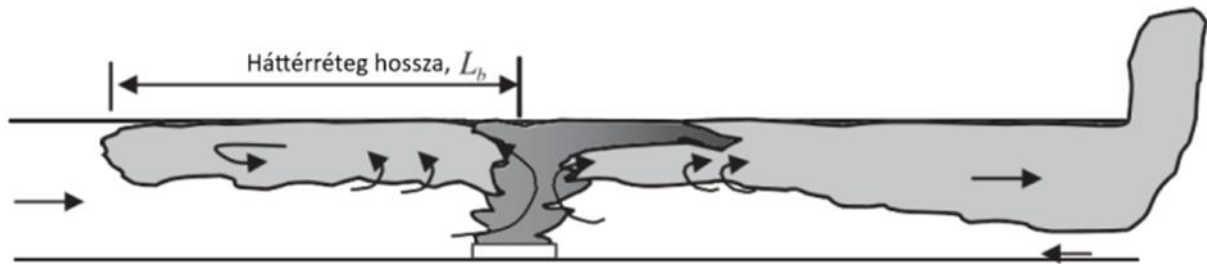
Alagúttűzeknél a füst terjedési tulajdonságai különösen a tűz közelében erősen függenek a levegő sebességétől. Ez a jelenség három légsebesség-tartomány létrehozásával szemléltethető:

Első csoport: Alacsony vagy légsebességnélküli (0-1 m/s).

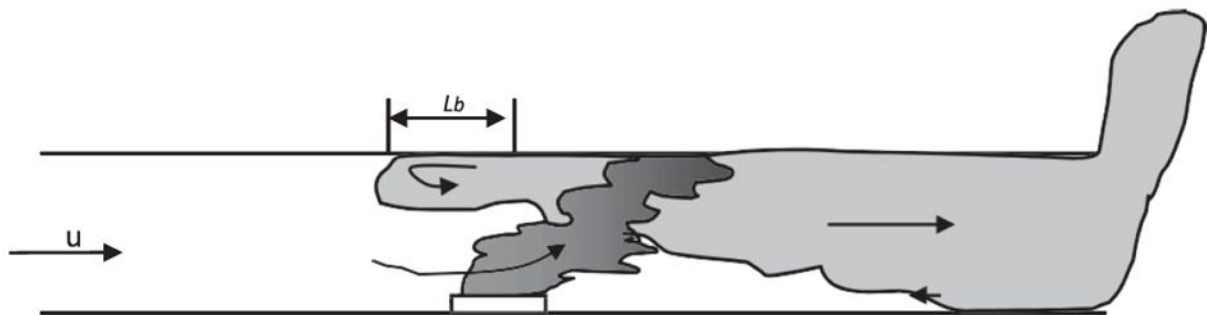
Második csoport: Közepes légsebesség (1-3 m/s)

Harmadik csoport: Nagy légsebesség (>3 m/s).

Kritikus sebesség az a legkisebb longitudinális szellőzési sebesség, amely megakadályozza a füst visszahúzódását [INGASON ET AL, 2015].



4. ábra Az 1. csoportra jellemző füst rétegződését bemutató vázlat 1 m/s áramlási sebesség mellett [INGASON ET AL, 2015]



5. ábra A 2. csoportra jellemző füst rétegződését bemutató vázlat 1-3 m/s áramlási sebesség mellett [INGASON ET AL, 2015]



6. ábra A 3. csoportra jellemző füst rétegződést bemutató vázlat 3 m/s áramlási sebességnél nagyobb, kritikus áramlási sebességnél (u_c) [INGASON ET AL, 2015]

A tűz közelében a füst rétegződésére jelentős hatást gyakorol a levegő sebessége. A hátrétegződés hossza 0-tól az alagút magasságának nagyjából a 25-szöröséig növekedhet. Nagy légsebesség esetén többnyire megszűnik a áramlási irányában a füst rétegződés, továbbá a tűz előtt nincs füst visszaáramlás. A szellőzés és a füst áramlási iránya szerint a tűz alatti füst rétegződés a hideg levegő és a tűz hatására kialakuló forró levegő közötti keveredés következménye [INGASON ET AL, 2015].

Füstrétegződési mechanizmus: A forró füstáramlat alacsony sűrűsége nyomáskülönbséget okoz a környezeti levegő és a forró gáz között. A felhajtó erő illetve a termikus nyomás következtében a forró füst felfelé árad és a plafonnak ütközik, majd a mennyezeten longitudinálisan áramlik. A mennyezet mentén történt áramlása során a füst hőmérséklete jelentősen csökken. A hőnyomás tehát a tüztől való távolság növekedésével csökken, ezért a tüztől távolodva egyre nehezebben marad fenn a füst rétegződése. A rétegződés kialakulására, a tehetetlenségi erők is hatnak, a termikus nyomás a rétegződést támogatja, ezzel szemben a tehetetlenségi erő a füst rétegződés fenntartása ellen hat. A termikus nyomás a füstrétegződés fennmaradását segíti, míg a tehetetlenségi erő a füst rétegződés megmaradása ellen hat [INGASON ET AL, 2015].

Alagútban keletkezett tüzeknél a tűz által termelt füst az alagútszelvény felső részéhez szorul, majd annak mentén áramlik. A füstáramlásának a padlósinttől mért magassága többnyire a füst tüztől való távolságának növekedésével csökken, tehát a füstréteg a tüztől való távolság növekedésével egyre mélyebbre süllyed, és amikor fejmagasságba vagy még mélyebbre áramlik, akkor már veszélyezteti az alagútban tartózkodó személyek életét. Alagúttüzeknél a kiürítés és a tűzoltás tekintetében lényeges szempont a füst rétegződés. A tűzből kiáramló füst életre veszélyes gázokat tartalmaz, illetve a magas hőmérsékletéből fakadóan belégzés esetén roncsolja a tüdőt. A füstrétegződés amikor megszűnik, az ott lévő személyek életveszélybe kerülhetnek. Gyenge szellőzés esetén, illetve szellőzés nélküli körülmények között, a füst a tűz előtt és mögött is jelen van, és a kezdeti szakaszokban kiürítés szempontjából optimális füstrétegződés jöhet létre, de általában megszűnik a füstrétegződés, amikor a tűz nagyobb méretűvé fejlődik. Valamivel a kritikus szint alatti szellőzési sebességnél jó füstrétegződés alakul ki a tűz előtt. Viszont a füstrétegződése az áramlásirányban rosszabb lesz. Magas szellőztetési sebességnél az összes füst a szellőztetés irányába áramlik, a rétegződést a tűzhöz közeli távolságban is nehéz fenntartani [INGASON ET AL, 2015].

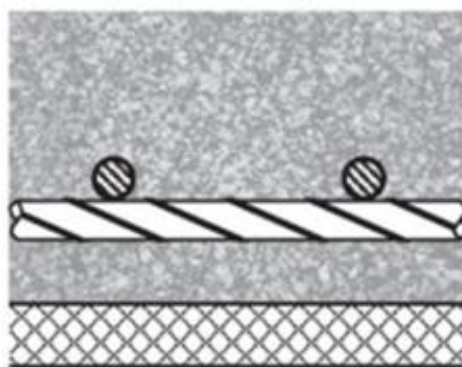
2.1.4 Passzív tűzvédelem metró állomásokon és alagutakban

A passzív tűzvédelmi rendszerek előnye, hogy nem igényelnek karbantartást, és általában nem hibásodnak meg az alapvető funkciójukban. A választott passzív tűzvédelmi rendszer típusától függően azonban bizonyos hátrányokkal is számolni kell. Általában ezek a műszaki megoldások további építési költségekkel járnak. Az ásványi lapok és a vakolatok helyet vesznek el az egyébként is szűk alagút hasznos teréből és megnö a kivitelezési idő. További hátrány, hogy a burkolat egy részének eltávolítása nélkül nincs lehetőség az alatta lévő szerkezeti elemek vizuális vizsgálatára. A burkolatot általában 25-30 év után ki kell cserélni [HAACK, 2008].

A passzív tűzvédelmi műszaki megoldásoknak általában három formája van:

1. beton vagy cement kötésű anyag másodlagos rétege, amelyet az 1. képen és a 7. ábrán látható módon az alagút belső felületére visznek fel.
2. védőanyagból készült burkoló panelek, az alagút falára és mennyezetére a 2. képen és a 8. ábrán látható módon kerülnek rögzítésre.
3. bizonyos szálak stb. hozzáadása a fő betonkeverékhez, hogy a beton tűzálló legyen. 9. ábra.

Jelenleg nincs nemzetközileg elfogadott szabvány vagy jogszabály, amely meghatározná az alagutakban alkalmazandó tűzvédelmi szintet. Az alagútbélésrendszer legegyszerűbb és gyakran legolcsóbb formája egy szigetelőanyag réteg felvitele az 1. képen és a 7. ábrán bemutatott módon az elsődleges alagútbélés belső felületeire. Ezt passzív hőszigetelésnek nevezik, ahol gyakran vermikulit cementet permeteznek az alagút bélésre a kívánt vastagságban. A vermikulit cement szervesetlen anyag, amely magas hőmérsékleten nem ég el, nem termel füstöt és nem bocsát ki mérgező gázokat. Ez a fajta bélésanyag szélsőséges tűz esetén akár 24 órán keresztül is képes megvédeni a betonszerkezeteket. Sérülés esetén ez a fajta burkolat könnyen javítható [BEARD ÉS CARVEL, 2012].



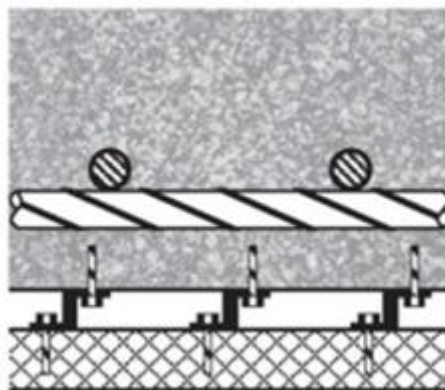
7. ábra Alagútburkolatra közvetlenül felhordott

másodlagos szigetelőanyag [BEARD ÉS CARVEL, 2012]



1. kép Különleges vakolat tűzálló burkolat
metróalagútban [HAACK, 2008]

Számos alagúttrendszert, panelek formájában a 2. képen és a 8. ábrán bemutatott módon másodlagos burkolattal bélelnék. Eredetileg főként esztétikai okokból használták, az utóbbi években azonban a szerkezetek tűzvédelmére is alkalmassá tették őket. Az alagút bélések állhatnak kalcium-szilikátból, vermikulit cementből, szálcementből vagy ásványgyapotból készült monolitikus panelekből, vagy olyan kompozit panelekből, amelyek külső felülete kemény, például acél, a szigetelőmag pedig ásványgyapotból vagy üveggyapotból áll [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

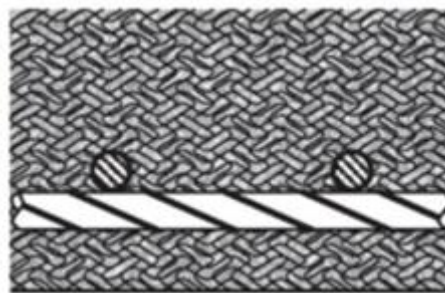


8. ábra Tűzálló alagútburkolati rendszer [BEARD ÉS CARVEL, 2012]



2. kép A Promatect alagútburkolati rendszer [BEARD ÉS CARVEL, 2012]

Az alagutak szerkezeti betonja védelmének másik módja a beton tűzállóságának növelése. A beton erős tűz hatására történő lepattogzási meghibásodási mechanizmusa a betonon belüli gőznyomás felhalmozódása miatt következik be. A nyomást hatékonyabban csökkenteni képes anyagokat tartalmazó betonkeverékek használata (9. ábra) növelheti a beton tönkremenetele előtti tűzállósági időt. A polipropilénszálak betonkeverékekhez történő hozzáadásának célja, hogy tágulási utat biztosítsanak a tüzesetén keletkező vízgőz számára. Az acélszálak hozzáadása a keverékhez növeli a beton rugalmasságát, ami lehetővé teszi, hogy a beton repedés nélkül elviselje a nagy belső feszültségeket [BEARD ÉS CARVEL, 2012].



9. ábra Rostok hozzáadása a betonkeverékhez [BEARD ÉS CARVEL, 2012]

2.1.5 Aktív tűzvédelem metró állomásokon és vonalalagutakban

Az alagutak aktív tűzvédelmi rendszereit általában tűzjelző érzékelő rendszerek, riasztórendszerek, oltórendszerek és szellőzőrendszerek alkotják. Bár ezek a rendszerek nagyon

különbözőek, alapvető céljuk ugyanaz: csökkenteni az alagútban tartózkodó emberek testi épségét, életét veszélyeztető katasztrófák kockázatát, valamint az alagút szerkezetében és működésében bekövetkező károk kockázatát. Aktív tűzvédelmi rendszer alkalmazásával megakadályozható a tűz áttérjedése a metrószerelvény kigyulladt kocsijáról a szerelvény többi kocsijára. Ezzel a tűz hője és mérete korlátozódik, lehetővé téve a tűzoltók számára, hogy elérjék és eloltsák a tüzet.

Az aktív tűzvédelmi rendszernek köszönhető kisebb tűz miatt az alagútban kialakult alacsonyabb hőmérsékleti viszonyok kisebb kockázatot jelentenek az ott tartózkodó személyek számára, ami segíti az embereket a menekülésben. A kisebb tüzek kevesebb hőt és füstöt termelnek, ezért nem terhelik túl a szellőzőrendszert. Ha a tűz kisebb, és gyorsabban oltják el, kevesebb kár keletkezik. A javítási költségek alacsonyabbak lesznek, és az alagút gyorsabban újra nyitható a forgalom számára. Az aktív tűzvédelmi rendszer az alagút belső felszínét is védi a nagy tűzterheléstől, ami a passzív tűzvédelmi rendszer kiépítésének a költségét is csökkenti [BRINSON, 2010].

2.1.5.1 Tűzjelző érzékelő rendszerek

Az aktív tűzvédelmi eszközök működésének hatékonyságához elengedhetetlen a pontos és gyors tűzérzékelés. A tűz az anyag és az energia átalakulását okozza, amelynek végtermékét tűzjelenségnek nevezzük. Az automatikus tűzjelzők a tűzjelenségeket elektromos jellé alakítják és jelzik a veszélyt. A tűzjelenségek, mint például a hő, a füst, és a tűzsugárzás, alkalmasak a tűz korai észlelésére [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

Tűzészlelés: A tűz legrövidebb időn belül történő észlelése érdekében, valamint a tűzbiztonság szempontjából kiemelkedően fontos eszközök, mint a riasztó, tűzoltó, füst elszívó rendszerek késedelem nélküli automatikus aktiválhatósága érdekében, tűzjelző érzékelő eszközökkel kell folyamatosan figyelni a tűzjelző központon keresztül, az alagutakat, peronokat, műszaki helyiségeket [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

Hangos riasztás: Ha az állomás valamelyik helyiségében tűz keletkezik, a riasztórendszer figyelmezteti a jelenlévőket a tűzre, és felszólítja őket, hogy azonnal hagyják el az állomást [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

A tűzjelző érzékelők típusai: Az alagutak tűzjelző érzékelő rendszerei közé tartozik a vonal hőérzékelés, a füstérzékelés, a lángérzékelés, a videós tűzérzékelés, a CCTV-rendszerek, a pontszerű hőérzékelés és a CO₂/CO-érzékelős tűzérzékelés [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

Hőérzékelés: A hőérzékelőket úgy tervezték, hogy akkor reagáljanak, amikor a tűz konvektív hőenergiája az érzékelőben lévő hőérzékeny elemhőmérsékletének emelkedését okozza [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

Spot hőérzékelők: Az állandó hőmérsékletű hőérzékelők a legelterjedtebb típusú ponthőérzékelők. Akkor lépnek működésbe, amikor a hőérzékeny eutektikus ötvözet eléri az eutektikus pontot, és szilárdból folyékony állapotba kerül [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

Lineáris hőérzékelő rendszer: A lineáris hőérzékelők (LHD) lehetnek a legmegfelelőbbek, ha nagyon hosszú szakaszokon van szükség tűzérezékelésre. Az LHD távolról felügyelhető, és képes észlelni a telepített hálózat bármely pontján keletkező elegendő hőtermelési mérettel kialakuló tüzet. Az LHDS típusai: optikai, digitális és analóg [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

Az LHD-k állandó hőmérsékleten vagy hőmérséklet emelkedési sebességgel érzékelik a tüzet.

- Az analóg (vagy integrált) LHD-rendszerek többretegű kábeleket tartalmaznak. A magvezeték hőmérsékletérzékeny félvezető borítja, és egy külső vezetővel fedik be. A kábel hőmérsékletének emelkedésével a vezetőellenállása csökken, és az érzékelés akkor történik, amikor a megfigyelt ellenállás eléri egy előre beállított értéket.
- A digitális LHD rendszer két polimerrel szigetelt vezetékből áll. A szigetelés egy meghatározott hőmérsékleten megolvad. Ezekben a rendszerekben az érzékelés akkor történik, amikor a szigetelők megolvadnak és a vezetékek érintkeznek egymással. A rendszertől függően az érzékelőelemhez csatlakoztatott vezérlőpanel képes mérni a vezetékek közötti érintkezési távolságot, és azonosítani a rövidzárlat helyét.
- A száloptikás LHD rendszer egy vezérlőegységből és egy kvarc optikai szálból áll. Az optikaiszál a hőterhelés okozta deformációt az áteresztőképesség és a visszaszóródás változásai alapján érzékeli, a vezérlőegység pedig egy lézerrel van felszerelve, amely az optikai szála sugároz. A rendszer a Raman-effektust használja a hőmérséklet-változások érzékelésére a szórt fény mennyisége alapján.
- Pneumatikus hőérzékelő rendszer. Ez a rendszer érzékeli a gáztágulását egy keskeny rozsdamentes acélcsőben, amelyet a tűzhője okoz, és amely nyomásnövekedést eredményez. A cső egyik vége a légkör felé nyitott, a másik vége pedig egy érzékelőhöz van csatlakoztatva. Ez a fajta rendszer nem tudja meghatározni a tűz konkrét helyét, csak azt, hogy a tűz a cső által lefedett zónában van [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

Füstérzékelés: A füstérzékelők a füst (részecskék) koncentrációját érzékelik, amelyet szórt fény, optikai abszorpció és ionizációs csillapítás érzékelőkkel mérnek [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

Spot füstérzékelők: A füstérzékelők általában egy körülbelül 100 mm átmérőjű és 25 mm mély, korong alakú műanyag házban vannak elhelyezve. A legtöbb füstérzékelő vagy optikai (fotoelektromos) vagy fizikai (ionizációs) érzékelési módszerrel működik, egyesek a füstérzékenység növelése érdekében mindkettőt alkalmazzák [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

Aspirációs füstérzékelő rendszerek: A füstérzékelő eszközök (ASDS) a füstöt úgy érzékelik, hogy az alagútból egy csőhálózaton keresztül egyfolytában levegőt szivattyúznak egy központi készülékbe, és elemzik a részecskéket. Az ASDS-ek az emberi érzékszerveknél sokkal hamarabb képesek érzékelni a füstöt, és a csövek hosszától és a levegő szivattyúzás teljesítményétől függően sokkal gyorsabb reakcióidővel rendelkeznek. Ez a rendszer a magas érzékenységenek köszönhetően kiválóan alkalmas a parázsló tüzek korai észlelésére. Ezt a rendszert gyakran használják a tűz korai észlelésére [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

Infravörös érzékelők: Az infravörös (IR) érzékelők fotocellákat használnak a tűz infravörös sugárzási energiájának és a szén-dioxid részecskék észlelésére. A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy ez az érzékelő rendszer képes közúti alagutakban zavaró riasztások nélkül a tűz leggyorsabb észlelésére. Metró alagutakban történő telepítésénél nehézséget okozhat, hogy a közúti alagútnál jóval szűkebb metró alagutakban a szerelvények az alagút igen nagy szelvényét kitakarják, ezért metró alagutakban ezeket az infravörös érzékelőket a közúti alagutakhoz képest jelentősen sűrűbben kell telepíteni [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

2.1.5.2 Normál szellőzés

Az alagút szellőztetés több mint 100 éves múltra tekint vissza, és az idők során különböző típusú szellőztetőrendszereket alakítottak ki. Az alagutak mechanikus szellőztetésének eredeti rendeltetése a járművek által kibocsátott szennyezőanyagok eltávolítása volt, ezt keresztirányú szellőzőrendszerek kialakításával érték el. Később a ráfordítások mérséklése céljából félig keresztirányú szellőzőberendezéseket alakítottak ki, majd az 1980-as évektől kezdődően longitudinális szellőzőrendszereket, amik aránylag egyszerű szerkezetük és mérsékelt költségük miatt világszerte elterjedtek. Az alagutak tűzvédelmére a múltban nem fordítottak kellő figyelmet, de az elmúlt évtizedekben számos jelentős alagúttűzzel kapcsolatos incidens felkeltette a közvélemény figyelmét, és ennek következtében sok szabályozást vezettek be az alagutak tűzbiztonságának kezelése érdekében. Különböző

tűzvédelmi mechanikus szellőzőberendezéseket fejlesztettek ki és vezettek be, mint az alagutakban keletkező tűz és füst hatásainak csökkentésére irányuló egyik legfőbb intézkedést [INGASON ET AL, 2015].

A szellőztetés a legelterjedtebb eljárás a füst és a tűz hatásának csökkentésére az alagutakban. Először különböző állandó szellőztető rendszereket telepítenek, hogy eltávolítsák a szennyeződések és a hőt az alagútból. Alagúttűz katasztrófa bekövetkezésekor hő- és füstelvezető rendszerek alkalmazása szükséges a füstáramlásának szabályozásához, valamint a kiürítés és a tűzoltás útvonalainak biztosításához. Az alagutakban használt tűzvédelmi szellőzőrendszerek fő típusai a füstelvezető rendszerek és a hosszanti szellőzőrendszerek. A füstelvezető rendszerek alkalmazása során mindkét oldalról megfelelő mennyiségű friss levegőt kell áramoltatni a füst tovább terjedésének megakadályozása céljából [INGASON ET AL, 2015].

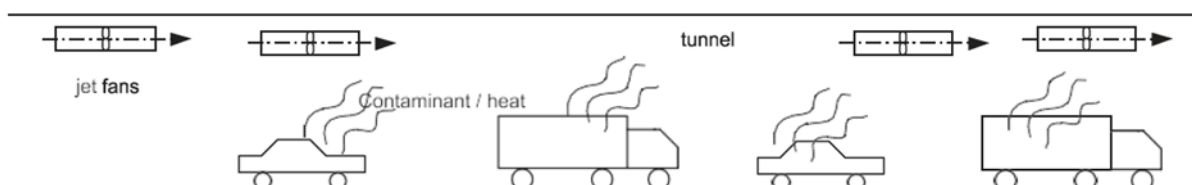
Normál szellőzés: Az alagutakon áthaladó járművek általában sok szennyeződést okoznak, hőt és port bocsátanak ki, amik károsak az alagutat használókra, az alagútban telepített eszközökre valamint a járművekre. Ezért a szabványos mechanikus szellőztető eszközöket úgy tervezték, hogy a megengedett érték alatti alacsony szinten tartsák a szennyező anyagok és a por koncentrációját, és a normál működés során az alagútból elvezessék a hőt. A szabványos szellőzőrendszereket két kategóriába soroljuk: természetes szellőzés és mechanikus szellőzés [INGASON ET AL, 2015].

A rövid alagutak vagy a sok aknával épített alagutak nem feltétlenül igényelnek a normál szellőztetésen kívül mechanikus szellőztető rendszert. Ventilátorok nélküli szellőztetést természetes szellőztető rendszereknek nevezik. A nagyon hosszú alagutak azonban többnyire mechanikus szellőzőrendszert igényelnek a metrószerelvénnyel és más berendezések szennyeződésének és hőjének eltávolításához. A mechanikus szellőzőberendezések nyilvánvalóan nem olyan érzékenyek a környezetre, mint a természetes szellőző rendszerek. Emiatt ezeket szélesebb körben használják szellőzőrendszerekként alagutakban. A mechanikus szellőzőrendszerek közé tartoznak a keresztirányú szellőzőberendezések, a longitudinális szellőzőberendezések, a félig keresztirányú és a kombinált szellőzőrendszerek [INGASON ET AL, 2015].

2.1.5.2.1 Hosszirányú szellőzés

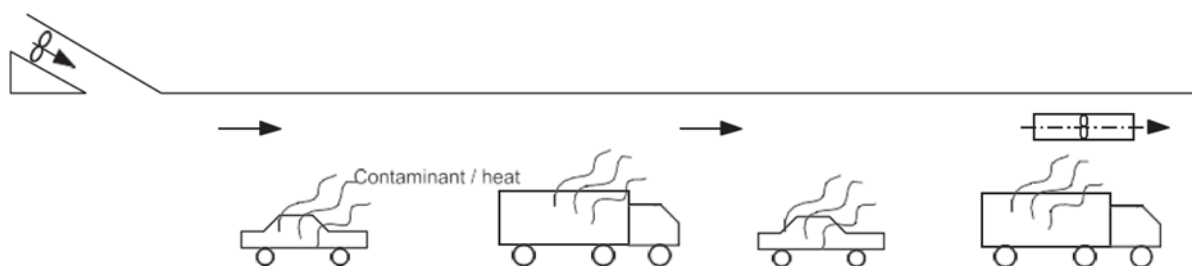
A longitudinális szellőztetés sugárventilátorokat és/vagy hagyományos ventilátorokat használ a hő, a szennyeződés és a por eltávolítására szolgáló hosszirányú áramlás létrehozására. A sugár ventilátorok viszonylag olcsók és könnyen telepíthetők, ezért széles körben alkalmazzák őket a hosszirányú szellőzőalagutakban, különösen a nagyon hosszú alagutakban,

ahol az aknák és egyéb szellőző csatornák kiépítése nehézkes és kevésbé hatékony. Egy kizárólag sugár ventilátorokból álló hosszanti szellőzőrendszer vázlatos rajza a 10. ábrán látható. A fűvókás ventilátorokat főként az alagútkapunál, a plafon alatt vagy az oldalfalakon szerelik fel. Általában két vagy három sugárventilátor alkot egy csoportot; a két csoportot egymástól nagyjából százméterre helyezik el, a sugárhajtású ventilátorok műszaki paramétereitől és az alagút alakjától függően [INGASON ET AL, 2015].

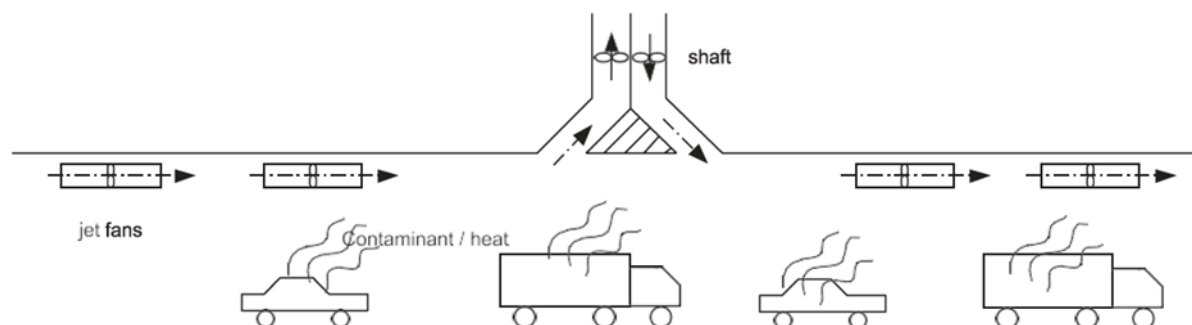


10. ábra A kizárólag sugárventilátorokkal történő hosszirányú szellőztetés sematikus ábrája [INGASON ET AL, 2015]

Az alagút bejáratánál a 11. ábrán látható módon telepített Saccardo-fűvóka hosszirányú áramlás létrehozására is használható. A fűvókában egy nagy ventilátort telepítenek, amely a fűvókán keresztül frisslevegő áramlását biztosítja az alagútban. Mivel azonban a Saccardo-fűvóka csak korlátozott nyomásnövekedést biztosít, ezért ez a berendezés csak rövid alagutaknál alkalmazható, kivéve, ha más kiegészítő szellőzőberendezéseket – például a 12. ábrán látható módon sugárventilátorokat – is telepítenek [INGASON ET AL, 2015].



11. ábra A hosszirányú szellőztetés vázlatos ábrája Saccardo fűvókával és sugárventilátorokkal [INGASON ET AL, 2015]

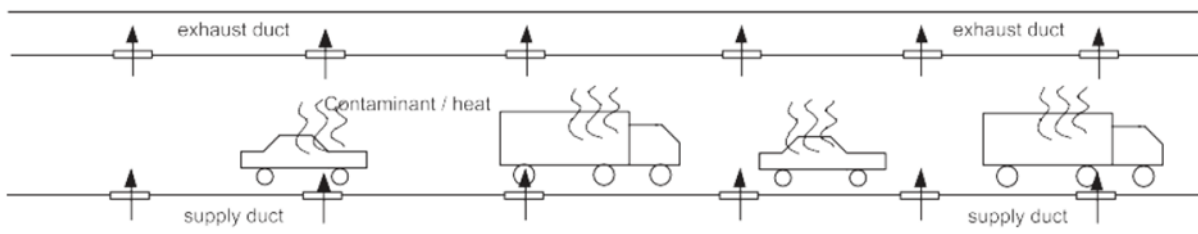


12. ábra A hosszirányú szellőztetés vázlata tengely- és sugárventilátorokkal [INGASON ET AL, 2015]

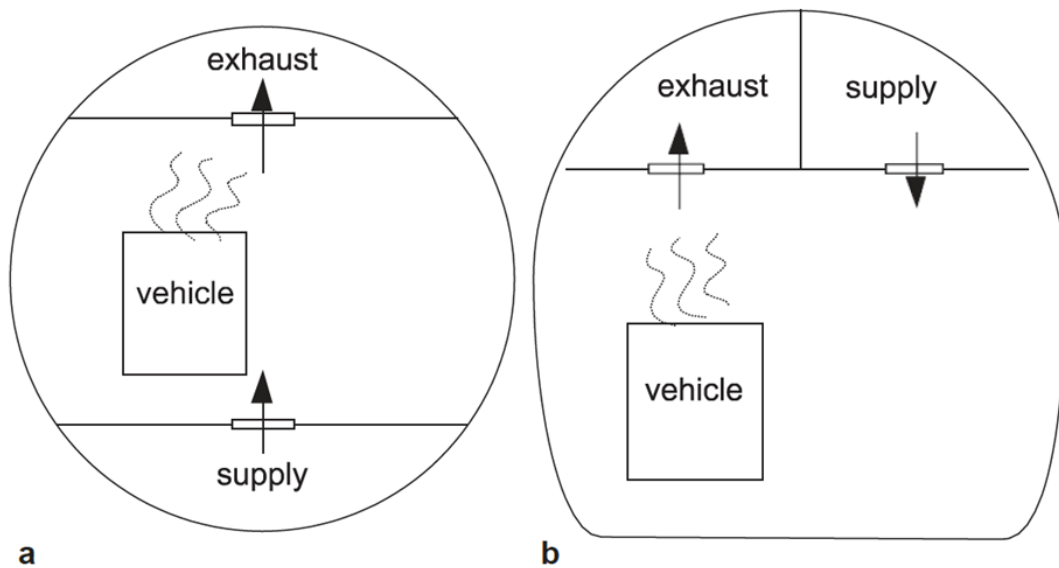
A longitudinális szellőztetésű alagutakban a járművekből és más forrásokból származó szennyeződések nem távolítják el, hanem a hosszirányú áramlásban maradnak egészen az alagút végéig. Ezért a szennyezőanyagok koncentrációja az alagút bejáratától távolodva növekszik, és a hő is általában ezt a tendenciát követi. Ez azt jelzi, hogy a hosszirányú áramlású szellőzőrendszerekkel ellátott alagutak hosszának van egy gyakorlati korlátja. Tehát hosszú alagutakban nem lehet tisztán longitudinális szellőzőrendszert alkalmazni. Ehelyett szükség lehet például a 12. ábrán látható módon egy vagy több akna kiépítésére a szennyeződés és a hő eltávolítására és a friss levegő bevezetésére [INGASON ET AL, 2015].

2.1.5.2.2 Keresztirányú szellőzés

A keresztirányú szellőztetés azt jelenti, hogy a légáramlás keresztirányban halad a légbefúvó és elszívó csatornák között. Egy ilyen rendszer az alagút mentén elhelyezett számos légcsatornából áll, amint az a 13. és 14. ábrán látható, hogy friss levegőt juttasson az alagútba és eltávolítsa a szennyeződések. Az elszívó nyílások általában a plafonon, míg a légbefúvó nyílások a padlón (lásd a 14a. ábrát) vagy a tetőn (lásd a 14b. ábrát) helyezkednek el. A csatornák csatlakozhatnak az alagút végek közötti aknákhöz vagy az alagút vége közelében lévő szellőzőkamrákhoz. Az elszívó csatorna általában az alagút szakasz tetején, míg a légbefúvó csatorna elhelyezkedésétől függően a tetején vagy az alján helyezkedik el [INGASON ET AL, 2015].



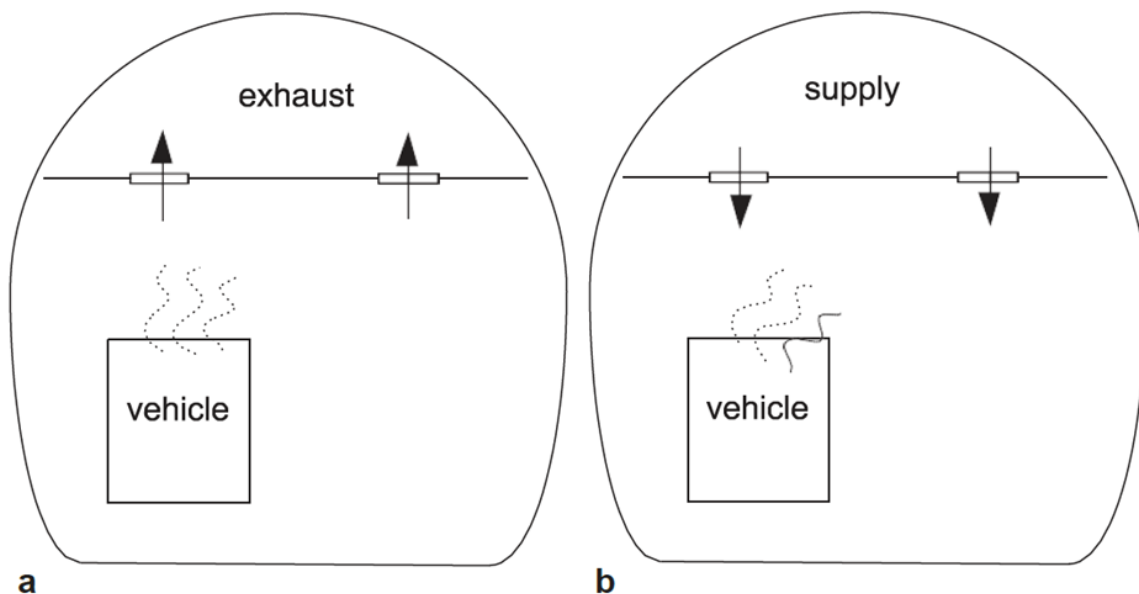
13. ábra A keresztirányú (hosszanti) szellőzés sematikus ábrája [INGASON ET AL, 2015]



14. ábra A keresztirányú szellőzés keresztmetszeti vázlata [INGASON ET AL, 2015]

2.1.5.2.3 Félíg keresztirányú szellőztetés

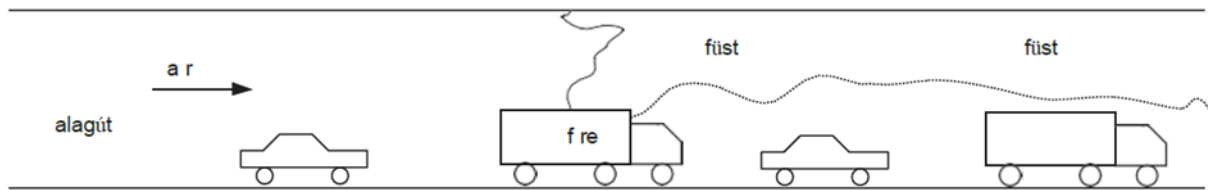
A félíg keresztirányú szellőztetés hasonlít a keresztirányú szellőztetésre. A különbség a két féle szellőztetés között, hogy a félíg keresztirányú szellőztetés esetén csak az elszívó vagy befúvó ventilátorok működnek. Tehát a 15. ábrán vázolt módon vagy csak friss levegő beáramoltatása történik az alagútba, vagy csak a szennyezett levegőt szívják el [INGASON ET AL, 2015].



15. ábra A félíg keresztirányú szellőztetés keresztmetszeti vázlatos ábrája [INGASON ET AL, 2015]

2.1.5.3 Hosszirányú hő- és füstelvezetés

Tűz esetén a normál szellőztető rendszert át kell állítani tűzvédelmi üzemmódra. A tűzvédelmi szellőztető üzemmódban működő eszközök feladata a füstáramlás irányítása, továbbá a füst és a tűz, káros hatásainak enyhítése, a vészhelyzeti reagálás, a kiürítés és a tűzoltási műveletek támogatása érdekében. Az alagútépítés egyszerűsítése és a költségek csökkentése céljából a tűzvédelmi szellőztetőrendszert lehetőleg a normál szellőztető rendszerrel kell kombinálni. Szellőztetési módszerek, füstelvonó szellőztetésre, hosszanti szellőztetésre és kombinált tűzvédelmi szellőztetési fajtákra csoportosíthatók [INGASON ET AL, 2015].



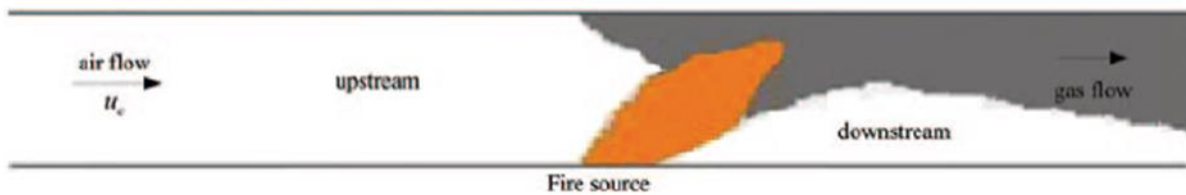
16. ábra Hő- és füstelvezetés egy alagútban hosszanti szellőztetéssel [INGASON ET AL, 2015]

Tűz esetén a hosszanti áramlású szellőzőrendszert a 16. ábrán vázolt módon úgy tervezték, hogy hosszanti áramlást hozzon létre, füstmentes utat teremtve a szellőzés és a füst áramlási iránya szerint a tűz felett. Ezért az alagút használói legalább a szellőzés és a füst áramlási iránya szerint a tűz felett kitudnak menekülni. Az alagút használói azonban kívánnak téve a szellőzés és a füst áramlási iránya szerint a tűz alatt áramló hőnek és füstnek. Metró alagutakban az emberek a tűz áramlási irányával szemben vagy áthaladnak a tűzön vagy a füst áramlási irányában menekülnek egy keresztátjáróig vagy egy metró állomásig. Ebben az esetben a longitudinális szellőztetés jelentősen ronthatja a helyzetet a szellőzés és a füst áramlási iránya szerint a tűz alatt elhelyezkedő emberek számára. A hosszirányú szellőztetés nem igényel plusz helyet a szellőző csatornák kialakításának, ezért olcsóbb megoldást kínál a keresztirányú vagy félig keresztirányú szellőztetési módoknál és ezért a korlátai ellenére vonzó a beruházók számára. A hátrányai ellenére ezért elterjedt a hosszirányú szellőztetési módszer [INGASON ET AL, 2015].

2.1.5.3.1 Kritikus sebesség

Kritikus sebességnek nevezzük azt a legkisebb hosszirányú szellőztetési sebességet, ami az alagútban kialakuló tűzből a füst visszaáramlását a 17. ábrán vázolt módon megakadályozza.

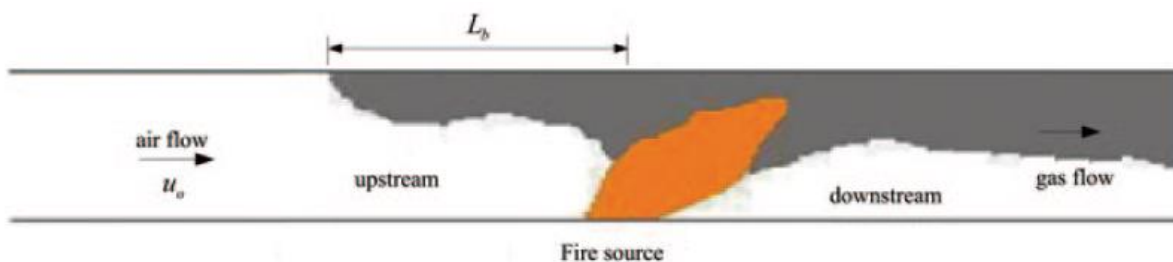
A visszaáramlás és a kritikus sebesség problémaköre fontos tervezési mutatószámok. A kritikus sebesség becslésére főként kétféle modell létezik, a kritikus Froude-modell és a dimenziótlan modell [INGASON ET AL, 2015].



17. ábra A kritikus sebesség diagramja alagúttűz esetén [INGASON ET AL, 2015]

2.1.5.3.2 Back-Layering hossza

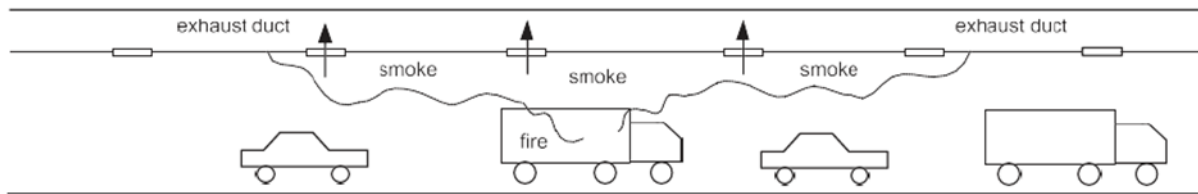
A visszahúzóds hossza, L_b (m), a füst visszahúzódsának hossza a 18. ábrán vázolt módon a szellőzés és a füst áramlási iránya szerint a tűz felett (az ábrán a tűztől balra), amikor a szellőzési sebesség kisebb, mint a kritikus sebesség. A hosszanti szellőztetéssel rendelkező alagútban a kritikus sebességnél nem alacsonyabb sebességű levegő áramoltatásával megakadályozzák a füst visszahúzódsát, ennek következtében az alagút - a füst áramlási iránya szerint a tűz felett (az ábrán a tűztől balra) - füstmentes. A füst áramlási iránya szerint a tűztől lefelé (az ábrán a tűztől jobbra) a füst rétegződése viszont nem tud fent maradni a túlságosan nagy szellőzési sebesség miatt [INGASON ET AL, 2015].



18. ábra A hátsó rétegzés sematikus diagramja alagúttűz esetén [INGASON ET AL, 2015]

2.1.5.4 Füstelvezetés

A füstelvezetés azt jelenti, hogy a tűzből származó füstgázáram közvetlenül a tűz közelében lévő elszívó nyílásokon át távozik, a 19. ábrán csak három elszívó nyílás aktiválódik a tűz közelében a füstgázáram elvezetésére [INGASON ET AL, 2015].



19. ábra Hő- és füstelvezetés egy alagútban pontszerű elszívó szellőztetéssel [INGASON ET AL, 2015]

Ingason és Li igazolta, hogy a füstterjedésének eredményes szabályozásához, azaz a füstnek a szellőzőnyílás és a tűz közé kényszerítéséhez az elszívó rendszernek elég erőteljesnek kell lennie ahhoz, hogy mindkét oldalról longitudinális áramlást hozzon létre. Ellenkező esetben a füstáram a plafon mentén fog tovább haladni, amíg a füstfrontot a beáramló áramlás csapdába nem ejti, ami nagy alagúttűz esetén növelheti a tűz terjedésének kockázatát. A füstelvezető rendszereket a tűz esetén aktiválódó elszívó nyílások számától függően egy-, két- vagy hárompontos rendszerekbe sorolják. Bár e rendszerek konfigurációja eltérő, a koncepció alapvetően ugyanaz: e rendszerek mindkét oldalának kellően erős szellőző légáramot kell biztosítania ahhoz, hogy eredményesen megakadályozza a füst tovább áramlását. Sajnálatosan a legtöbb alkalmazás során a cél csak a füstáramlás részleges megszüntetése. Ez jelentősen csökkenti az elszívási kapacitást és a költségeket. Ebben az esetben a füstáramlást nem lehet teljesen visszaszorítani a szellőzőnyílás és a tűzforrás közötti kis területen, ezért az nagyobb területen terjed [INGASON ET AL, 2015].

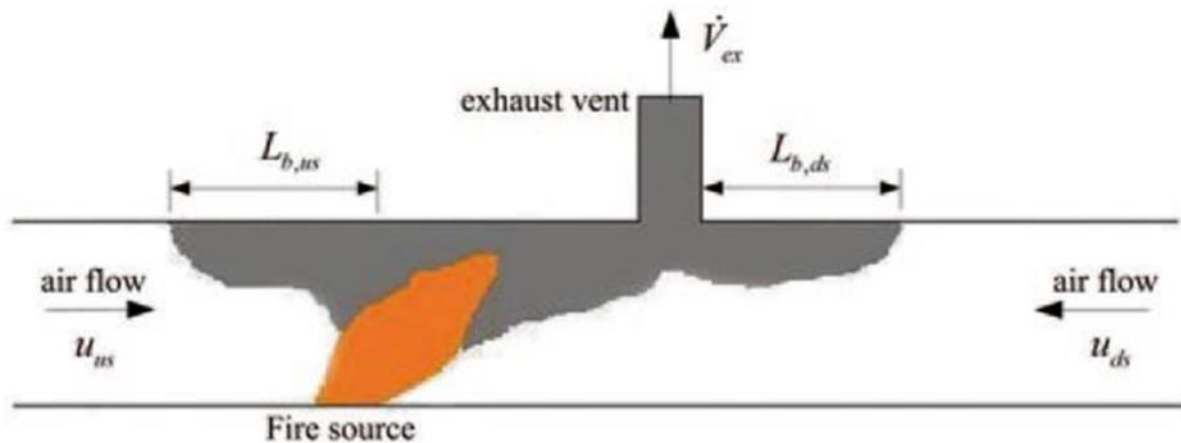
Azokban az alagutakban, ahol a normál szellőztetőrendszer félig keresztirányú vagy keresztirányú szellőztetéssel működik, a normál szellőztetőrendszer egyszerűen füstelvezetővé alakítható, ehhez általában az elszívási kapacitás növelésére van szükség. A normál szellőzőrendszerrel rendelkező alagutakban, keresztirányú szellőzőrendszerrel, mindkét szellőzőnyílás úgy alakítható ki, hogy a lehető legtöbb füstáramot távolítsa el, például a beszívó ventilátor megfordításával, miközben a füst elszívó ventilátor tovább működik. Ha azonban a szellőzőket a padlóba építik be, ezeket nem szabad füstelvezetésre használni, különben a füstretégződés megszűnik, ehelyett azonnal lezárják, hogy megakadályozzák az oxigén bejutását a tűzbe, és javítsák a füstelvezetés hatékonyságát. Félig keresztirányú szellőztetésű alagutak esetében, ahol a szellőzőnyílások az alagútszakasz felső szintjén helyezkednek el, a tűz közelében lévő szellőzőnyílások használhatók a füstáram elszívására. A füstelvezető berendezést a tűzjelző érzékelő rendszer jelzése alapján automatikusan vagy manuálisan kell aktiválni. Tűz esetén a tűzjelző érzékelő rendszernek azonosítania kell a tűz helyét, és a tűz közelében lévő nyílásokat ki lehet nyitni a füstáram elszívására. A kinyitandó nyílások száma

a tűz méretétől és az egyes nyílások tervezett áramlási sebességétől függ. Eközben a többi légcsatornát a 21. ábrán vázoltaknak megfelelően zárva kell tartani. Működés közben szükség lehet más szellőztetőberendezések, például mennyezeti Jet ventilátorok használatára a pontszerű elszívó berendezéssel együtt, hogy mindkét oldalon longitudinális áramlást hozzanak létre, és megakadályozzák a füst terjedését [INGASON ET AL, 2015].

Egy adott teljes füstáramhoz, ha több elszívó csatornát használnak, és a két elszívó csatorna közötti időintervallum azonos, a többpontos elszívó rendszer felületének természetesen nagyobbnak kell lennie, mint az egypontos elszívó rendszeré, mivel a tűz és a füst jobban terjed. Ezen túlmenően gyakorlati szempontból sokkal könnyebben ellenőrizhető egy olyan elszívó rendszer, amelyben kevesebb elszívó van üzemben, vagy az elszívók sűrűbb elosztásúak [INGASON ET AL, 2015].

2.1.5.4.1 Egypontos elszívó rendszer

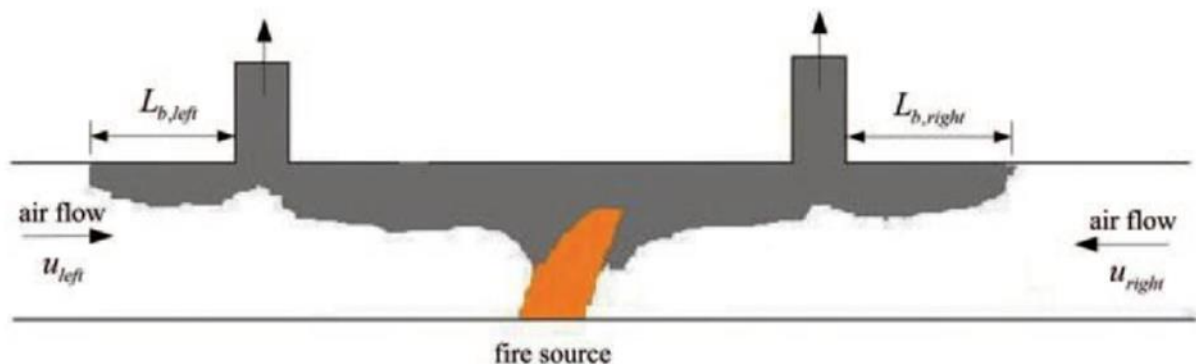
Egypontos elszívó rendszerben a füst hatásos elszívása akkor érhető el, ha mindkét oldalról elegendő levegőt áramoltatnak a tűz és a füst visszatartásához a tűzforrás és az elszívó csatorna közötti zónában. A vizsgálatok azt mutatták, hogy legfeljebb 500 MW HRR-ig, egyetlen szívórendszer képes a tűz és a füstáramlás teljes elfojtására a tűzforrás előtt és után, ha a szellőzés sebessége a füst áramlási iránya szerint a tűztől felfelé (az ábrán a tűztől balra) legalább 2,9 m/s, a füst áramlási iránya szerint a tűztől lefelé (az ábrán a tűztől jobbra) pedig a szellőzés sebessége körülbelül 3,8 m/s. Ebben a 20. ábrán vázolt hosszirányú szellőztetéssel rendelkező alagútban a füstszabályozás kritikus sebessége körülbelül 2,9 m/s. Tehát egy longitudinális szellőzéssel rendelkező alagútban a kritikus sebességek mindkét oldalon nagyjából egyenlők a füstszabályozás kritikus sebességével. Egy hosszirányban szellőző alagúttűzben az alagút két oldaláról érkező levegő áramlásának sebessége, amely a füstelvezetéshez szükséges a pontszerű elszívó rendszerekben, körülbelül megegyezik a füstelvezetéshez szükséges kritikus sebességgel. A hatékony füstelvezető rendszer - mivel hatékonyan távolítja el a tűz által termelt füstöt és hőt az alagútból - jelentősen csökkenti a tűznek a tűz- és füstzónán kívüli terjedésének kockázatát [INGASON H, LI YZ, 2011].



20. ábra Egy pontos elszívó rendszer vázlata [INGASON H, LI YZ, 2011]

2.1.5.4.2 Kétpontos elszívó rendszer

A kétpontos elszívó rendszer úgy kerül kialakításra, hogy a tűz és a füst a kiépített két elszívó nyílás között lévő területre korlátozódjon. A kétpontos szívórendszer vázlatos rajza a 21. ábrán látható. Az égő területen keresztül történő szellőzés sebessége az alagút szellőzőrendszerétől függ. Legtöbbször az ilyen rendszerek működése nem szimmetrikus, általában van egy hosszirányú áramlás a tűzön keresztül, és ilyenkor a 21. ábrán látható módon a tűz a hosszirányú áramlás irányába dől [INGASON H, LI YZ, 2011].



21. ábra Kétpontos elszívó rendszer vázlata [INGASON H, LI YZ, 2011]

A veszélyeztetett terület nagysága szűkíthető a két elszívó nyílás között lévő távolság csökkentésével. Kétpontos elszívó nyílás alkalmazása esetén az alagút mindkét irányából elegendő levegőt kell biztosítani ahhoz, hogy a füstöt és a tüzet a két elszívó nyílás közötti területre korlátozzák. Legfeljebb 500 MW HRR-ig, a longitudinális szellőzési sebességnek mindkét oldalon nagyobbak kell lennie 2,9 m/s-nál. Egy hosszirányban szellőző alagúttűzben az alagút két oldaláról érkező levegő áramlásának sebessége, amely a füstelvezetéshez

szükséges a pontszerű elszívó rendszerekben, körülbelül megegyezik a füstelvezetéshez szükséges kritikus sebességgel. A hatékony füstelvezető rendszer – mivel hatékonyan távolítja el a tűz által termelt füstöt és hőt az alagútból – jelentősen csökkenti a tűznek a tűz- és füstzónán kívüli terjedésének kockázatát [INGASON H, LI YZ, 2011].

2.1.5.5 Vízalapú fix tűzoltó rendszerek (FFFS)

Az alagutakban leggyakrabban a fix tűzoltórendszereket (FFFS) használják, amelyek közé tartoznak a fix víz- és habrendszerek. A vízrendszereket nyomás és cseppméret szerint vízpermetező és vízködrendszerekre osztják, a vízpermetező rendszerek alacsony nyomáson, a ködrendszerek pedig magas nyomáson (10 bar felett) és nagyon kis cseppekkel működnek. A vízpermetező és ködrendszerek általában szelepekkel távolról vezérelt zónákban működnek [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

2.1.5.5.1 Vízpermetező rendszerek

A vízpermetező rendszerek az alagút mennyezetébe épített csövekhez csatlakoztatott fűvókákból vagy sprinklerekből állnak. A csővezeték hálózatot fő csövek, elosztócsövek, tápcsövek és elágazócsövek alkotják. A szórófejek az elágazó csövekhez csatlakoznak, és általában mennyezeten kerülnek elhelyezésre. Az elágazó csövek a tápcsövekhez, a tápcsövek pedig a vízleeresztő szelepekhez csatlakoznak. Az elárasztó szelepek elválasztják a vízzel töltött fő vezetékeket az üres (száraz) tápvezetékektől és a szórófejeket vagy sprinklereket tápláló mellékvezetékektől. Amikor az elárasztó szelep kinyílik, a víz a tápcsőbe és az elágazó csövekbe áramlik, és a nyitott szórófejekből kifolyik. Az elágazó csővezetékeket leggyakrabban 25-50 méteres áramlási zónákra osztják fel, amelyek mindegyike saját elárasztó szeleppel rendelkezik. Tűzjelző érzékelő rendszerre van szükség, amely képes a tűz pontos helyének meghatározására és a tűz helyének zónáját kiszolgáló elzárószelepek aktiválására. Az elárasztószelepek az érzékelőrendszer jelzésére automatikusan vagy manuálisan nyithatók; ha két elárasztott zóna határán történik esemény, előfordulhat, hogy mindkét zónát aktiválni kell. Amikor az elárasztószelepek kinyílnak, a víz az ellátó- és elágazócsövekbe, valamint az elárasztott zónában lévő összes fűvókából kifolyik [BEARD ÉS CARVEL, 2012].

2.1.5.5.2 Vízköd rendszerek

A vízködrendszerek alapvetően hasonlóak az árvízi permetező rendszerekhez, azaz a csőrendszer vízzel töltött fő vezetékekből, elosztókból, elárasztószelepekből, száraz tápvezetékekből és elágazó csövekből áll, amihez fűvókák csatlakoznak. A fő vezetéket a

vízellátó vezetékhez csatlakoztatják, és a nyomást egy szivattyú állítja elő. Alacsony nyomású vízködképző és nagynyomású vízködképző rendszereket alkalmaznak. A rendszerben használt csővezetékeket és csöveket a megfelelő üzemi nyomásra kell tervezni. A kis fűvókák eltömődésének elkerülése érdekében korrózióálló anyagokat, például rozsdamentes acél csöveket és csővezetékeket használnak. A rendszerek közötti elsődleges különbség a vízcseppméret nagysága, a cseppméret fordítottan arányos az alkalmazott nyomással. Adott vízáramlási sebesség mellett, a nagynyomású fűvókából kilövellő permet nagyobb lendülettel rendelkezik, mint a kisnyomású fűvókából kilövellő [BERGESON ET AL, 2020].

A vízködrendszerek alapelve, hogy 3-10 bar fűvóka nyomáson 1 milliméternél kisebb vízcseppekből álló ködöt hoznak létre. A nagynyomású rendszerek 60 és 120 bar közötti fűvóka nyomáson különböző méretű vízcseppek keverékéből álló vízködöt hoznak létre. A 25 méteres zónára jutó teljes vízmennyiség 221-683 l/perc között mozog alacsony nyomású rendszereknél és 140-550 l/perc között nagy nyomású rendszereknél [UPTUN, 2008].

2.1.5.6 Kommunikációs és riasztórendszer, vészvilágítás, jelzések

A beavatkozási fázisban a főkezelőnek, a tűzoltóknak, az állomások kezelőinek, a személyzetnek és a rendőrségnek kommunikálnia kell egymással. A kommunikációs rendszernek ezért koherensnek, többszörösnek és teljesnek kell lennie, hogy megfeleljen mindezen igényeknek. Rendes telefonok, segélyhívók, különvonalak, mobiltelefonok, közvetlen tárcsázású telefonok, műholdas kommunikáció, földalatti kommunikációs rendszerek némelyike külön-külön vagy együttesen is használható. Ha tűz ütött ki egy állomáson vagy alagútban, sok utast kell riasztani. A riasztási fázisban ez a metravezetőkre, az állomáskezelőkre és az utasokra vonatkozik. Ha az állomás nyilvános területén tüzet észlelnek, a riasztórendszer figyelmezteti a jelenlévőket az eseményre, és felszólítja őket, hogy azonnal hagyják el az állomást. Egy ilyen riasztórendszer tervezésekor különös figyelmet kell fordítani a jó beszédérthetőségre a nagy épületgeometria miatt. A mechanikus füstelvezetés akusztikai hatását is figyelembe kell venni. Az állomásokon lévő vészkijáratok normál és vészvilágításokkal vannak felszerelve áramszünet vagy tűz esetére, továbbá az alagutak is rendelkeznek vészvilágítással. A metróalagutakban a jelzések egyszerűek. Az evakuálási útvonalakat jelző táblákból állnak, amelyek az állomások nevét és távolságát jelzik. Ezek a tájékoztató táblák kivilágítottak, vagy a vészvilágítás mellett kerülnek elhelyezésre, hogy áramkimaradás esetén is láthatóak legyenek. Az állomások dinamikus padlóvezető rendszerekkel is felszerelhetők, amelyek a padlón villogó nyilakkal tájékoztatják az embereket arról, hogy a tűz észlelésének helyétől függően milyen irányban hagyhatják el biztonságosan

az állomást. Az ilyen pontszerű világítótestek alternatívájaként a 3. képen látható lineáris padlóvilágítási rendszer áll rendelkezésre [LEUCKER, 2020].



3. kép Dinamikus padlóvezető rendszer, amely a menekülő embereket a legközelebbi kijáráthoz irányítja

A biztonsági világítás esetében különbséget kell tenni aszerint, hogy az alagút keresztmetszete kör vagy téglalap alakú. Kör keresztmetszetű alagút esetén a világítás kb. 1,1 m-rel a járható felület felett helyezkedik el a biztonsági területen kívül. Így a járható terület füst esetén lényegesen tovább marad megvilágítva. Ezzel szemben a téglalap alakú alagút keresztmetszeteknél a világítást legalább 2 m-rel a biztosítandó biztonsági tér magassága felett kell elhelyezni, hogy a lámpák ne szűkítsék indokolatlanul a teret. A világításon kívül elektromos berendezéseket kell telepíteni a vészhelyzeti szolgálatok számára, amelyeket elektromos fogyasztókkal lehet összekötni. Az alagútból való menekülés segítése érdekében menekülési útvonaljelző táblák vannak elhelyezve. A táblák jelzik a következő biztonságos hely (pl. állomás, portál, vészkijárat) távolságát, valamint a menekülés irányát [GABAY, 2004].

2.1.5.7 Füstfüggöny, tűzvédelmi redőny, peronfal ajtó PSD

A füst terjedésének megakadályozása érdekében például a 4. képen láthatóhoz hasonló füstfüggönyöket kell felszerelni a vágány és a peron között, valamint a lépcsők és a mozgólépcsők lábánál. Ha az állomás szerkezete megnehezíti a tűzgátlók (redőnytípusú) felszerelését, akkor a peron szintjén lévő evakuációs átjáró lépcsőjének lábánál rögzített füstfüggönyöket és füstgátlókat kell felszerelni. A füstfüggöny magasságának legalább 50 cm-nek kell lennie [LEUCKER, 2020].



4. kép Füstfüggöny (redőny)

Tűzszakaszok: Ha az állomás egy földalatti bevásárlóközponthoz vagy egy másik földalatti vonalhoz csatlakozik, a csatlakozási határon elhelyezett tűzszakaszok lehetnek ajtó típusú tűzgátlók (csuklós vagy toló) vagy az 5. képen látható tűzvédelmi redőnyök (amelyeknek korlátozottan felhúzható típusúaknak kell lenniük). A tűzvédelmi redőnyöknek képesnek kell lenniük arra, hogy automatikusan megálljanak, ha leereszkedés közben akadályba ütköznek, hogy megakadályozzák az utasok beszorulását [LEUCKER, 2020].



5. kép Tűzvédelmi rekesz (ernyőtípus ajtóval)

A redőnyök 6. képen bemutatott működési folyamata a következő:

- 1) A tűzvédelmi redőnyöknek tűzjelző riasztására vagy az állomás személyzetének működtetésére automatikusan le kell ereszkedniük a padlósinttől 2,0 m-re.

2) A tűzvédelmi redőnyöket az állomás személyzete zárja be, miután megerősítésre került, hogy az evakuálás befejeződött. A tűzvédelmi redőnyöket általában az állomás személyzete zárja be a helyszínen, de lehetőleg a vészhelyzeti irányítóhelyiségből is zárhatónak kell lennie [LEUCKER, 2020].



6. kép Tűzvédelmi redőny működési szakaszai

A peron fal ajtók (platform screen doors PSD) hatása az életbiztonságra egy földalatti állomáson keletkezett tűz esetén: a PSD-vel felszerelt peronon az utasoknak körülbelül 100 másodperccel több idejük van a peron biztonságos elhagyására, mint a PSD-vel nem rendelkező peronokon tartózkodó személyeknek. A dél-koreai Teguban történt földalatti baleset rávilágított a földalatti terek tűzvédelmi tervezésének fontosságára. A tragédiát követően a koreai kormány úgy döntött, hogy valamennyi aluljáróban javítja a tűzbiztonságot. A földalatti tűz esetén az életbiztonság javítására irányuló erőfeszítések részeként a főbb metróállomásokon a 7. képen látható PSD-hez hasonló peronfal ajtókat telepítettek [ROH ET AL, 2010].



7. kép Példa a peron fal ajtók (platform screen doors PSD) felszerelésére
(forrás: Wikipédia https://en.wikipedia.org/wiki/Platform_screen_doors)

2.2 Esettanulmányok a világban és Magyarországon történt metró tüzesetekről

2.2.1 Metróállomásokon és metrószerelvényeken történt balesetek elemzése

2.2.1.1 Metró tűzkatasztrófák a világban

A metróállomásokon bekövetkező természeti és ember okozta balesetek elemzése a baleseti statisztikák alapján: az utasok nagy száma miatt egyes metróállomások "zsúfolt helyek", különösen csúcsidőben. Ha egy zsúfolt területen vészhelyzet vagy katasztrófa történik, annak súlyos következményei lehetnek. Sok metróállomás a föld alatt van, és az emberek által okozott katasztrófák, mint például tűz vagy terrorizmus, pusztító következményekkel járhatnak. A helyzetet tovább súlyosbítja, hogy a legtöbb metróállomás zárt tér, és csak néhány alagút vezet a szabadba, a peronok és az alagutak közötti távolságok pedig nagyok lehetnek, ami megnehezíti a mentési műveleteket és az evakuálást. Ezért hasznos, ha tisztában vagyunk a metróállomásokon bekövetkező lehetséges katasztrófák jellemzőivel.

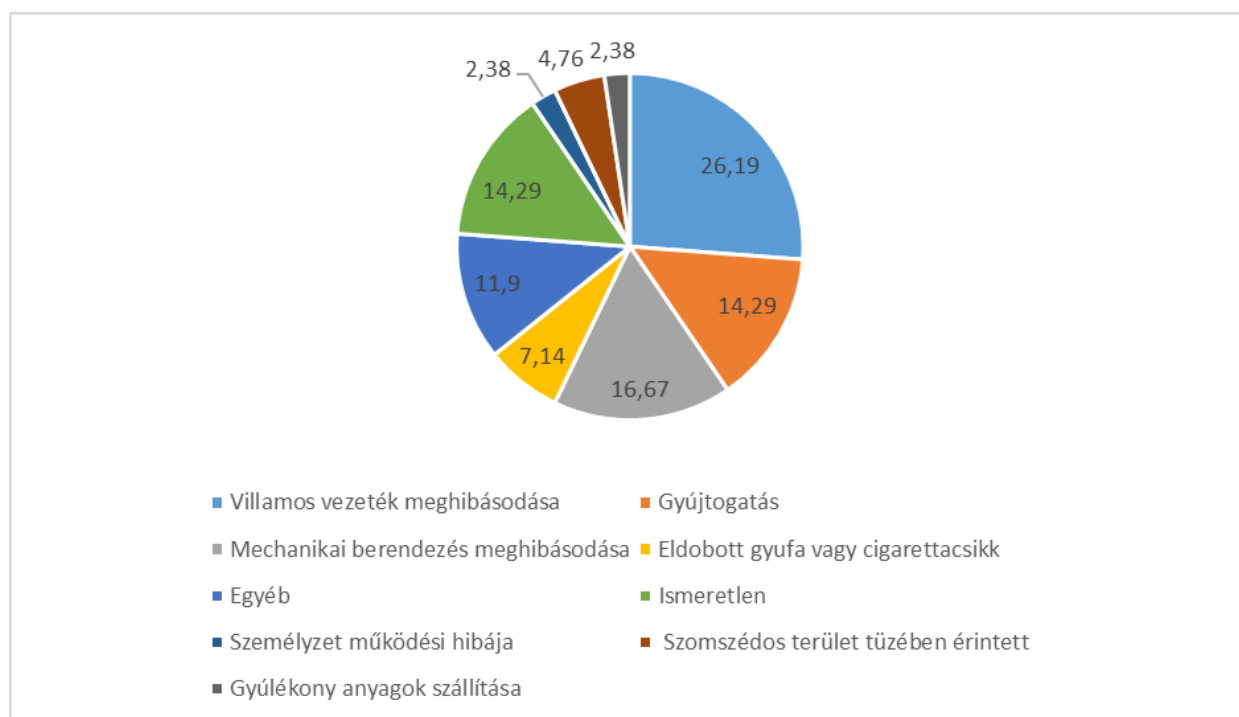
Sok metróállomás viszonylag szűkös földalatti hely. Ha ilyen helyiségekben tűz keletkezik, a szintetikus anyagok égéséből származó füst mérgező lehet, ami megnehezíti az utasok menekülését és súlyos sérüléseket okozhat. Az 1987-es londoni King's Cross Station tűz és a 2003-as tegui metró tűz egyaránt több mint 100 áldozatot követelt. A szakirodalom áttekintése és a hírek összegyűjtése alapján 42 földalatti tüzesetet gyűjtöttek össze a világ minden tájáról, amelyeket a 6. táblázat mutat be [YU ET AL, 2018].

6. táblázat Metró tűz-katasztrófák a világban [YU ET AL, 2018]				
Dátum	Helyszín	Keletkezés oka	Áldozatok száma	
			Halott	Sérült
1969.11.11	Peking	metrószerelvény elektromos hibája	6 fő	200 fő
1973.03.27	Párizs	gyújtogatás	2 fő	0
1974.01	Montréal	rövidzárlat	0	0
1975.07	Boston	világítási vezeték meghibásodása az alagútban	0	0
1976.05	Lisszabon	metrószerelvény meghibásodása	0	0
1976.10	Toronto	rövidzárlat	0	0
1978.10	Köln	cigarettacsikkek	0	8 fő
1979.01	San Francisco	rövidzárlat	1 fő	56 fő
1979.03	Párizs	rövidzárlat a metrószerelvényen	0	26 fő

Dátum	Helyszín	Keletkezés oka	Áldozatok száma	
			Halott	Sérült
1979.09.	Philadelphia	transzformátor meghibásodása	0	178 fő
1979.09	New York	cigarettaaccikk	0	4 fő
1980.04	Hamburg	az ülés kigyulladt	0	4 fő
1980.06	London	cigarettaaccikk	1 fő	0
1981.06	Moszkva	áramkör meghibásodása	7 fő	0
1981.09	Bonn	személyzet működési hibája	0	0
1982.03	New York	az átviteli berendezés meghibásodása	0	86 fő
1982.06	New York	rövidzárlat	0	0
1982.08	London	rövidzárlat	0	15 fő
1983.08	Nagoja	egyenirányító meghibásodása	3 fő	3 fő
1983.09	München	áramkör meghibásodása	0	7 fő
1984.09	Hamburg	az ülés kigyulladt	0	1 fő
1984.11	London	raktár kigyulladt	0	18 fő
1985.04.12	Párizs	égő szemét	0	6 fő
1985.09	Tokió	metrócsapágy meghibásodása	0	0
1987.11.18	London	műszaki meghibásodás	32 fő	100 fő
1991.04.16	Zürich	metró mozdony rövidzárlata	0	58 fő
1991.06	Berlin	gyújtogatás	0	18 fő
1994.06	Tajpej	alállomás kigyulladt	0	3 fő
1995.04.28	Tegu	gázvezeték szivárgás	103 fő	230 fő
1995.10.28	Baku	elektromos meghibásodás okozta	289 fő	270 fő
2001.08.30	Sao Paulo	ismeretlen	1 fő	27 fő
2003.02.18	Tegu	gyújtogatás a metrószerelvényen	192 fő	148 fő
2003.12.30	Sanghaj	a szomszédos pláza tüze	0	0
2004.01.05	Hong Kong	gyújtogatás a metrókocsiban	0	14 fő
2005.08.26	Peking	ismeretlen	0	0
2006.08.16	New York	ismeretlen	0	15 fő
2012.03.14	Kijev	csillár tüzet fogott	0	0
2013.06.05	Moszkva	rövidzárlat	0	52 fő
2014.01.05	Nanking	utas által szállított gyúlékony anyag	0	0
2015.01.12	Washington	ismeretlen	1 fő	2 fő

Dátum	Helyszín	Keletkezés oka	Áldozatok száma	
			Halott	Sérült
2016.01.22	Shanghai	szomszédos üzlet tüzet fogott	0	0
2016.01.26	Tokió	valami égett a szellőzőn	0	0

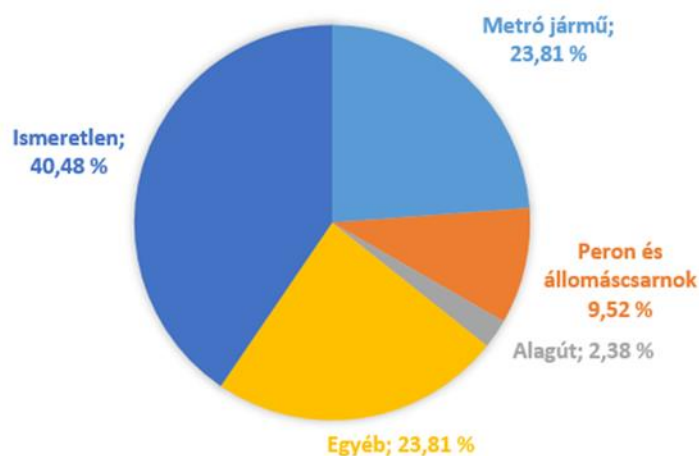
A földalatti tüzek három fő oka a 22. ábra szerint az elektromos vezetékek meghibásodása (26,19%), a mechanikai berendezések meghibásodása (16,67%) és a gyújtogatás (14,29%). Az alagutakban és a földalatti állomásokon különböző típusú elektromos berendezések és elektromos vezetékek vannak felszerelve. A rövidzárlatok, a nagy terhelések, az elektromos szivárgások és a berendezések meghibásodásai tűzkatasztrófákhoz vezethetnek. Az ilyen tüzek elkerülése érdekében a berendezéseket és vezetékeket rendszeres időközönként át kell vizsgálni, és a rejtett veszélyeket időben meg kell szüntetni. A vizsgált esetek közül hatot gyújtogatás okozott. Egyes városokban a földalatti állomások bejáratainál nem végeznek biztonsági ellenőrzéseket. A biztonsági ellenőrzések hatékony eszközei annak, hogy a gyúlékony anyagokat, például a benzint távol tartsák a metróállomásoktól [YU ET AL, 2018].



22. ábra Tűzbalesetek megoszlási aránya a tűz keletkezési okai szerint [YU ET AL, 2018]

Az eredeti tűz helye információhiány miatt 42 esetből 17 esetben ismeretlen volt. A metróállomásokon, alagutakban, raktárakban és metrószerelvényeken keletkezett tüzek arányát a 23. ábra mutatja. 10 esetben a tűz vonaton keletkezett, ami az összes tűz 23,81%-át teszi ki.

Az alagutakban és metróállomásokon keletkezett tüzek aránya 2,38%, illetve 9,52% volt, ami jóval alacsonyabb, mint a metrószerelvényekben keletkezett tüzek aránya. Ezért javasolták, hogy a földalatti metrószerelvényeket szigorúan tűzveszélyes övezetként kezeljék, és elsőbbséget adjanak nekik az állomások előtereivel és peronjaival szemben [YU ET AL, 2018].



23. ábra Tűzbalesetek megoszlási aránya a tűz keletkezési helye szerint [YU ET AL, 2018]

A metróállomásokon keletkező tüzeseteknek három fő oka van: hibás elektromos vezetékek, hibás gépészeti berendezések és gyújtogatás. Ezért erősen ajánlott az elektromos berendezések rendszeres ellenőrzése és karbantartása, valamint a metróállomások bejáratainál szigorú biztonsági ellenőrzés mind az utasok, mind a csomagok tekintetében. A legtöbb tüzeset a vonatokban történik, és ezeket a vonatok a tűzbiztonság szempontjából kulcsfontosságú területként kell kezelni [YU ET AL, 2018].

2.2.1.2 Metró elleni terrorista támadások világszerte

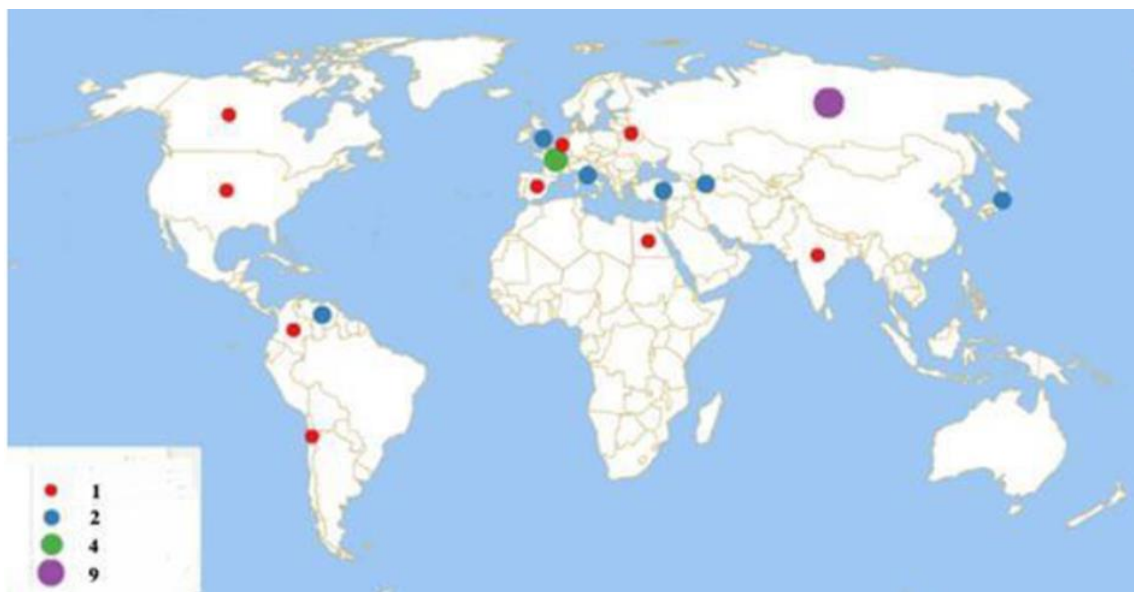
A metróállomások ideális helyszínek a terrortámadásokhoz, mivel forgalmasak, és általában csak egy vagy két kijáratral rendelkeznek. Egy ilyen zsúfolt és szűk helyen elkövetett terrortámadás pusztító erejű lehet. A 7. táblázat a metróállomásokon történt terrorcselekmények számát mutatja, amelyek 1976 és 2016 között történtek a világ városaiban [YU ET AL, 2018].

7. táblázat Metró elleni terrorista támadások világszerte [YU ET AL, 2018]				
Dátum	Helyszín	Keletkezés oka	Áldozatok száma	
			Halott	Sérült
1976.01.12	New York	robbanóanyagok	0	0
1977.01.08	Moszkva	robbanóanyagok	7 fő	37

Dátum	Helyszín	Keletkezés oka	Áldozatok száma	
			Halott	Sérült
1986.09.04	Párizs	robbanóanyagok	0	0
1990.07.06	London	robbanóanyagok	0	0
1994.03.19	Baku	öngyilkos merényletek	14 fő	49 fő
1994.06.03	Baku	távírányítású robbanóanyag	13 fő	42 fő
1995.03.20	Tokió	halálos gáz szarin	12 fő	6000 fő
1995.07.25	Párizs	robbanóanyagok	8 fő	80 fő
1995.08.26	Lyon	robbanóanyagok	0	0
1995.10.17	Párizs	robbanóanyagok	0	29 fő
1998.01.01	Moszkva	távírányítású robbanóanyag	0	3 fő
1998.06.03	Caracas	robbanóanyagok	0	0
1998.07.02	Caracas	robbanóanyagok	0	0
1999.02.17	Isztambul	tűz vagy tűzbomba	0	0
1999.04.11	Moszkva	robbanóanyagok	0	0
2000.08.20	Caracas	robbanóanyagok	0	0
2000.08.23	Caracas	robbanóanyagok	0	0
2001.08.02	Caracas	robbanóanyagok	0	0
2001.08.14	Róma	robbanóanyagok	0	0
2001.09.02	Montréal	mérgező gáz	0	40 fő
2002.03.02	Medellin	robbanóanyagok	0	9 fő
2002.05.12	Milánó	gázpalack	0	0
2002.06.02	Ljuberci	távírányítású robbanóanyag	0	1 fő
2002.12.01	Caracas	robbanóanyagok	0	0
2003.07.16	Moszkva	robbanóanyagok	0	0
2004.02.06	Moszkva	öngyilkos merényletek	40 fő	120 fő
2004.03.11	Madrid	robbanóanyagok	192 fő	2050 fő
2004.08.31	Moszkva	robbanóanyagok	10 fő	50 fő
2005.07.07	London	öngyilkos merényletek	56 fő	784 fő
2006.07.11	Mumbai	robbanóanyagok	209 fő	700 fő
2008.11.25	Szentpétervár	robbanóanyagok	3 fő	2 fő

Dátum	Helyszín	Keletkezés oka	Áldozatok száma	
			Halott	Sérült
2010.03.29	Moszkva	öngyilkos merényletek	40 fő	102 fő
2011.04.11	Minszk	robbanóanyagok	15 fő	204 fő
2014.06.25	Kairó	robbanóanyagok	7 fő	100 fő
2014.09.08	Santiago	robbanóanyagok	0	14 fő
2015.12.01	Isztambul	robbanóanyagok	2 fő	1 fő
2016.03.22	Brüsszel	öngyilkos merényletek	35 fő	340 fő
2016.09.28	Tokió	ismeretlen gáz	0	9 fő
2017.04.03	Szentpétervár	robbanóanyag	11 fő	45 fő

Földrajzi eloszlás: A 24. ábra a metróban történt terrorcselekmények földrajzi eloszlását mutatja. Oroszországban a legmagasabb a metróban történt terrorcselekmények száma. Az ebben a régióban elkövetett terrortámadások magas száma összefügghet a szigorú fegyvertartási politika hiányával és a menekültkérdéssel [YU ET AL, 2018].

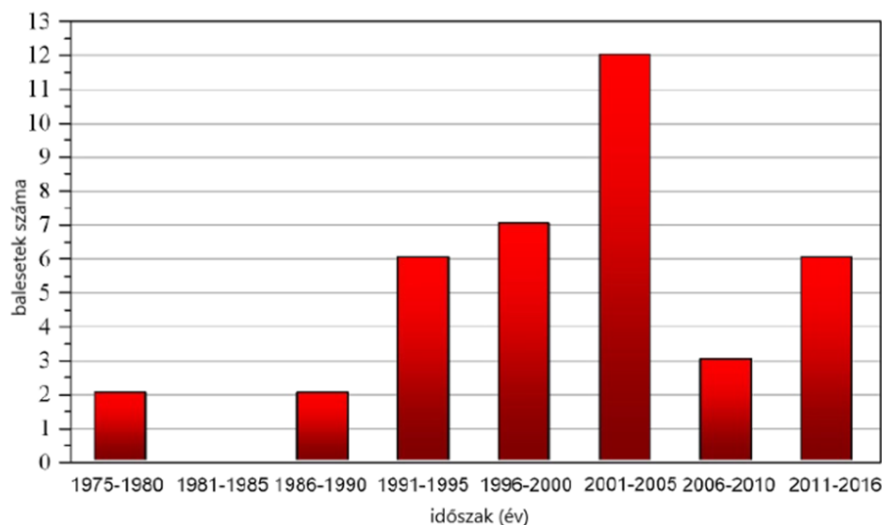


24. ábra : Metróban elkövetett terrortámadások világszerte (országoként, 1976-2016)

[YU ET AL, 2018]

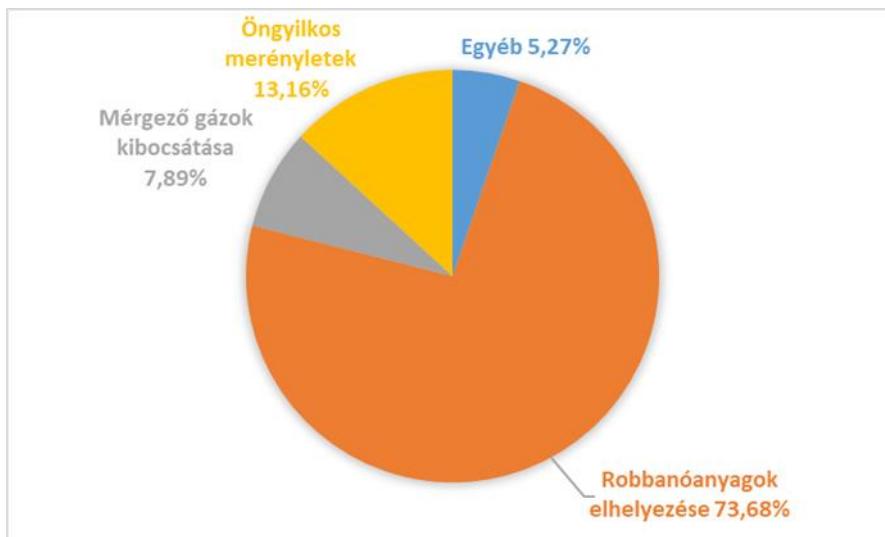
A metróban történt 38 terrorcselekmény időbeli eloszlását a 25. ábra mutatja. Az ábrán látható, hogy 1986 előtt mindössze két terrorista incidens történt a metróban. 1986 óta azonban a metróban történt terrorista incidensek száma fokozatosan emelkedett: a 2001-2005 közötti ötéves időszakban 12 terrorista incidens történt a metróban; 2005 után a számuk csökkenni

kezdett, de 2011-től ismét emelkedett. Mivel a terrortámadások általában súlyos károkat okoznak, a metróállomások vezetőinek folyamatosan ébernek kell lenniük [YU ET AL, 2018].



25. ábra Metrótámadások különböző időszakokban [YU ET AL, 2018]

Az elmúlt években több terrortámadás történt metróállomásokon, és a terroristák által alkalmazott taktika a 26. ábra szerint gyakran robbanóanyagok elhelyezését vagy öngyilkos merényletek végrehajtását foglalja magában. A biztonsági ellenőrzések, a biztonsági őrjáratok és a CCTV-rendszerek hatékony módszerek vagy eszközök a metróállomásokon elkövetett terrortámadások megelőzésére [YU ET AL, 2018].



26. ábra Terrorista támadások megoszlási aránya az elkövetés módja szerint [YU ET AL, 2018]

2.2.1.3 Kisebb tüzek a budapesti metróvonalon

Magyarországon az utóbbi évtizedekben a kisebb tüzek mellett egy jelentősebb tüzeset történt, az Árpád híd – Forgách utca állomások közötti alagútszakaszban 2011. április 19.-én kigyulladt egy metrószerelvény.

Metrón történt kisebb füstöléseket kiváltó tényezők

Előregedés: A budapesti metróvonalon kigyulladt járművek jellemzően 1968 és 1985 között kerültek beszerzésre. Tehát a szerelvények életkora és az évtizedek alatt elért futási teljesítménye jóval meghaladta a szovjet gyártó által megadott 30 év vagy 3 millió kilométer futásteljesítményt.

Konstrukciós hibák: A metrókocsikban a padló alatt általában erősáramú elektromos berendezések találhatók, amelyek növelik a tűzveszélyt. A padló alatt sűrűn elhelyezett berendezések mellett a szovjet vagonokra jellemző volt, hogy az utastérben és a vezetőfülkében nagyfeszültségű berendezéseket helyeztek el. Az alvázra épített elektromos berendezések és az utastér között nem volt tűzgátló anyag, a keletkezett tűz tovább terjedése megakadályozása céljából csak egy vékony acéllemezt alkalmaztak, ami a tűz tovább terjedésének megakadályozására csak korlátozottan volt alkalmas. Az indító- és fékellenállások a kocsik alvázán voltak elhelyezve, és a menetszél hűtötte őket. A budapesti állomások közötti viszonylag rövid távolságok miatt az ellenállások sosem hűltek le teljesen, és folyamatosan melegedtek, így tűzveszélyesek voltak. Az M3 vonalán közlekedő 81-es típus motorteljesítménye jóval nagyobb volt, mint a korábbi szerelvényeké, de a teljesítmény megnövelésével párhuzamosan a szerkezeti elemek átméretezése nem történt meg. Súlyos konstrukciós hiányosság volt az éghető anyagok használata az utastérben: az oldalfalakon lévő díszítőelemek, az üléseken lévő műbőr és szivacs elemek, linóleum- vagy gumipadló, és az ez alatt található falemez [Bíró E, Györök B, 2012].

2.2.2 Kiürítés tűzriadó esetén a metró közlekedési rendszereiben

Egy földalatti tömegközlekedési rendszerben keletkezett tűz nagy kihívást jelent a tűzoltóság számára. A kiürítés és a beavatkozás módja a tűz viselkedésétől függ. A tűzterhelés befolyásolja a tűz időtartamát és az építményben bekövetkező esetleges károkat. A kiürítés végrehajtásának a nehézségi foka nyilván attól is függ, hogy a keletkezett tűz miatt veszélybe került személyeknek mekkora távolságot és milyen körülmények között kell megtenniük a biztonságos zónáig vagy felszínre történő kijutásig. Evakuálásnál leghosszabb kiürítési távolságra és legrosszabb körülményekre egy alagútban rekedt utasokkal zsúfolt metrószerelvény középső kocsijának tüze esetén kell számolni.

Úgy kell kialakítani a járműveket és a vonalalagutakat, hogy egy esetlegesen bekövetkezett káresemény során az alagútban rekedt szerelvényt gyorsan és a lehető legbiztonságosabban el tudja hagyni az utazóközönség, a biztonságos térbe: a következő állomásra, átjárófolyósóba, illetve a kijáratig az eljutásuk biztosított legyen. A földalatti közlekedési rendszerekben keletkezett tűz esetén az evakuálás végrehajtásával kapcsolatos egyik probléma az, hogy az emberek egyértelmű kiürítési utasítások nélkül önmaguktól gyakran vonakodnak a veszélyeztetett terület elhagyásától.

Ezt számos tényező magyarázza:

- Az emberek hajlamosak megtartani utas szerepüket, utasként elsősorban szeretnének eljutni az utazási céljukig.
- A gyors, világos és koherens információ hiánya. Az evakuálás gyors és hatékony megkezdése érdekében, az utas szerepükből történő kimozdításukhoz, gyors, világos, koherens információt és egyértelmű utasításokat kell, hogy kapjanak.
- A veszélyforrás (pl. tűz) jelzéseinek kétértelműsége.
- Mások jelenléte, az emberek ugyanis hajlamosak mások viselkedését követni [FRIDOLF, 2010].

Evakuálási kísérletek tapasztalata, hogyha a kiürítést elindították, más tényezők is befolyásolják az evakuálás hatékonyságát. Néhány azonosított probléma a következő:

- Problémák az ajtónyitó mechanizmussal a vonatokon.
- A vonat és az alagút padlója közötti nagy függőleges távolság.
- Az utasok hajlamosak az ismerős kijáratokat használni menekülésük során.
- A világítás hiánya.
- Egyenetlen felületek az alagutak belsejében.

A fenti tényezők mindegyike fontos, és együttesen befolyásolják egy baleset kimenetelét, ezért ezeket figyelembe kell venni a földalatti közlekedési rendszerek tűzvédelmi tervezésénél.

A gyorsan kiadott világos és koherens tájékoztató üzenetekkel egyértelmű, hogy a kiürítési folyamat gyorsabban fog lezajlani. Ezek az információk segíthetnek az embereknek, hogy megtalálják a biztonságos helyhez vezető utat anélkül, hogy ismerős útvonalakon kellene a kiürítést végrehajtaniuk, és csökkenteni lehet a társadalmi befolyás negatív hatásait. A földalatti közlekedési rendszerek felhasználóinak ilyen típusú információval való ellátásához azonban szükség van egy sürgősségi szervezetre, ahol a személyzet képzett és egyértelmű felelősségi területekkel rendelkezik. Az evakuálás megkezdésekor műszaki berendezésekre van szükség ahhoz, hogy az evakuálás hatékonyan menjen végbe. Például, ha olyan feltételeket adunk hozzá,

amelyek segítik az utasokat az alagútban vagy állomáson belüli vészkijáratokhoz irányítani (például zöld villogó lámpák), segíthet legyőzni a személy azon akaratát, hogy egy ismerős útvonalon keresztül távozzon. Továbbá a jó fényviszonyok és az akadályoktól mentes menekülési útvonal szintén előfeltétele a zavartalan evakuálásnak [FRIDOLF, 2010].

Pauls [1988] arra a következtetésre jut, hogy a járási sebesség vízszintes síkban 1,2 m/s és 1,6 m/s között változik. A kiürítési kísérleti eredmények azt mutatják, hogy az emberek füsttel teli környezetben, átlagosan 1,5-3,5 méter látótávolság mellett, átlagosan 0,9 m/s sebességgel mozognak. Bár az elv az, hogy tűzvészhelyzetben a metrószerelvénnyel a legközelebbi állomásra kell menni, a korábbi balesetek azt mutatják, hogy ez nem mindig lehetséges. Mind a kiürítés, mind a mentési művelet kedvezőbb, ha nem az alagútban, hanem a metró állomás peronján hajtják végre az evakuálást. Általában a metró létesítmények kiürítése önmentésen alapul, de az idős és a fogyatékkal élőknek mindig segítségre lesz szükségük az evakuáláshoz tűz esetén. A tűzvédelem hatékonysága szempontjából értékesek a metróban telepített hőérzékelő, füstérzékelő és lángérzékelő rendszerek, segélytelefonok, vészvilágítás, vészkijáratok táblák, tűzoltó berendezések, füstgátló rendszer. A hőérzékelő, füstérzékelő, lángérzékelő és füstgátló rendszer megfelelően megtervezett tűzvészhelyzetben meghosszabbítja a rendelkezésre álló biztonságos menekülési időt. Ezenkívül a segélyhívó telefonok, a vészvilágítás és a kijáratok táblák csökkenthetik a szükséges biztonságos menekülési időt. A vonalalagutakon belül a vészhelyzetben evakuált személyeket vészvilágítás, vészkijáratok táblák és távolságjelző táblák segítik. Egyes metró közlekedési rendszerekben vannak közvetlenül a felszínre vezető vészkijáratok. Továbbá egyes alagutakban evakuációs peronokat is telepítenek, ami különösen értékes gyermekek, idős és fogyatékkal élők számára, ha evakuálásra van szükség egy alagútban [FRIDOLF, NILSSON, 2012].

A menekülőjárda szintje és a metrókocsi padlószintje közötti függőleges távolság nagymértékben befolyásolja a vonatajtókon keresztül történő áramlást. Minél kisebb a szintkülönbség, annál gyorsabb lesz az utasok áramlása. Az alagút menekülésre használható sín melletti padlószintje és a metrókocsi padlószintje közötti távolság csökkentése érdekében javasolt peron kialakítása az alagút belsejében is. A metró padlószintjével közel azonos szinten elhelyezett menekülőjárdaival rendelkező alagútkísérletben nyilvánvaló különbség van a vonatajtókon áthaladó áramlás között a Frantzich által a stockholmi metróban végzett alagútkísérlethez képest, ahol egyáltalán nem volt peron. A metrókocsi alagútban történő evakuálása során az utasok áramlási sebességét sokkal jobban befolyásolja a metrókocsi padlója és az alagút padlója közötti szintkülönbség, mint az ajtók szélessége [FRIDOLF, NILSSON, 2012].

A metrószerelvényeken a leggyakoribb tűzvédelmi rendszerek és berendezések valamilyen tűzjelző rendszer, segélyhívó telefonok, vészvilágítás és tűzoltó berendezések. Sürgősségi telefonok vagy hasonló berendezések a mozdonyvezetővel való kommunikációhoz, nagyon fontos a tűz- és evakuálási biztonság szempontjából. A 2000-es kapruni tűzvészben az utasok jóval a mozdonyvezető előtt vették észre a tüzet. Ezt azonban nem volt lehetőségük közölni a mozdonyvezetővel, mivel nem volt telepítve kommunikációs rendszer. Ez több perccel meghosszabbította a teljes evakuálási időt. Továbbá egyes metrószerelvényeken vészlétrák állnak rendelkezésre, amelyek vészhelyzet esetén használhatók. A létrák minden bizonnyal minden ember számára segítséget jelentenek, mivel csökken a metrókocsi és az alagút padlója közötti 1,4 méteres szintkülönbség miatti akadály, különösen akkor, ha a kiürítésre nem tűz miatt van szükség. A tanulmányok azonban kimutatták, hogy a vonatkijáratban az emberek áramlási sebessége csökken, ha a létra jelen van [FRIDOLF, 2010].

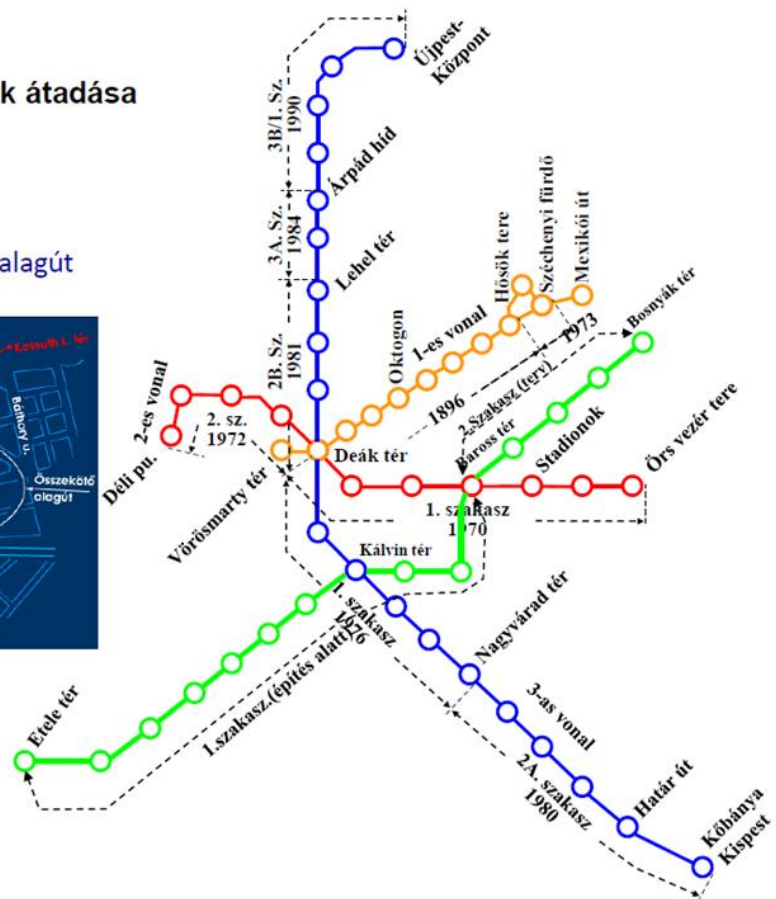
2.2.3 Budapesti metróhálózat

2.2.3.1 A budapesti metróhálózat bemutatása

A 28., 29. és 30. ábra adatai szerint a budapesti metróhálózat a budapesti tömegközlekedési hálózat legnagyobb kapacitású vonalaiból áll. A "kisföldalatti" néven ismert vonal volt az első metróvonal a kontinentális Európában (és az első metróvonal a világon, amelyen motorvonatokat használtak). A 27. ábrán feltüntetett ütemezéssel ezt követően az 1970-es és 1980-as években két másik, szovjet technológián alapuló vonal épült, ezt követően a 4-es vonal 2014-ben nyílt meg. A 29. ábra szerint 2014-re a hálózat teljes hossza 39,4 km-re, az állomások száma pedig 52-re nőtt.

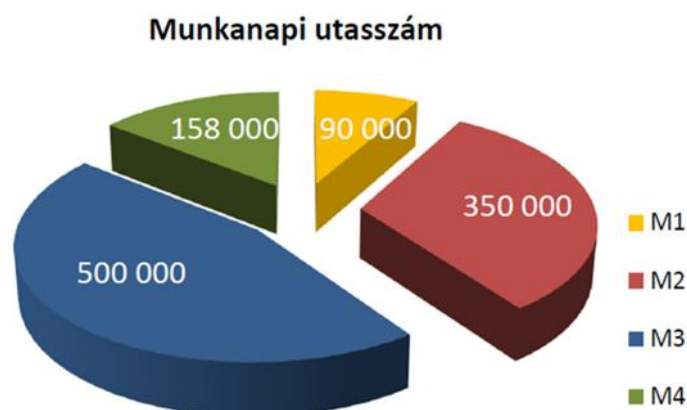
A budapesti metróvonalak átadása

Az M2-M3 közötti összekötő alagút

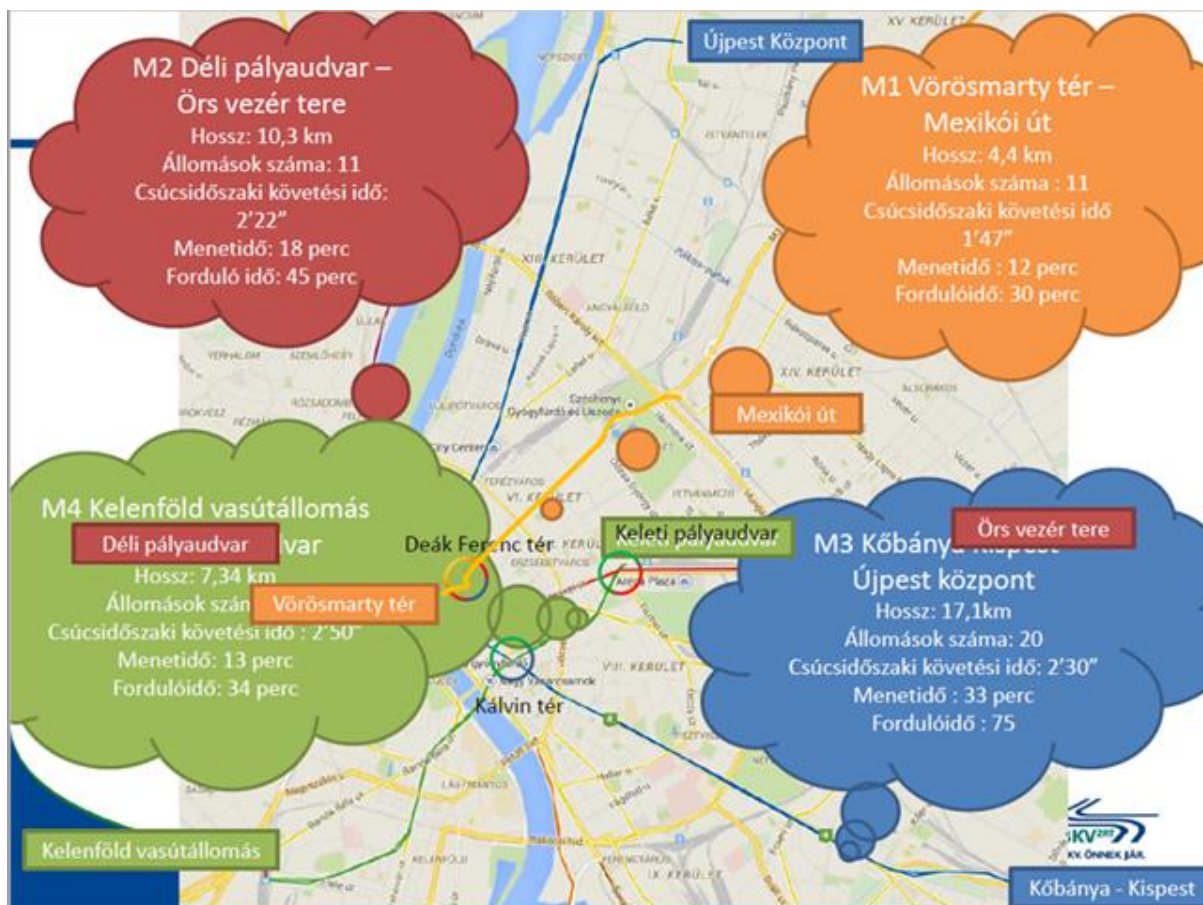


27. ábra A budapesti metróvonalak átadási ideje [DARAI, 2012]

A 28., 29. és a 30. ábra adatai azt mutatják, hogy a metróhálózat egy egységére vetítve 12-szer több utaskilométer teljesítmény jut, mint a várost kiszolgáló buszhálózatra. Ez azt jelenti, hogy a teljes BKV-hálózat 3%-a az utasforgalom 22%-áért felelős.

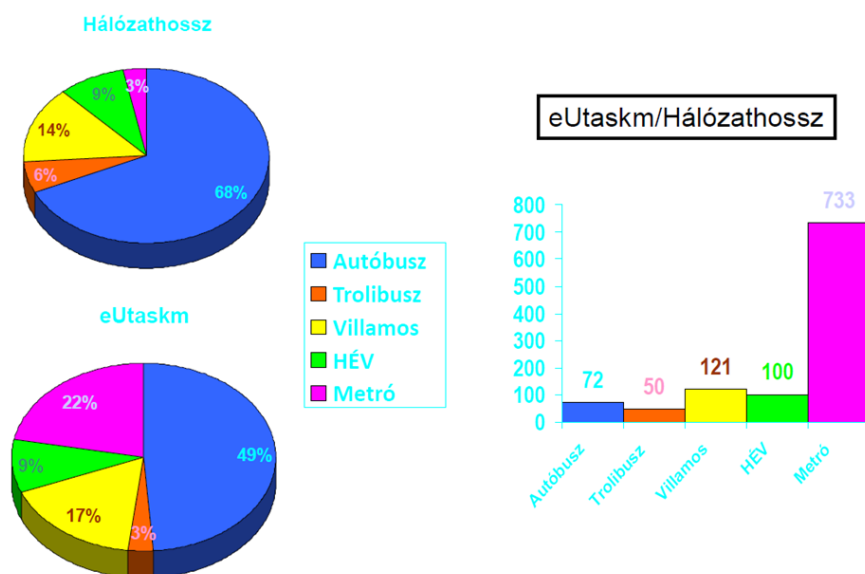


28. ábra Munkanapi utasszám a metróvonalakon [HÉRI J, 2017]



29. ábra A metróvonalak főbb paramétereit [HÉRI, 2017]

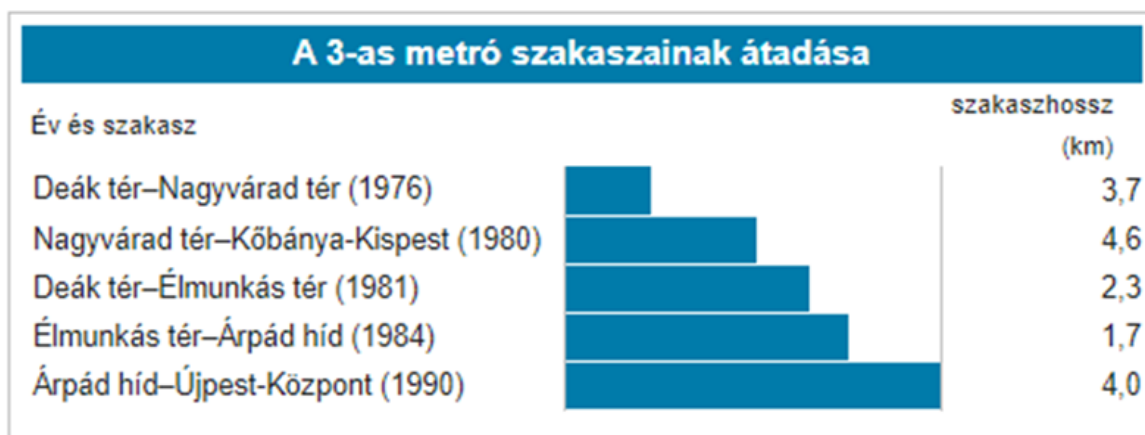
A metróágazat szerepe a budapesti közlekedésben



30. ábra A metróágazat szerepe a budapesti közlekedésben [DARAI L, 2012]

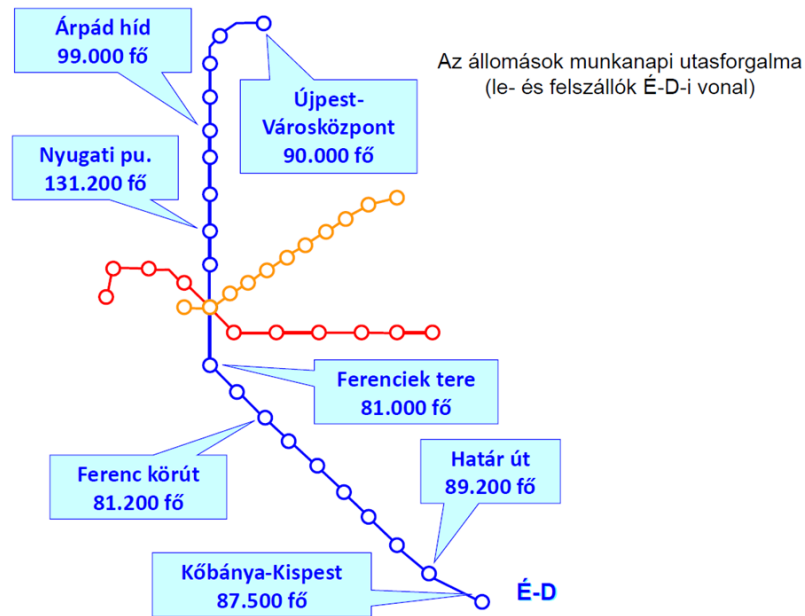
2.2.3.2 Az észak-déli vonal paramétereit

A metró Észak-Déli (M3) vonalának építése 1970-ben kezdődött, az építkezés részletes ütemezését a 31. ábra tartalmazza, a 20 állomással rendelkező vonal hossza 16,4 km. A jelenlegi vonalszakasz teljes hosszán 1990. december 14-én indult el a közlekedés, ekkor adták át a Göncz Árpád városközpont és Újpest városközpont közötti szakaszt. Az M3-as vonal Deák Ferenc tértől Nagyvárad térig tartó szakasza 1976-ban, a 2A szakasz Kőbánya-Kispest MÁV állomás és Nagyvárad tér között 1980-ban, a 2B szakasz a Deák Ferenc tér és a Lehel tér között 1981-ben, a 3A szakasz a Lehel és az Árpád híd között 1984-ben, majd 3B/I szakasz Árpád híd és Újpest-Központ között 1990-ben készült el [Wikipédia].

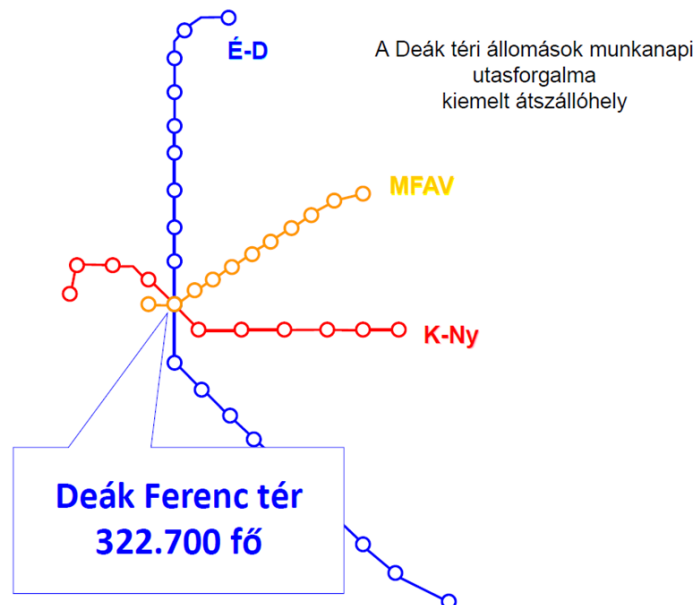


31. ábra Az M3 metró szakaszainak átadása [Wikipédia]

A legforgalmasabb állomások utasforgalmi adatait a 32. és 33. ábra tartalmazza.



32. ábra Az állomások munkanapi utasforgalma [DARAI L, 2012]



33. ábra A Deák téri állomások munkanapi utasforgalma [DARAI L, 2012]

3. A PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

Az elmúlt években világszerte számos súlyos tüzeset történt a metró tömegközlekedési rendszereiben. Az utóbbi években a terrorista támadások és gyújtogatási incidensek is megszaporodtak. A katasztrofális alagúttüzek ráirányították a figyelmet a vasúti alagutak tűzvédelmének a fontosságára. A budapesti észak-déli metróvonalon (M3) is történtek a régi elavult szovjet gyártmányú járműveken kisebb füstölések és tüzek.

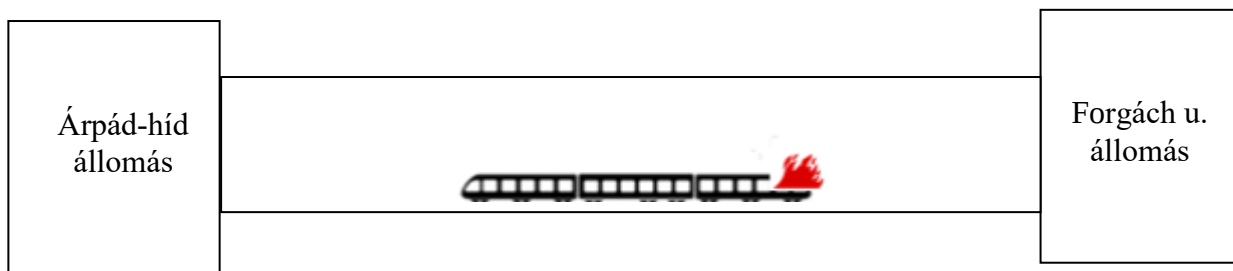
A dolgozatomban az alábbi problémakörrel foglalkozom: Az Árpád-híd és a Forgách utca közötti M3-as metróvonalon 2011-ben történt tüzeset során végrehajtott tűzoltási és mentési művelet tapasztalatainak elemzése. A metróvonal rekonstrukciója során az M3 vonalán telepített tűzvédelmi berendezések elemzése és a tűzvédelem további javítása érdekében javasolt fejlesztési lehetőségek bemutatása. Az M3-as metró területén esetlegesen keletkezett tüzek alkalmával szükségessé váló kiürítés, hő- és füstelvezetési taktika, életmentés és tűzoltás sajátosságai és a beavatkozás hatékonyságának növelése érdekében javasolt fejlesztési lehetőségek bemutatása. A Dózsa György úti metróállomás kiürítéséről Pathfinder szoftverrel három különböző beállítással szimuláció készítése. A szimuláció futtatása során kapott három eredmény elemzése, továbbá az eredmények összehasonlítása egymással és a hatóság által jóváhagyott kézi számolás kiürítési eredményével. Végül következtetések levonása a modellezés alapján kapott eredményekből.

4. AZ M3 METRÓVONALON 2011.04.19.-ÉN KIGYULLADT METRÓSZERELVÉNY TŰZESETÉNEK ÉS A TŰZOLTÁSI BEAVATKOZÁSÁNAK ELEMZÉSE

Budapest, XIII. ker. Észak-déli metróvonal, Árpád híd – Forgách utca állomások közötti alagútszakaszban 2011. április 19.-én kigyulladt egy metrószerelvény. A tűz észlelésekor a metró központi forgalmi ügyelete a közlekedést leállította, értesítette a tűzoltóságot és az érintett állomások evakuálását megkezdtek. A Fővárosi Tűzoltó Parancsnokság Hírközpontja (FTP HKP) 12.45-kor kapott távbeszélőn jelzést, miszerint a metróalagútban két állomás között szerelvény füstöl. A jelzés alapján az FTP HKP 12.48-kor II-es kiemelt riasztást hajtott végre. Az Árpád-hídhöz vonult az elsőnek kiérkező tűzoltó raj és a felderítés végrehajtása közben megállapította, hogy az esemény a korábban történt „füstöléses” eseteknél súlyosabb, ezért 13.03-kor a korábban elrendelt riasztási fokozatot kiemelt IV-es fokozatra módosította. A Metró pályatestét a BKV szakemberei áramtalanították. Az alagútban nagyon intenzív füstképződést tapasztaltak, ami az Árpád-híd megálló felé terjedt, és a teljes alagúti szerelvényt kitöltötte, ezért a fecskendőn lévő 1 palackos légzőkészülékkel a felderítést megszakították és visszavonultak. A helyi műszaki szakemberektől kérték a vonali főszellőző berendezés beindítását befúvásra az Árpád-híd felőli megállótól. Itt az alagút egyébként három pályatest szélességű mivel a két forgalmi vágányon kívül van még egy műszaki vágány is. Ez utóbbira lett korábban félreállítva műszaki problémával a meghibásodott szerelvény, amely a félreállítást követően kigyulladt. Szerencsére így a tűz keletkezésekor az utasok és a vonatvezető már nem tartózkodott a kigyulladt szerelvényen [FKI esettanulmány].

A felderítést, beavatkozást nehezítő körülmény volt, hogy az égő szerelvény az állomásoktól körülbelül 350 m távolságra volt, a tűz intenzív hő- és füstképződéssel járt és a tűzhelyszín nagy távolsága miatt a kirendelt beavatkozó tűzoltó járművekre málházott egypalackos légzőkészülékek levegőmennyisége kevés volt a művelet végrehajtásához, ezért a felderítést csak a légzőbázis által kiszállított duplapalackos légzőkészülékeivel lehetett végrehajtani. A tűz helyszíne az M3 vonal egyik „legideálisabb” vonalalagúti szakaszán volt, hisz az Árpád-híd – Forgách utca megállók közötti 692 méter hosszával, jelentős szintkülönbség nélkül az M3 vonal rövidebb alagút szakaszai közé tartozik és a vonalszakasz kizárólag kéregalatti a felszíntől kb 4,5 m mélyen fut. Az adott szakaszon 3 pár vágány került kiépítésre és az égő szerelvény mellett még fém peron rendszer is kivolt építve. A széles alagút szakasz és a kiépített fém peron podeszt rendszer megkönnyítette a tűz megközelítését. A tűzoltókat sokkal rosszabb körülmények fogadták volna, ha ez a tüzeset egy 20-30 méter

mélyen elhelyezkedő egyvágányú csőszerű, az alagútszakasz végek között jelentős szintkülönbséggel rendelkező alagútban az állomásoktól 600 méter távolságban utasokat szállító mozgásképtelen szerelvényen következik be. A tűz az 5 kocsiból álló szerelvény utolsó kocsija Forgách utca felőli oldalán lévő vonatvezetői állásban keletkezett, áttért az egész kocsira és a következő kocsi elejére. A Metró alagútban húzódó tűzivíz hálózatának nyomása 3-4 bar körül volt, ami éppen elegendőnek bizonyult a sugarak működtetéséhez [FKI esettanulmány].



34. ábra A kigyulladt szerelvény elhelyezkedéséről és a tűz helyéről készült vázlat

A felderítés és a tűzoltás légzőkészülékben, teljes védőfelszerelésben történt, hőkamerák segítségével. Nem minden kerület tűzörsége rendelkezett akkoriban hőkamerával, ezért a káresetnél a berendezést időnként „körbe kellett adni”. Mivel a tüzeset alatt csak egy légzőbázis üzemelt a Fővárosban, ezért a palackok gyors fogyása miatt a légzőműhely szervíz kocsijával kellett palackokat helyszíni szállítani [FKI esettanulmány].

A duplapalackos készülékekhez csatlakozó a tűzoltók légzőeszközhasználatát folyamatosan monitorozó és az adatokat rögzítő „Bodyguardból” származó adatokból kiderült, hogy az állományt eltérő terhelés érte. A felhasznált levegő mennyisége 20 és 85 liter/min között változott és az átlagosan felhasznált levegő mennyisége 55 liter/min volt. A bevetés során jelentős fizikai terhelés nem érte az állományt, hisz a beavatkozás közel síkban történő munkavégzésre korlátozódott. A metrótüzek legnagyobb kihívását a tömeges életmentés és a 20-30 méter mély metró infrastruktúrából a felszínre történő kijutás során jelentősen megemelkedett levegő felhasználás jelenti, hisz a jelentősen felgyorsult levegőfelhasználás nagymértékben lecsökkenti a légzőkészülék üzem idejét. A bevetési idő megközelítően átlagosan 40 perc volt, és ez alatt az időszak alatt megközelítően 2200 liter (165 bar) levegőt használtak el. A tűzoltók minden alkalommal a biztonsági tartalékszint feletti nyomásszintnél kezdték el a visszavonulást. Ezt a nem rendkívül extrém intenzitású beavatkozást sem lehetett volna végrehajtani a hagyományos egypalackos légzőkészülékekkel palackcsere nélkül. A

duplapalackos légzőkészülékek az ehhez hasonló feladatok ellátásához alkalmasnak bizonyultak. A duplapalackos légzőkészülékeknél rendelkezésre álló levegő életmentés esetére is biztosította volna a két személy részére szükséges levegőmennyiséget. A bevetés során 3 oxigénes légzőkészülék is alkalmazásra került, a készülékeket használó tűzoltók átlag 33 percig viselték és átlagos légzési rátájuk a kétszerese volt a sűrített levegős készülékeket használók légzési rátájának. Az oxigénes légzőkészüléket (ami egy zárt rendszerű, külső levegőtől független) használók elmondása alapján a belélegzett levegő hőmérséklete elviselhetetlen szintre emelkedett, amely negatív hatással volt fiziológiai állapotukra. A készülékek használata közben állandó légszomjat éreztek, a beavatkozás után pedig erős kimerültséget és kismértékű fejfájást tapasztaltak [BÉRCZI L, ECSETI B, 2011].

Többek között a bevetés során szerzett kedvezőtlen tapasztalatok miatt az oxigénes légzőkészülékek a tűzoltóságnál időközben kivonásra kerültek. A metró földalatti területén keletkezett tüzeknél az egyik legfontosabb kritérium, hogy a légzőkészülékek biztosítsák a szükséges levegőmennyiséget a felderítés, munkavégzés, személymentés és a visszavonulás végrehajtásához. Ezen követelmények biztosításához szükséges megoldások a következők lehetnek. A metróban keletkezett tüzek oltásánál a tűzoltók bevetési ideje növelésének egyik módja a dupla palackos (két palackot rögzítenek a hordozó keretre) sűrített levegős légzőkészülékek használata, duplapalackos készülékek használata esetén viszont duplájára emelkedik a készülék súlya. Másik módszer lehet a bevetési idő növelésére az M3-as metróban telepített hő- és füstelvezető rendszer aktiválásával a bevetés irányából a füsttel elárasztott terület nagyságának a leszűkítése. A hő- és füstelvonó rendszer aktiválása segítségével a füst határ eltolásával a bevetés irányából csökkenthető az a terület nagyság, ahol a beavatkozó állománynak légzőkészüléket kell használnia. A bevetést irányító parancsnok a szellőző ventilátorokat az Árpád-hídnál befúvatásra, míg a Forgách utcánál elszívásra kapcsoltatta a műszaki diszpécserrel. Az irányított szellőztetés hatására létrejött egy füstmentes zóna az Árpád-híd felőli részen, és egy sűrű füstös rész a Forgách utca metróállomás területén. A szellőztetési taktika alkalmazása így lehetővé tette, hogy az Árpád-híd irányából bevetésre kerülő tűzoltóknak az Árpád-híd metróállomására történt belépése alkalmával a légzőkészülékeiket ne kelljen azonnal használni. A szellőztető rendszer átkapcsolása a 8. képen bemutatott módon lehetővé tette az Árpád-híd irányából bevetett állomány füstmentes térben történt mozgását a tűzhelyszínéig, így csak a tűz közelében kellett használni a légzőkészülékeket, aminek hatására jelentősen megnőtt a tűz oltására fordítható idő [FKI esettanulmány].



8. kép A szellőztető rendszer átkapcsolása lehetővé tette az Árpád-híd irányából bevetett állomány füstmentes térben történt mozgását a tűzhelyszínéig (forrás: FKI esettanulmány)

A tűzoltás és az utómunkálatok során személyi sérülés nem történt. A beavatkozó rajoknak két metró dolgozót kellett légzőkészülékkel kimenteni.



9. kép Kiégett metrószerelvény (forrás: FKI esettanulmány)

Az elavult régi orosz szerelvényeket, amelyek egyre gyakrabban okoztak füstöléseket és tüzeket, 2016-2019 közötti időszakban sikerült teljesen lecserélni az M3 vonalán. Az M3-as vonalon keletkezett tűz alkalmával a tűzoltóság és a metró alkalmazottak vészhelyzeti reagálása szervezett, gyors és hatékony volt. Nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy a metróban keletkezett tűz kimenetelét jelentősen befolyásolja, hogy a tűz észlelése pillanatában a metróalkalmazottak és a tűzoltók hogyan reagálnak. Szervezetlenség és rosszdöntések meghozatala esetén a tűz gyorsan halálos csapdává válhat a metró földalatti területén. Az M3-as vonal alagútjában keletkezett tűz – annak ellenére, hogy a tűz ideje alatt az ominózus metrószerelvényen már nem tartózkodtak személyek – sokkal súlyosabb következményekkel is járhatott volna, egy nem megfelelő vészhelyzeti reagálás esetén.

A dél-koreai Teguban 2003-ban történt katasztrofális metrótüz során, a metró alkalmazottak a tűz észlelésekor súlyos hibákat követtek el. Többek között az állomáson égő szerelvény mellé beengedtek egy másik utasokat szállító vonatot is, aminek következtében a tűz áterjedt a másik szerelvényre is és a második szerelvényen kitört tűznek több halálos áldozata lett, mint az elsőnek kigyulladt szerelvény tüzének [WON-HWA HONG, 2003].

A vonattűz észlelésekor, ha a metróalkalmazottak nem állítják le a forgalmat és egy utasokat szállító szerelvényt az égő szerelvény közelébe engednek, az könnyen a dél-koreai esethez hasonló tragikus emberéleteket követelő következményekkel járhatott volna. A

Központi Forgalom Menetirányító azonnal tájékoztatta a Fővárosi Tűzoltó Parancsnokság Hírközpontját (FTP HKP) a tüzeseményről, közben a metró alkalmazottak időben kiürítették és az utasforgalom elől lezárták a tűzhelyszínt közrefogó Árpád-híd és Forgách utcai állomásokat. Az FTP HKP időben riasztotta a tűzoltó rajokat az Árpád-híd és Forgách utcai állomásokhoz, így a kiérkező tűzoltó rajok mindkét veszélyeztetett állomás területén késedelem nélkül el tudták kezdeni a felderítést és a mentési művelet előkészítését.

A Bakuban 1995. október 28-án történt a világ leghalálosabb katasztrofális metrótüznél a tűzhelyszínt közrefogó Uldus és Narimanov állomások közül a beavatkozó tűzoltó állományt csak Uldus állomásra rendelték ki és emiatt a Narimanov állomásra menekülő utasokat senki sem fogadta, így az állomásra megérkező rengeteg sérült ellátása súlyos késedelmet szenvedett [ROHLÉN P, WAHLSTRÖM B, 1996].

Az M3-as metrótüzhöz kiérkező rajok a mentéshez és tűzoltáshoz rendelkeztek a szükséges felszereléssel és eszközökkel. A beavatkozó állomány a légzőkészülékek használatának a segítségével és a jól megválasztott szellőztetési taktikának köszönhetően megtudta közelíteni az alagútban égő metrószerelvényt és el tudták kezdeni az oltását. A megfelelő felszerelésnek, a jó szellőztetési és tűzoltási taktikának köszönhetően a metrószerelvénnyel tüzet 15.10-re 2 óra alatt sikerült eloltani.

A bakui Uldus állomásra kirendelt tűzoltók nem rendelkeztek légzőkészülékkel, a felderítés céljából légzőkészülék nélkül az állomásra leküldött 3 fő tűzoltó életét veszítette. Ezt követően órákba telt, mire a tűz kifogyott a gyúlékony anyagból, és a füst eléggé kitisztult ahhoz, hogy a tűzoltóság az alagútba küldhesse a mentőket [ROHLÉN P, WAHLSTRÖM B, 1996].

Az M3-as metrótüz során beavatkozó tűzoltók jól választották meg a szellőztetési taktikát is. A szellőztetést a Forgách utca irányába csak azt követően indították el, amikor az állomáson már nem tartózkodtak utasok és metródolgozók, így a szellőztetés hatására a Forgách utca állomás felé áramló füst már nem veszélyeztetett emberi életet. A nem megfelelő szellőztetési taktika megválasztásának katasztrofális következményeit szemlélteti a bakui metrótüznél alkalmazott a halálos áldozatok számát növelő „szellőztetési taktika”.

A bakui metrótüzben a szellőzőrendszer ad hoc működése és kommunikáció hiánya is halálos áldozatokhoz vezetett. A tűz keletkezése után kb 15 perccel megváltoztatták a szellőztetés irányát, ami a kigyulladt vonatból menekülő utasok többsége felé terelte a füstöt. A bakui metrótüznél a nem megfelelő kommunikáció miatt a vezérlőteremben lévőknek fogalmuk sem volt, mi történik a tűznél [ROHLÉN P, WAHLSTRÖM B, 1996].

Az M3-as metrótüz hatékony kezelését segítette a tűzoltók közötti, illetve a tűzoltók és a metró alkalmazottak közötti hatékony együttműködés és kommunikáció is. Az M3-as metrótüz során a vonal feszültségmentesítése is időben megtörtént.

A bakui tűzkatasztrófa során késve kapcsolták le a feszültséget a vonalról, aminek következtében több menekülő utas a füsttel elárasztott sötét alagútban halálos áramütést szenvedett [ROHLÉN P, WAHLSTRÖM B, 1996].

5. ÉSZAK-DÉLI METRÓ TŰZVÉDELMI RENDSZEREINEK AZ ELEMZÉSE

Az M3-as metró 2017-2023 közötti rekonstrukciója során új a jelen kor követelményeinek megfelelő tűzvédelmi rendszer került kiépítésre és telepítésre. A rekonstrukció során tűzszakaszok kerültek kialakításra, az állomások két riasztási zónára, üzemi terekre és utasforgalmi terekre osztottak. Ennek megfelelően megtörtént az üzemi és utasforgalmi területek elválasztása tűzgátló szerkezetekkel. Az üzemi terekben több tűzszakasz került kialakításra. A tűzszakaszok közötti tűzterjedésének a megakadályozása érdekében a faláttöréseknél tűzgátló lezárásokat, légszűrő lezárására tűzcsappantyút, tűzsalut, a tűzszakaszokat elválasztó nyílászáróknál pedig A2 osztályú tűzgátló ajtókat alkalmaztak. Az építményszerkezetek a fal- és födémburkolat, az álmennyezet a létesítmény valamennyi kiürítési útvonalán csak A1 vagy A2-s1,d0 tűzvédelmi osztályú „nem éghető” anyagból készültek. Az M3 metróállomások falai burkolására zománcozott acéllemezt és mészkövet használtak. A 2017- 2023 közötti rekonstrukció során a biztonság növelése érdekében az állomásokon a legújabb előírásoknak megfelelő tűzvédelmi rendszer, Schrack tűzjelző- és oltásvezérlő központ, tűzjelző érzékelők, korszerű szellőzőrendszer, magasnyomású vízköd oltó rendszer létesült, továbbá alagútvilágítás, új tűzivízvezeték-hálózat, vízelvezető rendszer, új tűzálló kábeltartók, menekülési irányfények/táblák, menekülő járda kerültek kiépítésre.

Állomásokon a következő tűzoltó eszközök kerültek telepítésre:

Peronokon tűzjelzésre nyíló tárolószekrényekben elhelyezett eszközök:

- Tűzcsapok
- Porral oltó készülékek
- Vízköddel oltó puska

Üzemi terekben elhelyezett eszközök:

- Tűzcsapok
- Porral oltó készülékek
- CO₂ gázzal oltó készülék (elektromos és bizt. ber. helyiségek)

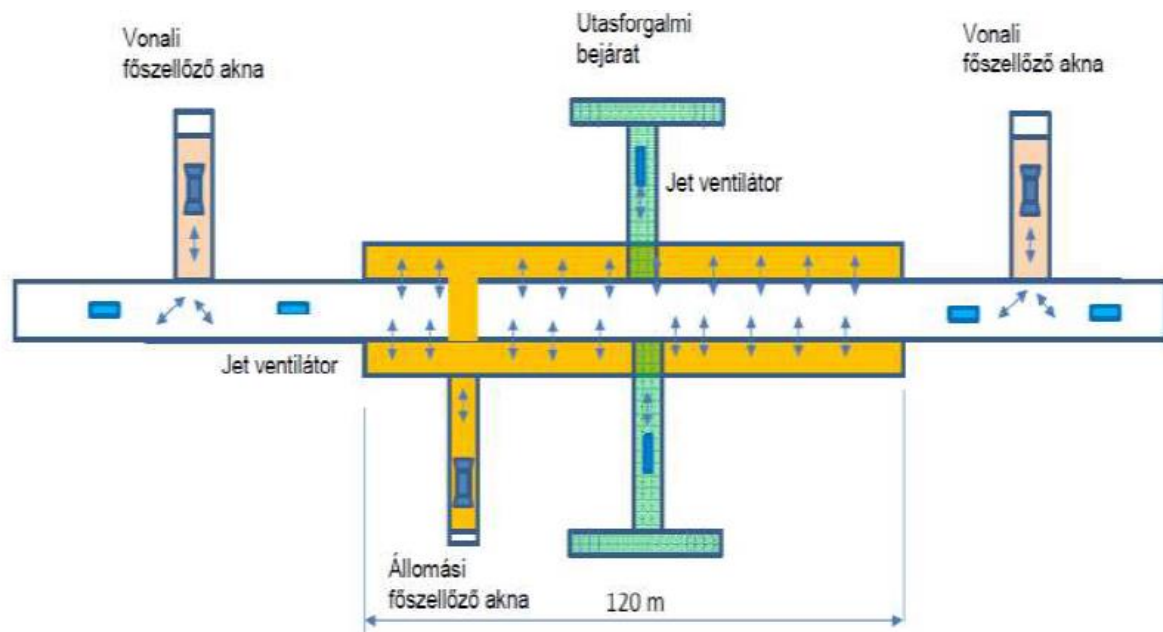
Az utasforgalmi tűzszakasz területén telepített fali tűzcsapok biztosítják a tűz oltását a teljes területen. Az üzemi tűzszakaszban az átalakítással érintett területen új fali tűzcsapok is kialakításra kerültek. Nem létesült fali tűzcsap azokon a területeken, ahol a víz használata életveszélyt okozhat (pl. elektromos kapcsolóhelyiségek). Ezeken a helyeken helyiségenként 1-1 db., az ott keletkező tűz oltására alkalmas tűzoltó készülék került elhelyezésre. Az állomás

területén telepített tűzoltókészülékek, a kézi vízköd oltópuska, a tűzcsap elhelyezését biztosító szekrények ajtóin található elektromos zárat a tűzjelző központ tűzjelzés beérkezésekor – a fali tűzcsapok kivételével – automatikusan kinyitja. A fali tűzcsap ajtók elektromos zárjait a tűzjelző központ csak azt követően nyitja – az életveszély elkerülése érdekében – amikor jelzést kap az adott terület feszültségmentesítés végrehajtása megtörténtéről. A fali tűzcsap szekrényajtókat – kizárólag az adott terület feszültségmentesítését követően – az állomás ügyeletes manuálisan is kinyithatja. Fix nagynyomású vízköddel oltó berendezés került telepítésre az állomási diszpécser helyiségbe, az állomási diszpécser szerelvényoszobába, a mozgólépcső alatti térbe, a peronok melletti sínek közé, továbbá a vonalalagút ürszelvénye és az állomás csatlakozásánál az ürszelvény körül. Az oltóberendezések vezérlését az állomási tűzjelző- és oltásvezérlő központ biztosítja [BKV tűzvédelmi terv].



10. kép A peron melletti vágányoknál a szerelvény padlólemeze alatti tér oltására magasnyomású fix vízköd rendszer került telepítésre

Sor került a régi főszellőző ventilátorok helyett nagyobb teljesítményű, hőálló kivitelű főszellőző ventilátorok beépítésére és hozzá kiépítésre került új tűzjelző rendszer és automatikus indítómechanizmus. A főszellőzőrendszer állomási főszellőzőkből és két állomás közötti vonalszakaszon épített vonali főszellőzőkből áll.



35. ábra Az M3 metróvonalon kialakításra került hő- és füstelvonó rendszer felépítéséről
(forrás: BKV tűzvédelmi terv)

Mivel a főszellőző rendszer biztosítja a füst és hőelvezetést, minden alkatrésze az előírásoknak megfelelően úgy lett méretezve, hogy legalább 1 óra időtartamig $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten is működőképes maradjon. Minden főszellőző berendezéshez általában két 1600 mm átmérőjű ventilátort telepítettek, egyenként $50\text{ m}^3/\text{s}$ teljesítményű vészeseti légszállítással. Kivételt képez Forgách utcai metróállomás, ahol a szerkezeti sajátosságok következtében csak egy $100\text{ m}^3/\text{s}$ -os légszállítású és 2000 mm átmérővel rendelkező ventilátor került beépítésre. A szerkezeti sajátosságok miatt a Forgách u. és Árpád-híd közötti metrószakaszon nem lett telepítve vonali főszellőző. A főszellőztető ventilátor műtárgyanként $360\,000\text{ m}^3/\text{h}$ levegő szállítására képes. A ventilátorok fordulatszáma és forgásiránya változtatható, a fordulatszám változtatásával módosítható a szállított levegő mennyisége, a forgás irány megváltoztatásával pedig a levegő szállítás iránya módosítható. Normál üzemi szellőztetési módban – a ventilátorok $30\text{--}70\%$ -os teljesítményen működve – az állomáson telepített főszellőző berendezések általában az állomás felől a felszín irányába szállítják a levegőt, ez a szellőzés biztosítja a főszellőző műtárgyakban telepített hűtőgépek hőelvezetését is. Az állomások közötti vonalszakaszon telepített főszellőzők pedig a felszín felől a vonali alagút irányába szívják a levegőt, amivel friss levegőt biztosítanak az alagút és az állomás területén. Az alagút és az állomás területén biztosítandó friss levegő mennyiségének a szabályozása a hő- és széndioxid érzékelők jelzéseinek megfelelően történik. Hő- és füstszellőztető üzemmódban valamennyi ventilátor 100% -os kapacitással működik a tűztáblázat szerint, amely figyelembe

veszi a tűz helyét. Az utasbiztonság és a hatékonyság javítása érdekében az állomások bejáratainál és a vonatalagutakban sugárventilátorokat helyeztek el. A metró kiszolgáló területén kialakult tűz esetén a sugárventilátorok friss levegőt szívnak az aluljáróból, és azt a peron irányába fújják, így biztosítva a füstmentes evakuálási útvonalat. Az aluljáróban keletkezett tűz esetén a sugárventilátorok a peron felől szívják és az aluljáró irányába nyomják a levegőt és ezzel megakadályozzák a füst bejutását a metró területére. Ezért ezeknek a ventilátoroknak a forgásiránya is megfordítható kialakítású, de nem kell megfelelniük a tűzállósági követelményeknek, mivel mindig "tűzmentes" tér felől szívják a levegőt. Az alagutakban lévő sugárventilátorok a levegő (füst) áramlás sebességének növelésével segítik a füst elvezetését. Ezért ezek a ventilátorok szintén megfordítható forgásiránnyal rendelkező kialakításúak, és megfelelnek a tűzállósági követelményeknek. Az állomás mozgólépcsője (lépcsője) és a vonalalagút mennyezetén telepített sugárventilátorok normál üzemmódban nem működnek [BKV ZRT. METRÓ FELÚJÍTÁSI PROJEKT IGAZGATÓSÁG, 2019] .

Tűzjelző hálózat:

- Mozgólépcső és a peron területén hő és CO multiszenzoros érzékelők.
- Üzemi terek, fogadó peron és az aluljáró területén optikai füstérzékelők.
- Üzemi terekben és a peronon az információs panelekben kézi jelzésadó.
- Peron él alatt hőérzékelő kábel.
- Utasforgalmi terekben fény- és hangjelzők.
- Üzemi terekben hangjelzők.
- Menekülési irányfények
- Másodkijelzők

Címezhető, intelligens analóg tűzjelző központ vezérlései:

- Beléptető rendszer ajtóinak nyitása.
- Liftek felszínre küldése és várakoztatása nyitott ajtóval.
- Csőtörés esetén záró szelep működésbe lépésének tiltása.
- Menekülést támogató irányfények bekapcsolása.
- Fényjelző és hangosító rendszer valamint a sziréna bekapcsolása.
- Tűzoltó készülékek és fali tűzcsapok külső és belső szekrényajtájának nyitása.
- Füstfüggöny leeresztése.
- Nagynyomású vízköddel oltó puska szekrény ajtajának nyitása.
- Nagynyomású vízköddel oltó berendezés indítása.
- Jetek és fűszellőző ventilátorok tüzeset helyét figyelembe vevő indítása az állomáson és a vonalalagútban [BKV tűzvédelmi terv]

A felújítás előtt ezen a vonalon elavult tűzvédelmi központ üzemelt, tűzivízvezeték csak állomásokon volt kiépítve, így alagút tűzoltása csak csáposvízrendszer segítségével történhetett, hő- és füstelvezetést nem terveztek, ezért a főszellőzés csak normál üzemi szellőzés céljára volt kiépítve. Az M3-as metró új főszellőzőrendszerének kettős feladata van: 1) normál üzemi szellőztetés ideje alatt a technológiai igényekhez és a megfelelő komfortérzethez szükséges légellátás biztosítása, 2) tűz esetén füst- és hőelvezetés biztosítása.

Az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról szóló 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet (továbbiakban OTSZ) 118. § (2) bekezdés a) pontja előírásának megfelelően az állomás üzemi területei különálló tűzszakaszként kerültek kialakításra az utasforgalmi terektől.

Utastéri nyílászáróként, fal- és födémburkolatoknál az OTSZ 123. § (1) bekezdése hatályos szabályai figyelembevételével A1 vagy A2-s1,d0 tűzvédelmi osztályú anyagok kerültek felhasználásra.

Az OTSZ, XIV. Fejezet (Beépített tűzjelző és tűzoltó berendezések közös szabályai), 77. alcím (Létesítési kötelezettség) 154.§ (1) bekezdése alapján beépített tűzjelző berendezést, beépített tűzoltó berendezést kell létesíteni. A rekonstrukció során a hatályos OTSZ 121. § (5) bekezdés előírásainak megfelelően a tűzvédelmi követelményeket életvédelmi, közösségi és tulajdonosi értékvédelmi célok teljesülése érdekében az állomások területén nagynyomású fix vízköd oltó berendezés került kiépítésre az alábbi helyeken:

- mozgólépcső alatti térben,
- peron alatti kábeltérben,
- meglévő, üzemelő üzletekben az üzlet átalakítása során és
- a szerelvény padlólemeze alatti tér oltása érdekében a peron melletti vágányoknál.

A peronon vagy a metrószerelvényen történő tűz keletkezésekor a személyek evakuálásának ideje alatt a kiürítési útvonaltól a füstöt távol kell tartani. A hő- és füstelvezető szellőztetés mellett a füst távol tartása érdekében fix magasnyomású vízköddel oltó berendezés került telepítésre a peronok melletti sínek közé, amelynek feladata a tűzoltóság kiérkezéséig a tűz növekedésének lassítása vagy eloltása. A vonalalagút úrszelvénye és az állomás csatlakozásánál telepített vízköd oltó berendezés feladata tűzterjedés vízfüggönnyel történő megakadályozása.

A vízköddel oltó berendezés hatékonysága a nagy nyomáson porlasztott mikro vízcsepp méretén alapul. A vízköddel oltó finom vízcseppek formájában permetezi ki a vizet, amelyek átmérője általában 50-100 mikron között van. Az ilyen méretű cseppek nagyon hatékonyan lehűtik és elfedik a tüzet, csökkentve a hőt és az oxigént, ami szükséges a tűz életben

maradásához. Ezenkívül a finom cseppek nagyobb felületet fednek le, ami tovább fokozza a hatékonyságot.

Az OTSZ 121. § (4) bekezdés követelményének megfelelően az állomások teljes területén címezhető, intelligens, analóg beépített tűzjelző berendezés került kiépítésre. A beépített tűzjelző berendezés életvédelmi céljai OTSZ 5. § (2) bekezdés alapján:

- a) a veszélyeztetett személyek menekülésének, mentésének biztosítása,
- b) a menekülés és a mentés során az életfeltételek biztosítása,
- c) a tűzoltói beavatkozás résztvevőinek védelme és
- d) a tűzoltói beavatkozás feltételeinek biztosítása.

A beépített tűzjelző berendezés közösségi értékvédelmi céljai OTSZ 5. § (3) bekezdés alapján:

- b) a létfontosságú rendszerek egyes elemeinek védelme,

A beépített tűzjelző berendezés tulajdonosi értékvédelmi céljai OTSZ 5. § (4) bekezdés alapján:

- a) a működés, üzemelés folyamatosságának fenntartása,
- c) az eszközök, berendezések védelme, működőképességük fenntartása,
- d) a piacvesztés elkerülése és
- e) a tulajdonosi, biztosítási, üzemeltetési költségek optimalizálása.

Az M3 metróvonal tűzvédelmi rendszere rekonstrukciója során kiépített menekülő járda szintje és a szerelvény padlószintje között nagy távolság van. NORÉN A, WINÉR J. [2003] szerint a stockholmi metróban 1999-ben végzett kiürítési kísérletek adatai azt mutatják, hogy a vonat alagútban történő evakuálásának legjobb helyzete, ha egyáltalán nincs függőleges távolság a menekülő járda és a szerelvény padlója között. A függőleges távolság nélkül kétszer akkora volt az áramlás, mint legfeljebb 0,7 m függőleges távolság esetén. Nagyobb függőleges távolságoknál az áramlás még kisebb.

A rekonstrukció során nem kerültek beépítésre peronfal ajtók (platform screen doors PSD). A PSD-vel felszerelt peronon az utasoknak több idejük van a peron biztonságos elhagyására, mint a PSD-vel nem rendelkező peronokon tartózkodó személyeknek.

Az észak-déli metróvonal felújítása során az alagút belső felületét nem látták el tűz elleni védelemmel, ezért egy esetleges alagúttűz során előfordulhat, hogy az alagút vasbeton szerkezeti elemei megsérülnek. A hőhatás, amely néhány perc alatt elérheti az 1300 °C-ot, gyorsan károsíthatja az alagút szerkezetét, és az alagút egyes részeinek lepattogzását, beomlását okozhatja [FEHÉRVÁRI S, 2007].

Az alagút szerkezeti elemeinek sérülése a mentésben résztvevők testi épségét veszélyeztetheti továbbá az alagút hónapokra használhatatlanná válhat. A metrótűz katasztrófákról készült statisztikák szerint az alagútban keletkező tűz járhat a legsúlyosabb következményekkel. A metróalagutakban keletkezett tűz nehezen hozzáférhető a tűzoltók számára, ezért az itt keletkező kisebb tüzek is katasztrófát okozhatnak. A leghalálosabb metrótűz katasztrófa a Bakuban a metró állomások közötti alagútban keletkezett vonat tűz, amelynek 289 halálos áldozata és 270 sérültje lett. Ennek ellenére az M3-as metró rekonstrukciója során tűzjelző érzékelőket csak az állomásokon telepítettek, a vonalalagutakban nem került sor tűzjelző érzékelők telepítésére. Metróalagútban számos ok miatt keletkezhet tűz. Leggyakrabban a metrószerelvénnyel elektromos hibája miatt keletkezik tűz. Az alagútban lévő sok elektromos berendezés és kábel meghibásodása is okozhat tüzet. Továbbá kockázatot jelentenek gyúlékony gázok felgyülemzése, földalatti gázszivárgás.

6. TŰZJELZÉSTŐL A KIÉRKEZÉSIG

6.1. Tűzérzékelés

Az észak-déli vonal 2023-ban befejezett rekonstrukciója során a metró állomások utasforgalmi és üzemi területén tűzjelző hálózat került kiépítésre analóg tűzjelző központtal. Az állomáson keletkezett tűz esetén a tűzjelző központ a metró műszaki diszpécserrel, a Tevékenység Irányítási Központ (TIK) is átjelzést küld a tüzesetről. Az alagútban nem került kiépítésre tűzjelző rendszer. Az alagútban lévő metrószerelvényen keletkezett tűz esetén a szerelvény tűzjelző rendszere vagy az utasok tájékoztatják a vezetőt a tüzről, aki a tüzről kapott jelzést követően rádióan azonnal értesíti a Központi Forgalom Irányítót (KFM). A KFM a tudomására jutott tüzet haladéktalanul jelenti a TIK felé a közvetlen tűzjelző telefonon vagy a 112-es telefonszámon a rendelkezésére álló tűzzel kapcsolatos valamennyi információ ismertetésével [BKV tűzvédelmi terv].

6.2. Riasztás

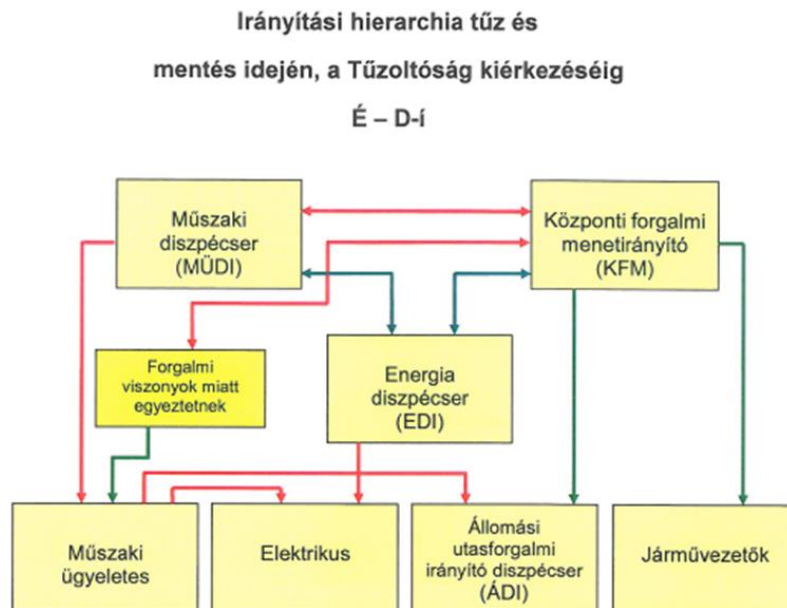
A Tevékenység Irányítási Központ (TIK) beérkezett tűzriasztásra vonatkozó adatok Pajzs Szoftverbe történt bevitele után a szoftver automatikusan riasztja az illetékes tűzörségeket. A Pajzs Szoftver folyamatosan nyomon követi, az egyes tűzörségeken az adott pillanatban bevethető erőket, így a riasztás mindig a legoptimálisabb forgatókönyv szerint valósul meg, a káresethez legközelebb lévő bevethető tűzörségek kerülnek riasztásra. Alagút és mélyállomás tűz esetén IV-es kiemelt riasztási fokozat kerül elrendelésre. Mozgólépcső tűz esetén III-as kiemelt riasztási fokozat, aluljáró tűz esetén II-es kiemelt riasztási fokozat kerül elrendelésre [FKI].

6.3. Tűz esetén a metró munkavállalók szükséges tennivalói

Műszaki diszpécser (MÜDI) feladatai:

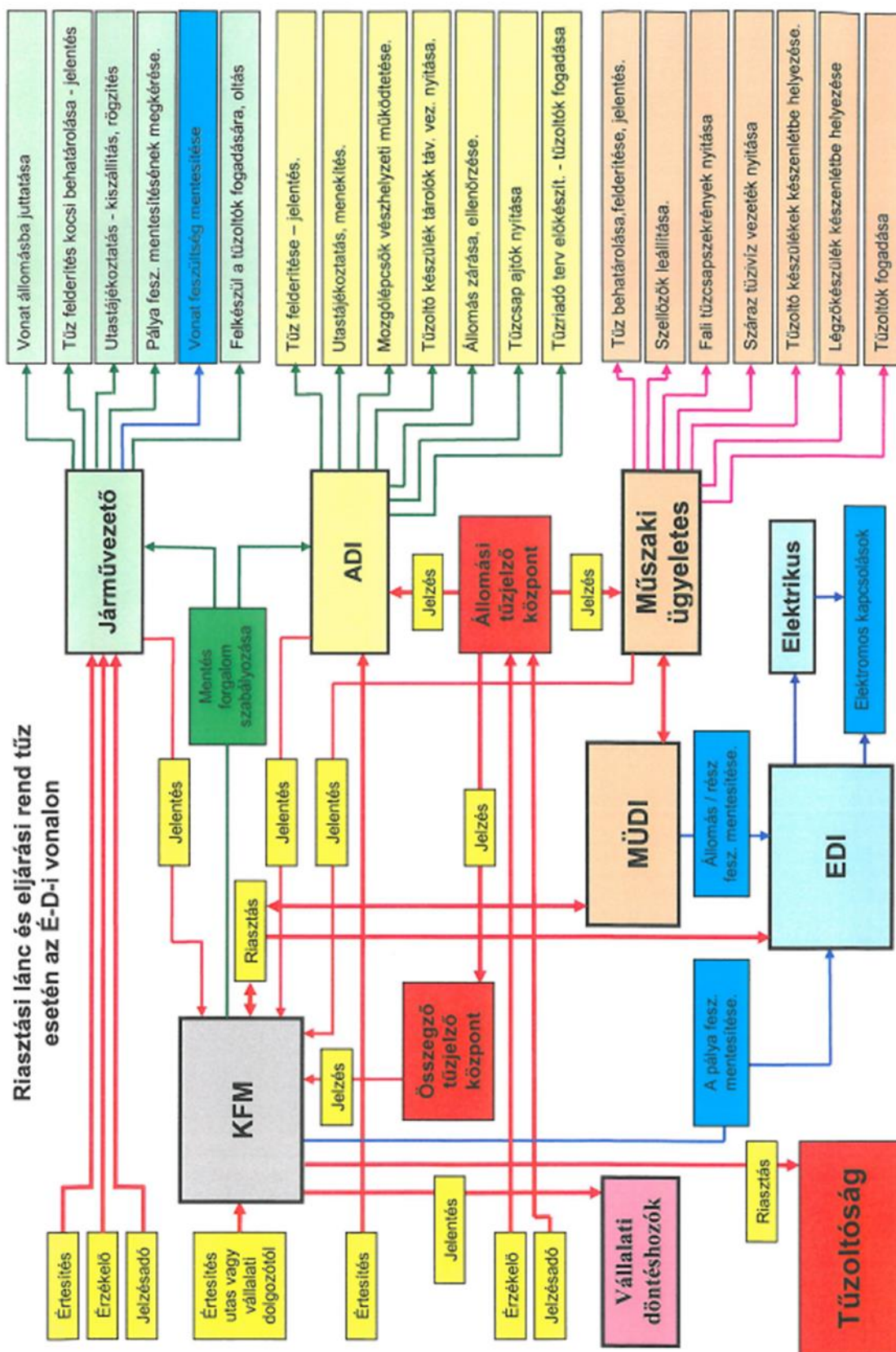
- A tűz azonnali jelentése a KFM-nek, sikertelen jelentés esetén a Tűzoltóság értesítése.
- Felderítés céljából a helyszínre küldi az állomás műszaki ügyeletesét.
- Gondoskodik a tüzeset helyzetének megfelelő szellőzés megvalósításáról.
- Irányítja a műszaki ügyeletes mentéssel kapcsolatos munkáját.
- Amennyiben lehetséges, úgy a szomszédos állomások műszaki ügyeleteseit légzőkészülékekkel átküldi a veszélyeztetett állomásra.
- A KFM-el történt előzetes egyeztetés után az EDI-nél kezdeményezi a veszélyeztetett üzemi terek feszültség mentesítését.

- A vonat tűzről kapott értesítéssel egyidejűleg bekapcsolja az érintett szakasz – alagúti alapvilágítást.



A forgalmi helyzetből adódóan a mentés befejezéséig illetve a forgalom leállításáig a KFM rendelkezik. A forgalom leállítása után a tűzzel kapcsolatosan minden döntés meghozatala a Müdi-re hárul.

36. ábra Irányítási hierarchia tűz és mentés idején, a Tűzoltóság kiérkezéséig [BKV tűzvédelmi terv]



37. ábra Riasztási lánc és eljárási rend tűz esetén az É-D vonalon [BKV tűzvédelmi terv]

Központi forgalmi menetirányító (KFM) feladatai:

- A tűzjelző berendezésen, telefonon, vagy egyéb hírközlőberendezésen tudomására jutott tüzet azonnal jelenti a tűzoltóságnak, az összes ismert körülménnyel együtt és tájékoztatja a Müdit.
- Megszervezi a veszélyeztetett személyek mentését.
- Az állomás kiürítése a felszín felé. Az állomás kiürítése vonattal a szomszédos állomásra.
- Tűz esetén a rendelkezésre álló információik alapján a tűzoltóság kiérkezéséig saját hatáskörében a tűzoltósággal egyeztetett módon, intézkedik a vasút és utasforgalom szabályozásaira, korlátozásaira, esetleg beszüntetéseire.
- Amennyiben a tüzeset körülményei szükségessé teszik, felveszi a kapcsolatot a többi KFM-mel és közösen intézkednek az átszálló állomások együttesen vagy külön-külön történő kiürítésre. Ennek érdekében a KFM-ek a nélkülözhető forgalmi dolgozókat átvezényelhetik a veszélyeztetett állomásra.
- Az EDI-nél kezdeményezi a veszélyeztetett pályaszakasz feszültség mentesítését és koordinál a feszültség-mentesítésének végrehajtásáról.
- Utasítja a forgalomban lévő vonat és állomási személyzetet a szükséges utas tájékoztatásra.

Energia diszpécser (EDI) feladatai:

- A KFM utasítására vagy a Müdi kérésére intézkedik az alagút és az állomás szükség szerinti teljes illetve részleges feszültségmentesítéséről.

Műszaki ügyeletes feladatai:

- Meggyőződik a tűzjelzés valódiságáról, és erről tájékoztatja rádiótelefonon a KFM-et és a Müdi-t, a tűzoltóság mielőbbi értesítése érdekében.
- Elvégzi a tűzoltóság fogadásához szükséges teendőket: Kinyitja a peronon lévő tűzcsap ajtókat. A tartalék tűzoltókészülékeket, valamint a légzőkészüléket a tüzeset felőli oldalon készenlétbe helyezi, illetve helyezteti. Fogadja a tűzoltókat.
- A tűzoltóság megérkezéséig az állomás összes helyiségére vonatkozóan átveszi az intézkedési kötelezettségeket, és mint parancsnok intézkedik.
- A tűz helyétől függően intézkedik az alagút és az állomás szükség szerinti teljes, illetve részleges feszültségmentesítésre a MÜDI-n keresztül az EDI felé.
- A tűzjelzéssel egy időben gondoskodik a szellőzés leállításáról. A szellőztetést csak a Tűzoltásvezető utasítására indíthatja el.

- Fentiekkel egy időben az állomáson a tűzoltóság kiérkezése után, a Tűzoltásvezető utasításait hajtja végre.
- Füst, gáz felhalmozódása esetén légzőkészülékkel hatol be a kárhelyre, amennyiben a tűzoltók részére segítséget kell nyújtania.

Állomási utasforgalom-irányító diszpécser (ÁDI) feladatai:

- A műszaki ügyeletes akadályoztatása esetén meggyőződik, a tűzjelzés valódiságáról és erről tájékoztatja rádiótelefonon a KFM-et és a Müdi-t, a tűzoltóság mielőbbi értesítése érdekében.
- Az utasokat tájékoztatja a veszélyeztetett szakasz elhagyásának módjáról.
- Intézkedik a lépcsők menekülési irány szerinti szabaddá tételéről.
- A KFM utasítására végrehajtja az állomás kiürítését, lezárását, valamint a kiürítést leellenőrzi vagy leellenőrizteti.
- A hozzá beosztott forgalmi dolgozók és - (vagy) biztonsági őrök segítségével őrzi az állomás bejáratát, illetve biztosítja a rend fenntartását. A műszaki ügyeletes akadályoztatása esetén biztosítja a tűzoltó készülékek készenlétbe helyezését és a tűzcsap ajtók nyitását.
- Biztosítja a kivonuló tűzoltók, illetve a mentésben részt vevő más egységek levonulását.
- Az állomás tűzriadó tervét és helyszínrajzát a kivonuló Tűzoltásvezetőnek átadja és végrehajtja annak utasításait.
- Távvezérelten nyitja a tűzoltó készülékek tárolási helyének megfelelő indító fülkék ajtóit [BKV tűzvédelmi terv].

A metró üzemeltetője az első, aki tűz esetén a vészhelyzetet kezeli. Tűz esetén az üzemeltetőnek elsősorban a tűzriadó terv alapján jó döntéseket kell hoznia. A hatékony vészhelyzeti reagálás kulcsfontosságú egy katasztrofális alagúttűz kialakulásának a megelőzésében. Vészhelyzet esetén a válaszüldő és a gyorsaság létfontosságú. Az első 5-15 percben elért eredmények gyakran meghatározzák a tüzeset kimenetelét. A metró hatékony vészhelyzeti felkészültsége olyan fontos biztonsági kérdés, amelyre kiemelt figyelmet kell fordítani. Az M3-as metró alkalmazottak tűz esetén végrehajtandó feladatait meghatározó terv biztosítja egy metrótüz esetén a vészhelyzet elhárítása érdekében történő gyors és hatékony reagálást. Az M3-as vonalán 2011. április 19.-én bekövetkezett vonattűz, metróalkalmazottak által történt hatékony és gyors vészhelyzeti kezelése alapján megállapítható, hogy a metró alkalmazottak a tűzvédelmi tervek alapján kiválóan felkészültek és a rendszeresen megtartott gyakorlatokon, készség szinten elsajátították a tűz esetén végrehajtandó feladataikat. A

vonattűz észlelésekor azonnal leállították a vonat forgalmat, végrehajtották a vonalszakaszt közrefogó két állomás kiürítését és a pálya feszültségmentesítését. A vonatforgalom leállításával megakadályozták, hogy az égő szerelvényt megközelíthesse egy utasokat szállító vonatszerelvény. A gyors intézkedéssel megakadályozták a dél-koreai Teguban történt tragédiához hasonló tömeges halálos áldozatokkal járó tömegkatasztrófa bekövetkezését. A metróalkalmazottak között, illetve a metróalkalmazottak és a tűzoltók között a vészhelyzeti esemény során mindvégig hatékony kommunikáció folyt. A KFM időben riasztotta a tűzoltóságot a kárhelyszínre. A metróalkalmazottak a kiérkező tűzoltók részére pontos tájékoztatást adtak a tűz körülményeiről. A kommunikáció a vészhelyzeti tevékenység befejezésének a végéig folyamatos volt a beavatkozó állomány között. A hatékony kommunikációnak köszönhetően a metróalkalmazottak a szellőztetést csak a tűzoltásvezető utasítására indították el, így a szellőztető rendszerrel nem fűjték rá a mérgező füstöt az emberekre.

7. BEAVATKOZÁS A KÁRHELYSZÍNE

7.1. Felderítés

A felderítést a helyszíntre kiérkező tűzoltásvezető egy tűzoltóval és a metró műszaki ügyeletessel közösen végzi: információkat gyűjt a tűzoltással és az életmentéssel kapcsolatos intézkedések meghatározásához és a beavatkozás biztonságos, hatékony végrehajtásához. A műszaki ügyelet a tűzoltásvezetőt tájékoztatja az addig végrehajtott intézkedésekről (állomás kiürítéséről és lezárásáról, áramtalanítás végrehajtásáról). A felderítés ideje alatt tisztázni kell a pontos helyszínt, a veszélyeztetett személyek létszámát, a tűz terjedési irányát, nagyságát. Amennyiben a hő- és füstelvezetés nem megfelelő, akkor intézkedni kell a szellőztető rendszer megfelelő beállítására. Meg kell határozni az életmentés és tűzoltás végrehajtásához szükséges erők és eszközök nagyságát. A beavatkozás kezdetén azzal kell számolni, hogy a mélyállomáson tartózkodó, nagy létszámú pánikhatása alatt menekülő emberek jelentősen megnehezítik a közlekedést és felderítést [BÉRCZI L, 2014].

A metró földalatti létesítményeiben végzett mentési műveletek jelentősen eltérnek a föld feletti műveletektől, elsősorban az áttekintés hiánya és a földalatti tüzeknél gyakran előforduló összetettség miatt, valamint hogy nagyszámú mentőszemélyzetre van szükség az ilyen tüzek leküzdéséhez. A metró földalatti létesítményében keletkezett tűz egyik legnagyobb problémája az, hogy nincs információ arról, hogy pontosan hol található a tűzhelyszín, mi ég, vannak-e még emberek a rendszerben, hol tartózkodnak. Az információhiány megnehezítheti a megfelelő támadási irány meghatározását is. Ezeket a nehézségeket kezelni kell és a sikeres beavatkozás érdekében gyorsan és hatékonyan meg kell oldani. A leghatékonyabb, ha az M3-as metró üzemeltetője felügyeleti berendezéseket telepít az alagútba, és gondoskodik a megfelelő kommunikációról a tűzoltókkal annak érdekében, hogy az információk szükség esetén rendelkezésre álljanak. Az M3-as metró vonalon, az állomásokon telepítésre kerültek tűzjelző érzékelő eszközök, kamerák és az állomásokon az üzemidő alatt mindig tartózkodnak metró alkalmazottak is, így az állomáson keletkezett tüzről a metró alkalmazottak pontos tájékoztatást tudnak adni a tűzoltók részére. Viszont az alagutakban nem került telepítésre sem tűzjelző érzékelő sem CCTV kamerarendszer, így egy alagútban kialakult tüzről csak a metróvezető tud tájékoztatást adni. Előfordulhat azonban olyan helyzet, amikor a metróvezető a keletkezett tűz körülményeiről nem tud tájékoztatást adni, mert például elveszítette az eszméletét vagy a rádiója működésképtelenné vált. Ilyen esetekben előnyt jelentene, az alagútban telepített száloptikai tűzjelző érzékelő és CCTV kamerarendszer, amely a metróvezető tájékoztató

képességének az elvesztése esetén is pontos képet szolgáltatna a baleset helyszínéről elősegítve ezzel a tűzoltók gyors és hatékony beavatkozását. Ha nincs fizikai eszköz az információszolgáltatáshoz, a tűzoltóknak maguknak kell megoldani a megfelelő információgyűjtést, ami késleltetheti a gyors és hatékony beavatkozást. Ha a tűzoltást hatékonyan akarják végezni, a tűzoltóknak átfogó képet kell kapnia a helyzetről. Ilyen esetben csak a tűzhelyszínre küldött tűzoltók felderítő tevékenysége szolgáltatna megfelelő információt a tűzhelyszín körülményeiről, pontosan hol található a tűz, mi ég, vannak-e a helyszínen személyek és sérültek. A felderítés végrehajtásához be kell hatolni a tűz által érintett területre. A metró földalatti létesítményei tűz esetén megtelnek égéstermékkel, ezért belépéskor légzőkészüléket kell használni. Ez erősen korlátozza a cselekvési lehetőségeket, valamint a metró földalatti létesítményében megtehető távolságot. IR kamera nélkül nagyon nehéz eligazodni a füsttel teli környezetben. A hőkamerák fontosak a hatékony mentési művelethez. Célszerű, ha a hőkamerákat nem kézben kell tartani, hanem az rögzíthető a sisakon, így a hőkamera nem foglalja le a tűzoltó kezét. Előnyt jelent, ha a csapat minden tagja rendelkezik hőkamerával.

7.2. Kiürítés

Kiürítés általános elvei: Az állomás hő- és füstelvezető rendszere biztosítja, hogy a peron, az utasforgalmi terület legalább 30 percig a menekülést nem gátló módon füstszegény marad. A 3-as metró rekonstrukciója során 12 állomáson felvonó létesült, azaz mozgássérültek is igénybe vehetik a metró. Ezt figyelembe véve a menekülésben korlátozott személyek (különös figyelemmel a kerekesszékesekkel közlekedő mozgássérültekre, miután az egyéb korlátozással élő személyek önállóan, vagy segítséggel, de menekülni tudnak) mentéséről az adott állomáson is gondoskodni kell. Tekintettel arra, hogy a peron, az utasforgalmi terület legalább 30 percig a menekülést nem gátló módon füstszegény marad a menekülésben korlátozott személyek számára ez „átmenetileg védett térnek” tekinthető, s a mozgássérültek – a kiérkező tűzoltóság általi – biztonságos térbe mentése biztosítható. A Tűzvédelmi Műszaki Irányelv szerint a menekülésben korlátozott, kerekesszéket használó személyek számát (0,02 %), ennek alapján legfeljebb 1 kerekesszékes jelenlétével kell számolni, azaz a peronon elegendő tér áll rendelkezésre (akár több kerekesszék számára is). A menekülési útvonal építményszerkezeteinek tűzvédelmi jellemzői megfelelnek a Tűzvédelmi műszaki leírás 1. sz. mellékletében rögzített - OTSZ szerinti - követelményeknek. A menekülési útvonalakon biztonsági világítás, menekülési jelek, és menekülési útirányjelző rendszer (a peron padlójában is) létesült az OTSZ vonatkozó előírásainak megfelelően. Az állomásokon kiépített utas-

tájékoztató hangrendszer került kialakításra. Az OTSZ rendelkezése alapján az állomás kiürítési ideje a közlekedési társaság üzemeltetési határáig maximálisan 10 perc.

Dózsa György - út Metró állomás kiürítés számítása

A kiürítés időtartama az útvonalak hossza alapján

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

A kiürítés időtartama a lépcsők legkisebb szabad szélessége alapján

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

A számítások során alkalmazott speciális tényezők:

Az állomás kiürítési ideje a közlekedési társaság üzemeltetési határáig maximálisan 10 perc.

Haladási sebességek:

- vízszintesen: 30 m/min

- lépcsőn felfelé: 15 m/min

A két peron kiürítés szempontjából azonos adottságú, ezért számítást csak az egyikre kell készíteni.

Útvonalhossz szerinti számítás:

Az állomáson tartózkodó szerelvény elhagyása a kiürítés „első szakasza”. Ennek megállapított időtartama 0,5 min. Ezzel az értékkel kell növelni a kiürítés „második szakaszában” számított kiürítési időtartamot.

A szerelvény kijáratától legtávolabbi ajtajától kerül számításra a vízszintes távolság, amit növelni kell a fix lépcsők szintkülönbségének háromszorosával.

	Távolság (m)	Haladási sebesség (m/min)	Időtartam (min)
Szerelvény elhagyási ideje			0,5
Vízszintes útvonalhossz	69,9	30	2,33
Szintkülönbség (4,6 m) háromszorosa	13,8	15	0,92
Összesen			3,75

A lépcsők átbocsátóképessége szerinti számítás:

A szerelvény kijáratához második legközelebbi ajtajától kerül számításra a lépcsőhöz vezető vízszintes elérési távolság és a lépcső tetejétől a kijárat vízszintes elérési távolság.

Kiürítendő létszám: állomásban tartózkodó szerelvény: 820 fő + az állomáson várakozó 28 fő perononként, azaz összesen 848 fő.

	Távolság	Haladási sebesség	Időtartam (min)
A lépcső vízszintes elérési távolsága	12 m	30 m/min	0,4
A kijárat vízszintes elérési távolsága	21,9 m	30 m/min	0,73
	Létszám	Szabad szélesség	
A lépcső átbocsátóképessége	848 fő	3,95 m	5,14
Összesen			6,27

A kijáratok átbocsátóképessége szerinti számítás:

A lépcsők tetejétől kerül számításra a kijárhoz vezető vízszintes elérési távolság.

A kijáratok szélessége perononként 7,0-7,0 m, azonban a kijárhoz vezető közlekedő legkisebb szélessége mindkét oldalon 5,0 méter, ezért ez utóbbi szélességet kell figyelembe venni [BKV tűzvédelmi terv].

	Távolság	Haladási sebesség	Időtartam (min)
A kijárat vízszintes elérési távolsága	21,9 m	30 m/min	0,73
	Létszám	Szabad szélesség	
A kijárat átbocsátóképessége	848 fő	5 m	2,61
Összesen			3,34

7.3. Pathfinder szoftver felhasználásával a Dózsa György úti metróállomás kiürítésének számítógépes szimulációja

A Dózsa György úti metróállomás kiürítéséről Pathfinder szoftverrel három különböző beállítással készítettem szimulációt. A szimuláció futtatása során kapott eredményeket elemeztem, továbbá összehasonlítottam a szimulációkat egymással és a hatóság által jóváhagyott kézisámolás kiürítési eredményével. Végül következtetéseket vontam le a modellezés alapján kapott eredményekből.

A metró földalatti állomásai kiürítése és a szimuláció követelményeit szabályozó legfontosabb jogszabályi előírások: Az OTSZ 52. § (1) bekezdése előírása szerint a kiürítést geometriai módszerrel, vagy számítással kell megtervezni.

Az OTSZ 117. § (1) bekezdése előírása szerint a felszín alatti vasútvonal földalatti állomásai, valamint a vonalalagutak az MK osztályba tartoznak. A felszíni állomás és építmény KK osztályúnak minősül.

Az OTSZ 118. § (8) bekezdése előírása szerint az állomások hő- és füstelvezető rendszerét úgy kell kialakítani, hogy a peron, utasforgalmi terület legalább 30 percig a menekülést nem gátló módon füstszegény maradjon.

Az OTSZ 119. § (2) bekezdése előírása szerint az állomások területén lévő személyek menekítésére figyelembe lehet venni a 118. § (8) bekezdés szerinti füstmentes peronon, utasforgalmi területen kialakított mozgólépcsőket és lifteket.

Az OTSZ 119. § (3) bekezdése előírása szerint az állomások kiürítési ideje a közlekedési társaság üzemeltetési határáig maximálisan 10 perc.

Az OTSZ hatályos előírása a kiürítési idő meghatározásához tehát lehetőséget biztosít geometriai és/vagy számítási módszer alkalmazására. A TvMI 6. pontja rögzíti a kiürítés kézi számítási módját. A BM OKF 2022. április 21-én kiadott (azonosító: TvMI 8.5:2022.06.13.) Tűzvédelmi Műszaki Irányelv – Számítógépes tűz- és füstterjedési, valamint menekülési szimuláció rögzíti a kiürítés geometriai ellenőrzési módját.

A TvMI – Kiürítés táblázata a személysűrűség figyelembevételével tartalmazza az átlagos haladási sebesség értékeket (8. táblázat). A táblázatban rögzített haladási sebesség értékek a teljes populációra vonatkoznak.

8. táblázat Emberek haladási sebessége a menekülés adott szakaszának létszámsűrűsége függvényében			
A helyiségben, vagy a veszélyeztetett területen áthaladók létszámsűrűsége D	Vízszintes haladási sebesség m/min [m/s]	Haladás lépcsőn m/min [m/s]	
(fő/m ²)		lefelé	fölfelé
0,5 alatt	40,00 [0,67]	32,00 [0,53]	30,00 [0,50]
0,5-től 1-ig	37,00 [0,62]	30,00 [0,50]	28,00 [0,46]
1-től 2-ig	29,00 [0,48]	23,00 [0,38]	21,00 [0,35]
2-től 3-ig	17,00 [0,28]	14,00 [0,23]	13,00 [0,21]
3 felett	6,00 [0,10]	5,00 [0,08]	4,00 [0,07]

Létszámsűrűség hatása a kiürítésre: A létszámsűrűség hatással van a haladási sebességre, a komfortérzetre és a nagy létszámsűrűség sérülés veszélyes helyzetet okozhat. John J. Fruin 1971-ben a közlekedési és gyalogos szolgáltatások tervezéséhez dolgozott ki számszerűen is meghatározható kategóriákat. A környezetre és szolgáltatási szintre jellemző gyalogos sűrűséget betűkkel jelölt A-F-ig terjedő hatfokozatú skálával határozta meg, ahol az (A) az ideális, a (D) vagy annál magasabb fokozat már fokozott sérülésveszélyű régióknak minősül. Az emberek nagy sűrűsége, magas hőmérséklet és a mérgező füst jelenléte nélkül is súlyos sérüléshez vezethet, ami fontos biztonsági kockázatot jelent az evakuálás során [FRUIN, 1971].

A kidolgozott 6 kategória jellemzésére szolgáló számszerű értékeket az alábbi 9. számú táblázatban foglaltam össze.

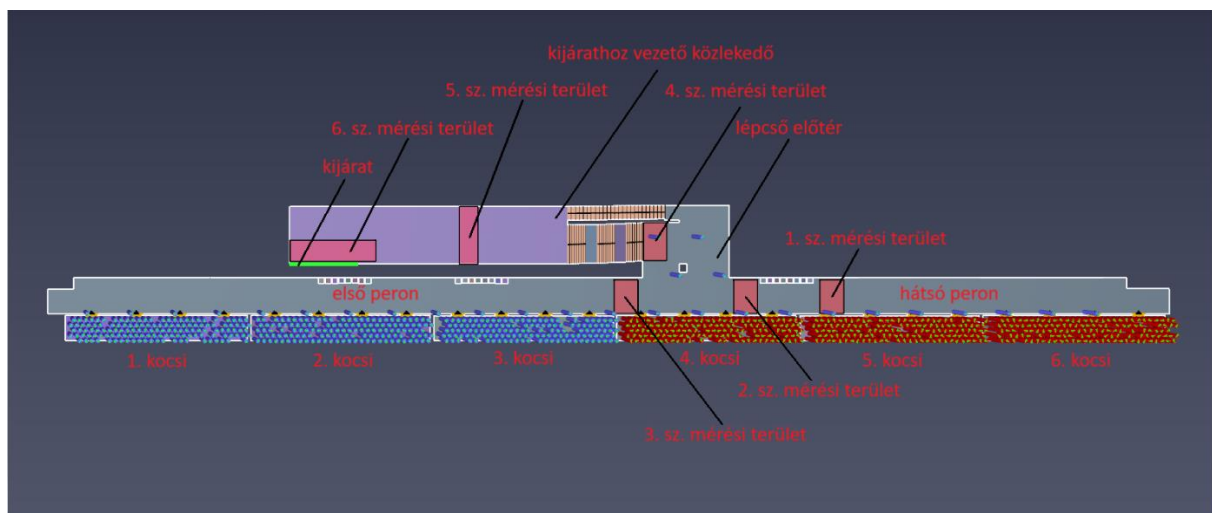
9. táblázat Fruin szolgáltatási szintre vonatkozó skálája						
Járdák		Lépcsők		Váróterek		LoS Level of Service
Minimum (fő/m ²)	Maximum (fő/m ²)	Minimum (fő/m ²)	Maximum (fő/m ²)	Minimum (fő/m ²)	Maximum (fő/m ²)	
0	0,308	0	0,541	0	0,826	A
0,308	0,431	0,541	0,719	0,826	1,075	B
0,431	0,719	0,719	1,075	1,075	1,538	C
0,719	1,075	1,075	1,538	1,538	3,571	D
1,075	2,174	1,538	2,703	3,571	5,263	E
2,174	-	2,703	-	5,263	-	F

A = Free Flowing; B = Min or Conflicts; C = Some Restrictions to Speed; D = Restricted movement for most; E = Restricted movement for all ; F = Shuffling movements for all

A kiürítés szimulációjához használt Pathfinder program rövid bemutatása: A Pathfinder program fejlesztését a Thunderhead Engineering Consultants Ltd. végzi. Evakuálás modellezéséhez általában a Pathfinder az egyik leggyakrabban alkalmazott szimulációs szoftver. A program mozgási modellt hoz létre és egyes viselkedési minták szimulálására is alkalmazható. A program a terület fizikai kiüríthetőségét vizsgálja. A szimuláció nem veszi figyelembe a hő és füst toxikus hatását. Az újabb fejlesztések azonban már lehetővé teszik más program alkalmazásával készült füst és hőterjedési szimuláció eredményeinek Pathfinder szimulációba történő importálását. A szoftver három részből áll: szimulátorból, a grafikus felhasználói felületből és az eredmények 3D-ben történő megjelenítőjéből. A kiürítési szimuláció futtatása két fő módszerrel irányítható: „steering” kikerüléssel alkalmazással és az SFPE kézikönyvben meghatározott módszerrel. A SFPE módban a haladási sebességet az egyes helyiségekben tartózkodó személyek száma, sűrűsége és az ajtó szélessége befolyásolja. A steering (kikerüléssel) mód a használt algoritmus segítségével biztosítja, hogy a szimulációban alkalmazott személyek mozgása megegyezzen a valós személyek mozgásával. A kikerüléssel mód az inverz kormányzási viselkedés elgondolásán alapul, amely kiszámítja az optimális műveletet minden egyes utas számára költségalapú heurisztika segítségével az egyes lehetséges műveletek értékeléséhez. A steering üzemmód közelebb áll a tömeg vészhelyzeti evakuálásának viselkedéséhez. Ez a technika kiküszöböli az SFPE szisztéma sűrűség számításán alapuló következtetéseiből és a szimulált személyek ajtónál libasorban történő haladásából következő hátrányait. A szoftver a futtatása során egy térbeli háromdimenziós geometriai modellt használ. A mozgáskörnyezet egy 3D háromszögelt háló, amelyet úgy terveztek, hogy megfeleljen egy épületmodell valós méreteinek. Ez a mozgási háló manuálisan

vagy importált adatok alapján automatikusan megadható. A személyek mozgása a geometriai modellben létrehozott navigációs hálón történik. Az utasokat függőleges hengereként modellezzük a mozgáshálón, és az inverz kormányzásnak nevezett technikával mozognak. A modellter elemei a következők: kijárat, helyiség, lépcső, rámpa. A szoftver lehetőséget biztosít a személyek magasságának, válszélességének, összenyomhatóságának és sebességének többféle módon történő bevitelére, de biztosítja minden értéknél az alapértelmezett beállítást is. A szoftver ötféle módot biztosít az értékek pontosításához: egyedi beállítás, logaritmikus eloszlás, standard eloszlás, egyenletes eloszlás, konstans. Továbbá a következő specifikus jellemzők is beállíthatók: reakcióidő, lassulási komponens, összenyomhatóság mértéke, ajtóválasztási mód, komfort távolság, azonban a szoftver fentiekben felsorolt alapértelmezett értékeitől csak indokolt esetben szabad eltérni. A szoftver lehetővé teszi az emberek csoportos és egyedi elhelyezését is. A személyek tulajdonságai csoportos és egyedi elhelyezésük esetén is beállíthatók. Csoportos elhelyezésnél meghatározható az emberek geometriai pozíciója (rendszerezett vagy random) és a személy jellemzők megoszlásának aránya (nő, férfi, gyermek, idős, mozgáskorlátozott) [VERES GY, 2018].

A metróállomás kiürítés szimulációja során alkalmazott kiindulási alapadatok: A szimulációs teret a csatolt A1. számú melléklet alaprajzának megfelelően alakítottam ki. Az oldalperonnal rendelkező metróállomásnak egy kijárata van, a kijárat szélessége 7,0 méter. A metró evakuálásának szimulációs tere az alábbi 38. számú ábrán vázolt módon került kialakításra.



38. ábra Metró evakuálásának szimulációs tere

Lépcső szabad szélessége 3,95 méter, a lépcső mellett közvetlenül elhelyezett 1 db mozgólépcső szabad szélessége 1,14 méter. A hatóság által jóváhagyott kiürítés kézi számítása során csak a 3,95 méter szabad lépcső szélességgel számoltak. A 6 db külön légtérrel rendelkező metrókocsi által szállítható maximális létszám 820 fő, a peronon várakozók száma 28 fő, így mindösszesen 848 fő kiürítésével számoltam.

A különböző kiürítési változatok során a következő beállításokat alkalmaztam:

1. számú kiürítési szimuláció beállítási paraméterei:

A hatóság által jóváhagyott a kiürítés kézisámítása során használt adatokkal megegyezően, a szimulációban a szabad lépcsőszélességet 3,95 méterre, a kiürítendő személyek sebességét 0,5 m/s-ra, a létszámát 848 főre állítottam, amelyből 820 fő a metrószerelvényen 28 fő pedig az oldalperonon került elhelyezésre. A szimuláció során a szoftver alapértelmezett értékeit alkalmaztam a személyek vállszélessége 45,58 cm, magassága 1,8288 m (amely a kiürítés idejét nem befolyásolja), összenyomhatósága 0,7. Az alábbi specifikus jellemzők beállítását is a szoftverhez kiadott kézikönyv ajánlásának megfelelően alapértelmezett értékeken hagytam: reakcióidő, lassulási komponens, összenyomhatóság mértéke, ajtóválasztási mód, komfort távolság.

2. számú kiürítési szimuláció beállítási paraméterei:

A személyek kiürítési sebessége a Pathfinder szoftver alapértelmezett beállításának megfelelően 1,19 m/s értékre került beállításra. A további jellemzők beállítása maradt az 1. számú szimuláció során alkalmazott értékeken.

3. számú kiürítési szimuláció beállítási paraméterei:

A 3. számú szimuláció futtatása során alkalmazott beállításnál a korábbi két szimulációtól eltérően a kiürítéshez az utasok a mozgólépcsőt is használhatták, az összes többi beállítás megegyezett az 1. számú szimuláció során alkalmazott beállítással.

Adatok a futtatásról: A szimulációk futtatásához használt számítógép főbb adatai: Intel Core i3-7020U processzor (2 mag, 2,3 Ghz), 4GB DDR4 memória, 128GB SSD, AMD Radeon 530 2GB videokártya, Windows 10 Home.

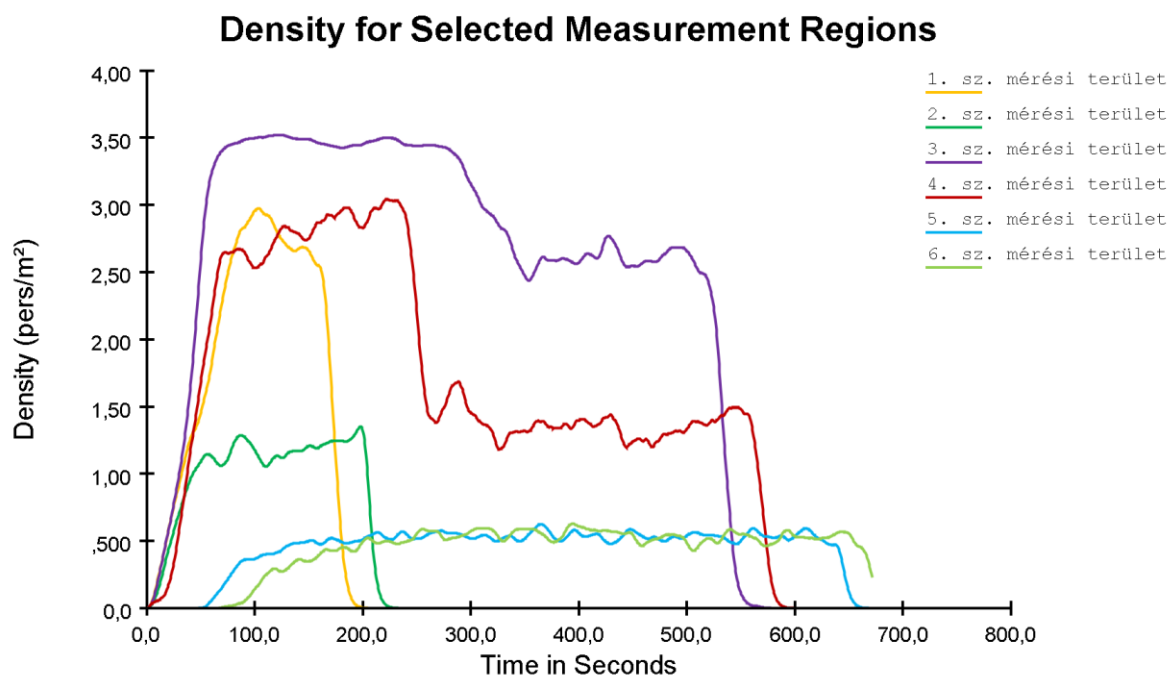
1. számú szimuláció futtatásának adatai:

A fentiekben leírtaknak megfelelően az 1. számú szimuláció futtatásához a hatóság által jóváhagyott a kiürítés kézisámítása során használt adatokkal megegyező értékek kerültek beállításra. A szimuláció futtatásának időtartama 686,6 másodperc volt. A szerelvényen tartózkodó 820 fő és a peronon elhelyezkedő 28 fő, tehát mindösszesen 848 fő kiürítésére az összesen 491 négyzetméter területű oldalperonon került sor, így a kiürítés során, a peronon haladó személyek átlagos létszámsűrűsége 1,73 fő/m² volt. A TvMI kiürítés táblázata, a jelen

dolgozat 8. számú táblázatban rögzítetteknek megfelelően a létszámsűrűség figyelembevételével tartalmazza az átlagos haladási sebesség értékeit. A 8. számú táblázatban hivatkozott a TvMI által előírtak szerint $1,73 \text{ fő/m}^2$ létszámsűrűség esetén $0,48 \text{ m/s}$ vízszintes haladási sebességgel lehet a kiürítés során számolni. A Dózsa György úti metróállomás kiürítésének kézi számításához a hatóság $0,5 \text{ m/s}$ vízszintes haladási sebességet fogadott el, így az 1. számú szimuláció futtatásához a kézisámítás és a szimuláció eredményei összehasonlíthatósága érdekében $0,5 \text{ m/s}$ haladási sebességet állítottam be.

Az 1. számú szimuláció futtatása során kapott eredmények:

A 39. számú ábra diagramja alapján az 1. számú mérési területnél a Fruin skála szerinti létszámsűrűség 23-34 másodperc között D szinten ($0,719\text{-}1,075 \text{ fő/m}^2$), 34-67 másodperc között E szinten ($1,075\text{-}2,174 \text{ fő/m}^2$), 67-167 másodperc között F szint fölött ($2,174 \text{ fő/m}^2$), 167-175 másodperc között E szinten ($1,075\text{-}2,174 \text{ fő/m}^2$), 175-178 másodperc között D szinten ($0,719\text{-}1,075 \text{ fő/m}^2$) volt. A létszámsűrűség legmagasabb $2,98 \text{ fő/m}^2$ értéket 103. másodpercnél érte el.



39. ábra Az 1. számú szimuláció során a hat mérési területről beérkező adatok alapján az utasok létszámsűrűségéről készült diagram

A 39. számú ábra diagramja alapján a 2. számú mérési területnél a Fruin skála szerinti létszámsűrűség 30-48 másodperc között D szinten ($0,719\text{-}1,075 \text{ fő/m}^2$), 48-203 másodperc

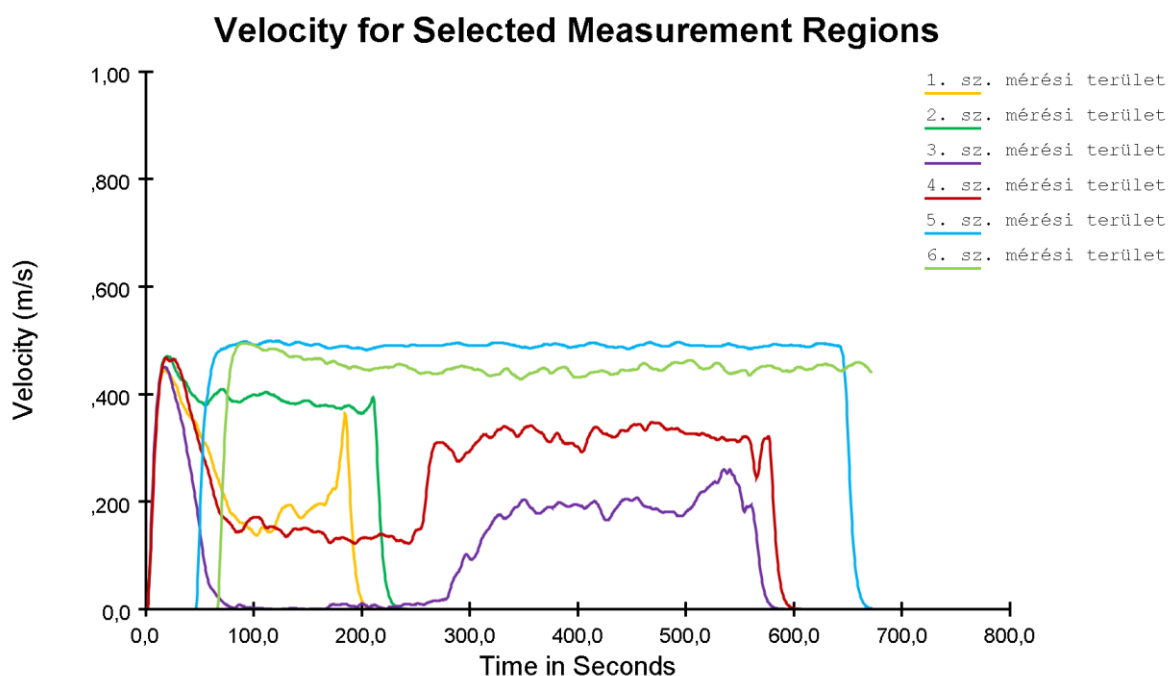
között E szinten (1,075-2,174 fő/m²), 203-207 másodperc között D szinten (0,719-1,075 fő/ m²) volt. A létszámsűrűség legmagasabb 1,35 fő/ m² értéket 198. másodpercnél érte el.

A 3. számú mérési területnél a Fruin skála szerinti létszámsűrűség 23-31 másodperc között D szinten (0,719-1,075 fő/m²), 31-46 másodperc között E szinten (1,075-2,174 fő/m²), 46-526 másodperc között F szint fölött (2,174 fő/m²), 526-536 másodperc között E szinten (1,075-2,174 fő/m²), 536-539 másodperc között D szinten (0,719-1,075 fő/ m²) volt. A létszámsűrűség legmagasabb 3,52 fő/ m² értéket 114-127 másodper között érte el.

A 4. számú mérési területnél a Fruin skála szerinti létszámsűrűség 32-38 másodperc között D szinten (0,719-1,075 fő/m²), 38-59 másodperc között E szinten (1,075-2,174 fő/m²), 59-250 másodperc között F szint fölött (2,174 fő/m²), 250-565 másodperc között E szinten (1,075-2,174 fő/m²), 565-570 másodperc között D szinten (0,719-1,075 fő/m²) volt. A létszámsűrűség legmagasabb 3,04 fő/ m² értéket 224. másodpercnél érte el.

Az 5. és a 6. számú mérési területnél a létszámsűrűség a kiürítés során mindvégig alatta marad a Fruin skála szerinti sérülésveszélyes D szintnek.

A 40. számú ábra diagramja alapján az 1. számú mérési területnél az utasok a legnagyobb 0,44 m/s sebességet 19. másodpercre érik el. A mérési területnél mért maximális sebesség 101. másodpercig lecsökken 0,14 m/s sebességre. Ezt követően 184. másodpercig felemelkedik 0,36 m/s sebességre.



40. ábra Az 1. számú szimuláció során a hat mérési területről beérkező adatok alapján az utasok sebességéről készült diagram

A 40. számú ábra diagramja alapján a 2. számú mérési területnél az utasok a legnagyobb 0,47 m/s sebességet 19. másodpercre érik el. A mérési területnél mért maximális sebesség 48. másodpercig lecsökken 0,39 m/s sebességre és 48-210 másodperc között $\pm 0,03$ m/s eltéréssel 0,39 m/s értéken marad.

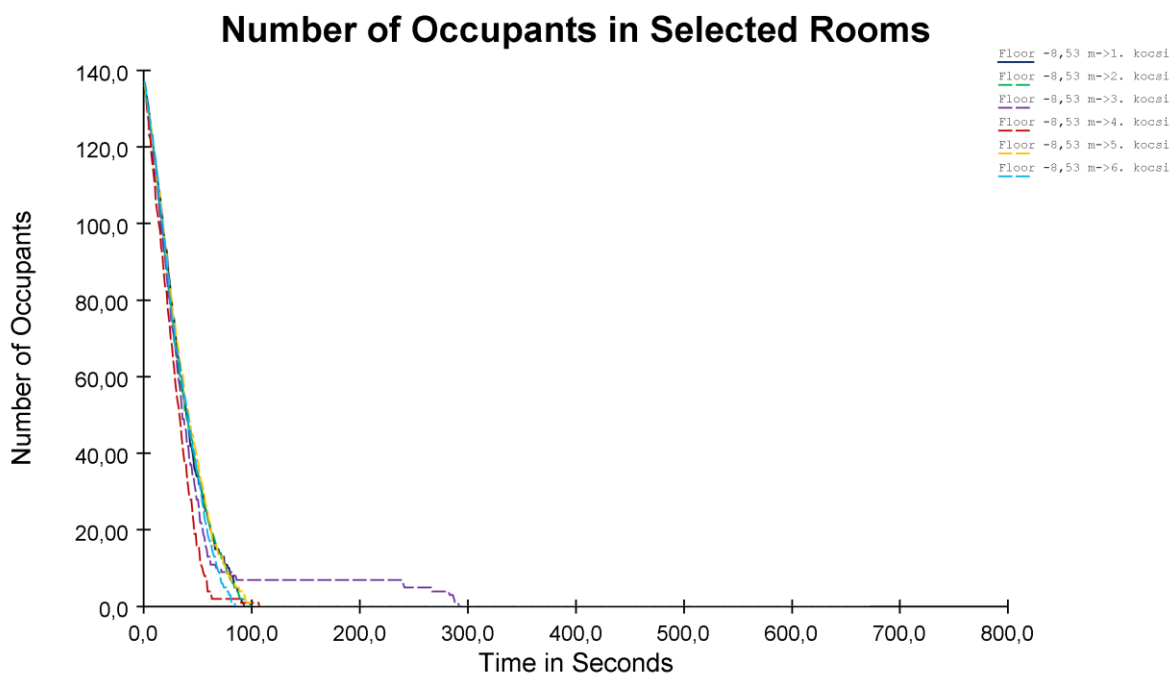
A 3. számú mérési területnél az utasok a legnagyobb 0,45 m/s sebességet 16. másodpercre érik el. A mérési területnél mért maximális sebesség 77. másodpercig lecsökken 0,01 m/s sebességre. A sebesség 77 – 265 másodperc között nem haladja meg 0,01 m/s értéket és 81 – 227 másodperc között kisebb szünetekkel az értéke 0 m/s-ra esik le. A sebesség 265-338 másodperc között felemelkedik 0,18 m/s értékre és 338-501 másodperc között $\pm 0,02$ m/s eltéréssel 0,18 m/s értéken marad. Végül, amikor csökken a létszámsűrűség 501-542 másodperc között a sebesség 0,26 m/s értékre emelkedik.

A 4. számú mérési területnél az utasok a legnagyobb 0,47 m/s sebességet 19. másodpercre érik el. A mérési területnél mért maximális sebesség 87. másodpercig lecsökken 0,14 m/s sebességre. Ezt követően 87-248 másodperc között a sebesség értéke 0,12-0,17 m/s között változik. Végül 248-269 másodperc között felemelkedik 0,31 m/s sebességre és 269-580 másodperc között a sebesség 0,25-0,35 m/s értékek között váltakozik.

Az 5. számú mérési területnél az utasok sebessége 87. másodpercnél eléri az 0,5 m/s értéket és 87-642 másodperc között a sebességük 0,48-0,5 m/s értékek között ingadozik.

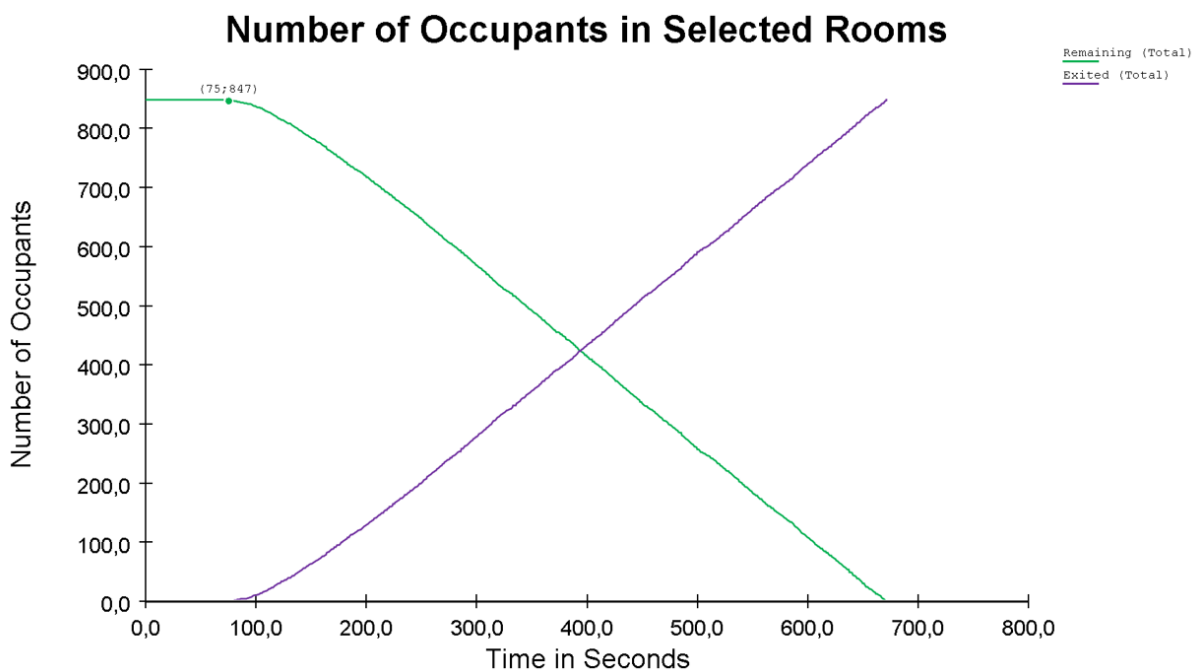
A 6. számú mérési területnél az utasok sebessége 84. másodpercnél eléri az 0,49 m/s értéket és 84-670 másodperc között a sebességük 0,43-0,49 m/s értékek között ingadozik.

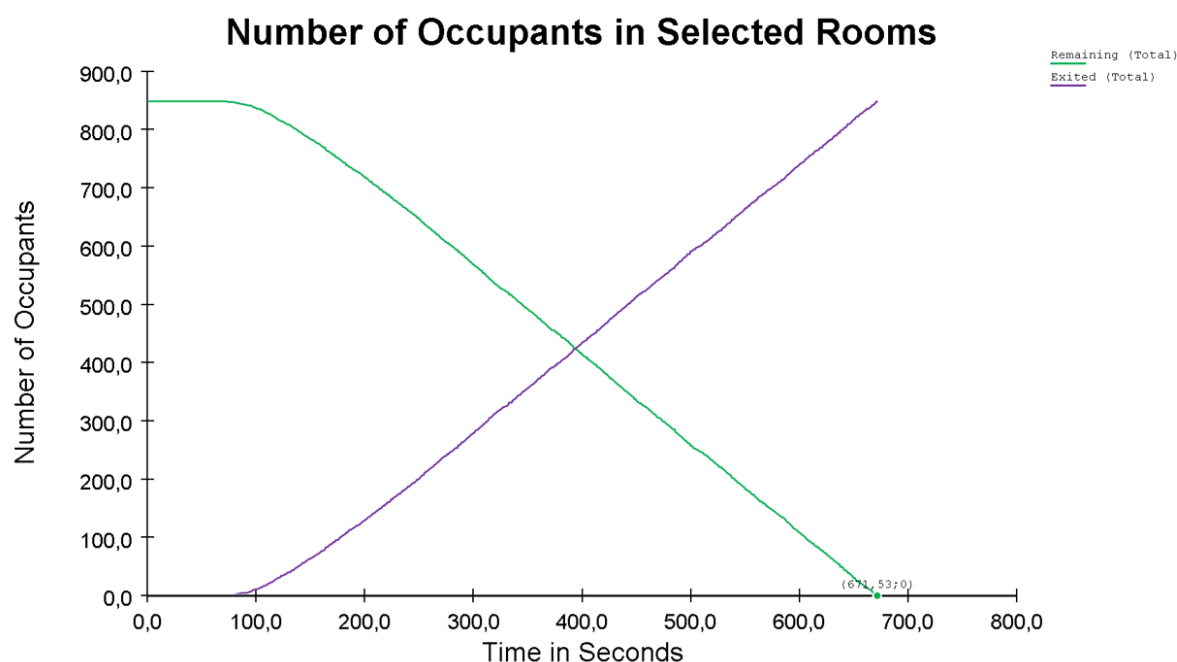
Az alábbi 41. számú ábrán látható diagram szerint a metrókocsik kiürítési ideje a jelen szimulációban 85-292 másodperc között változik, az 1. kocs 93 s, a 2. kocs 101 s, a 3. kocs 292 s, a 4. kocs 107 s, az 5. kocs 100 s, a 6. kocs 85 s alatt került kiürítésre.



41. ábra Az 1. számú szimuláció során a metrókocsik kiürítési ideje

A kiürítés kézi számítása során alkalmazott paraméterekkel futtatott szimuláció során az alábbi 42. számú ábra diagramja szerint, az első utas az állomást 75. másodpercben hagyja el, a metró állomás teljes kiürítése 671,53 másodpercet (11,19 percet) vesz igénybe.

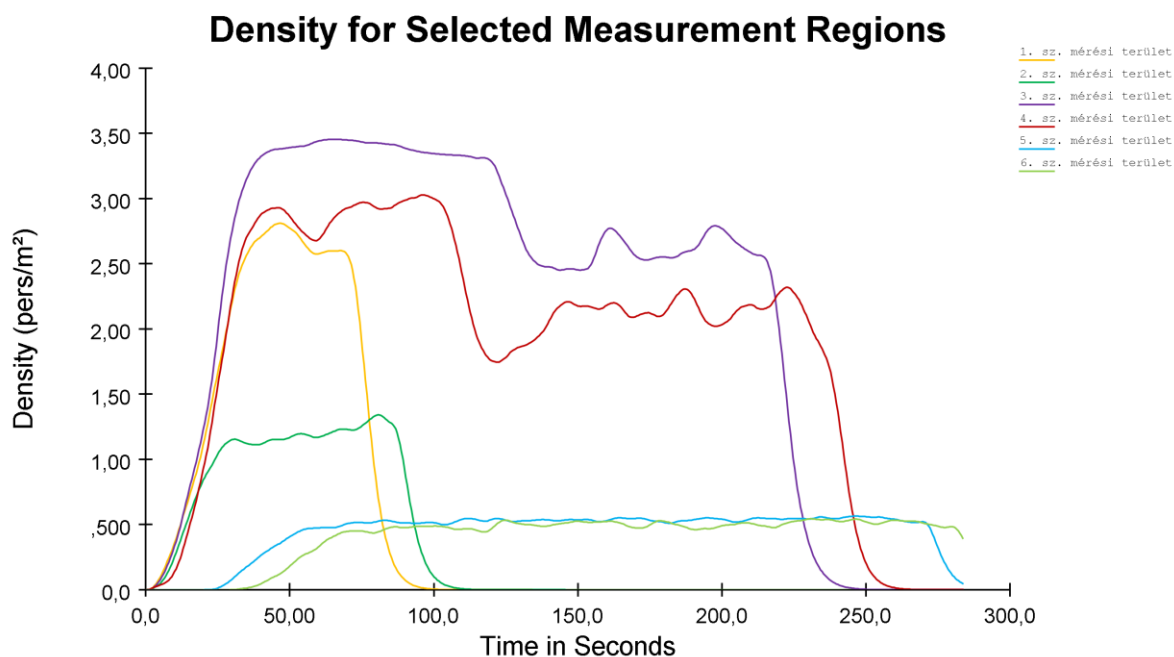




42. ábra Az 1. számú szimuláció során a metróállomás kiürítési ideje

2. számú szimuláció futtatásának adatai: A szimuláció futtatásának időtartama 315,6 másodperc volt. A 2. számú szimuláció futtatása során a sebesség beállítás kivételével az összes beállítás megegyezett az 1. számú szimulációnál alkalmazott beállításokkal. A személyek kiürítési sebessége a Pathfinder szoftver alapértelmezett beállításának megfelelően 1,19 m/s értékre került beállításra.

A 43. számú ábra diagramja alapján az 1. számú mérési területnél a Fruin skála szerinti létszámsűrűség 15-20 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²), 20-30 másodperc között E szinten ($1,075-2,174$ fő/m²), 30-74 másodperc között F szint fölött ($2,174$ fő/m²), 74-79 másodperc között E szinten ($1,075-2,174$ fő/m²), 79-80 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²) volt. A létszámsűrűség legmagasabb $2,81$ fő/m² értéket 46. másodpercnél érte el.



43. ábra A 2. számú szimuláció során a hat mérési területről beérkező adatok alapján az utasok létszámsűrűségéről készült diagram

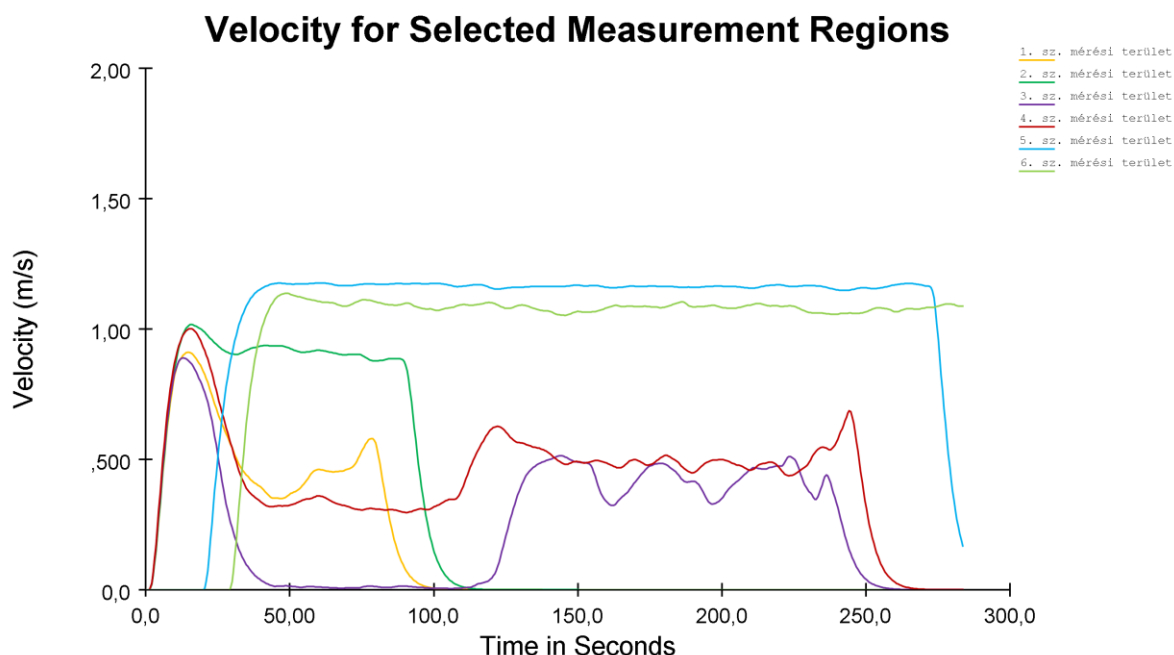
A 43. számú ábra diagramja alapján a 2. számú mérési területnél a Fruin skála szerinti létszámsűrűség 18-26 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²), 26-88 másodperc között E szinten ($1,075-2,174$ fő/m²), 88-92 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²) volt. A létszámsűrűség legmagasabb $1,34$ fő/m² értéket 80 másodpercnél érte el.

A 3. számú mérési területnél a Fruin skála szerinti létszámsűrűség 14-19 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²), 19-26 másodperc között E szinten ($1,075-2,174$ fő/m²), 26-219 másodperc között F szint fölött ($2,174$ fő/m²), 219-225 másodperc között E szinten ($1,075-2,174$ fő/m²), 225-227 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²) volt. A létszámsűrűség legmagasabb $3,45$ fő/m² értéket 62. másodpercnél érte el.

A 4. számú mérési területnél a Fruin skála szerinti létszámsűrűség 17-21 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²), 21-30 másodperc között E szinten ($1,075-2,174$ fő/m²), 30-113, 144-165, 182-191, 207-211, 217-228 másodperc között, mindösszesen 128 másodpercen keresztül F szint fölött ($2,174$ fő/m²), 113-144, 165-182, 191-207, 211-217 másodperc között, mindösszesen 70 másodpercen keresztül E szinten ($1,075-2,174$ fő/m²), 217-244 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²) volt. A létszámsűrűség legmagasabb $3,03$ fő/m² értéket 97. másodpercnél érte el.

Az 5. és a 6. számú mérési területnél a létszámsűrűség a kiürítés során mindvégig alatta marad a Fruin skála szerinti sérülésveszélyes D szintnek.

A 44. számú ábra diagramja szerint az 1. számú mérési területnél az utasok a legnagyobb 0,91 m/s sebességet 14-16 másodperc között érik el. A mérési területnél mért maximális sebesség 44-48 másodperc közötti időre lecsökken 0,35 m/s sebességre, ami erről a szintről a 78-79 másodperc közötti időre megnő 0,58 m/s sebességre.



44. ábra A 2. számú szimuláció során a hat mérési területről beérkező adatok alapján az utasok sebességéről készült diagram

A 44. számú ábra diagramja szerint a 2. számú mérési területnél az utasok a legnagyobb 1,02 m/s sebességet 15. másodpercre érik el. A mérési területnél mért sebesség 30. másodpercig lecsökken 0,9 m/s sebességre és minimális $\pm 0,1$ m/s eltéréssel 30-88 másodperc között 0,9 m/s értéken marad.

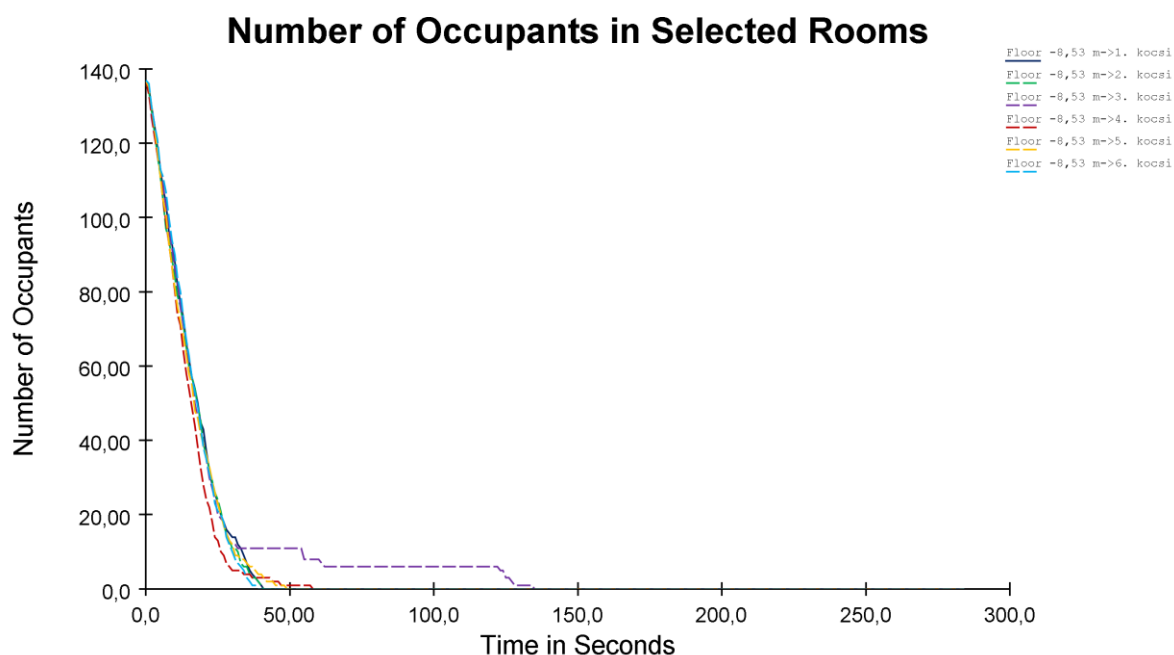
A 3. számú mérési területnél az utasok a legnagyobb 0,89 m/s sebességet 12. másodpercre érik el. A mérési területnél mért sebesség 44. másodpercig lecsökken 0,01 m/s sebességre és 44-114 másodperc között 0,01 m/s értéken marad. Ezt követően 131. másodpercre felemelkedik 0,4 m/s sebességre és 131-238 másodperc között $\pm 0,1$ m/s eltéréssel 0,4 m/s értéken marad.

A 4. számú mérési területnél az utasok a legnagyobb 1 m/s sebességet 14. másodpercre érik el. A mérési területnél mért sebesség 41. másodpercig lecsökken 0,33 m/s sebességre és 41-103 másodperc között $\pm 0,03$ m/s eltéréssel 0,33 m/s értéken marad. Ezt követően 117. másodpercre felemelkedik 0,56 m/s sebességre és 117-247 másodperc között $\pm 0,12$ m/s eltéréssel 0,56 m/s értéken marad.

Az 5. számú mérési területnél az utasok sebessége 40. másodpercnél eléri az 1,16 m/s értéket és a sebességük 40-272 másodperc között $\pm 0,02$ m/s eltéréssel 1,16 m/s értéken marad.

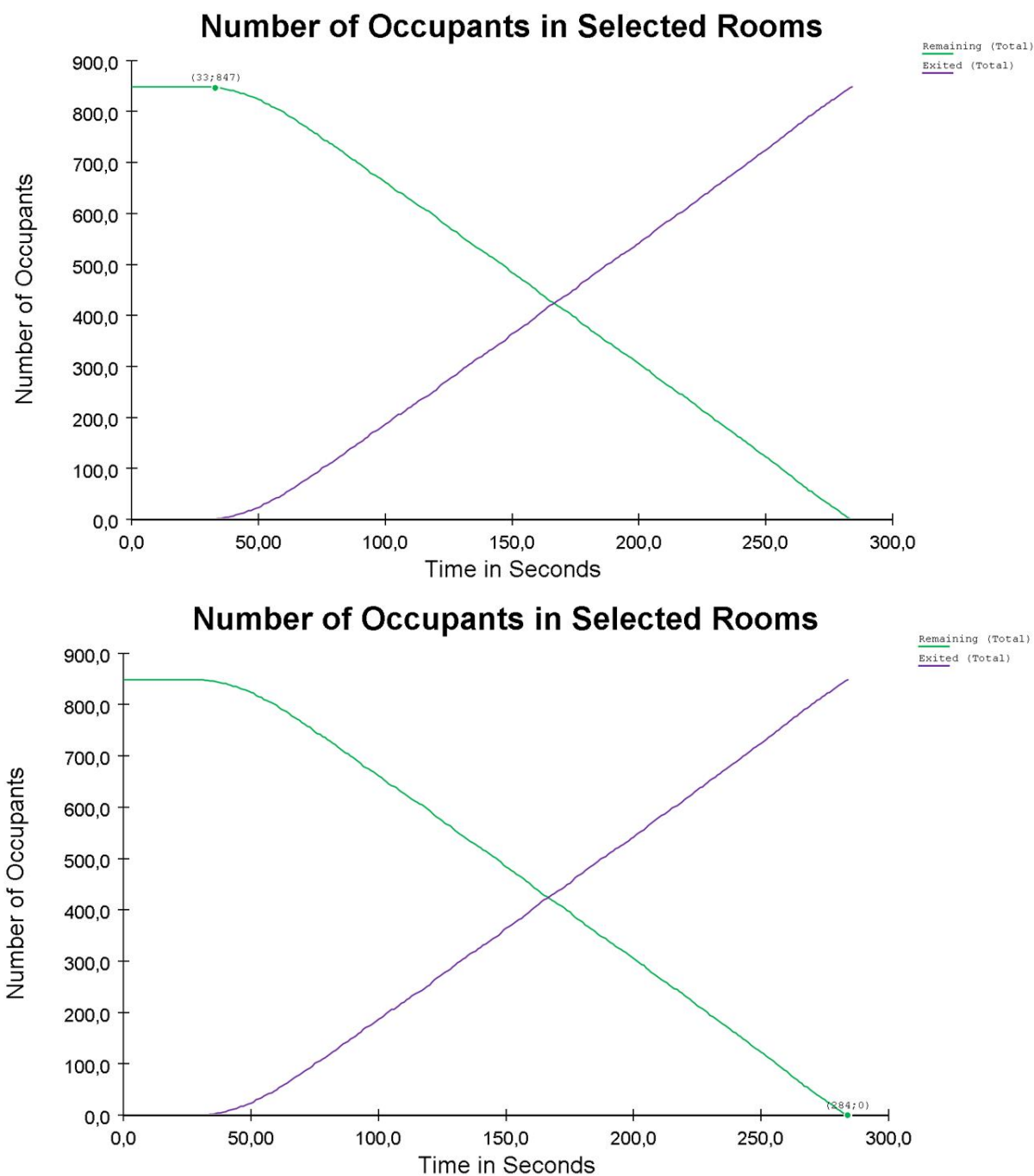
A 6. számú mérési területnél az utasok sebessége 43. másodpercnél eléri az 1,08 m/s értéket és a sebességük 43-283 másodperc között $\pm 0,03$ m/s eltéréssel 1,08 m/s értéken marad.

Az alábbi 45. számú ábrán látható diagram szerint a metrókocsik kiürítési ideje a jelen szimulációban 39-135 másodperc között változik, az 1. kocs 41 s, a 2. kocs 41 s, a 3. kocs 135 s, a 4. kocs 58 s, az 5. kocs 49 s, a 6. kocs 39 s alatt került kiürítésre.



45. ábra A 2. számú szimuláció során a metrókocsik kiürítési ideje

A 46. számú ábra diagramja szerint, az első utas az állomást 33. másodpercben hagyja el, a metró állomás teljes kiürítése 284 másodpercet (4,73 percet) vesz igénybe.

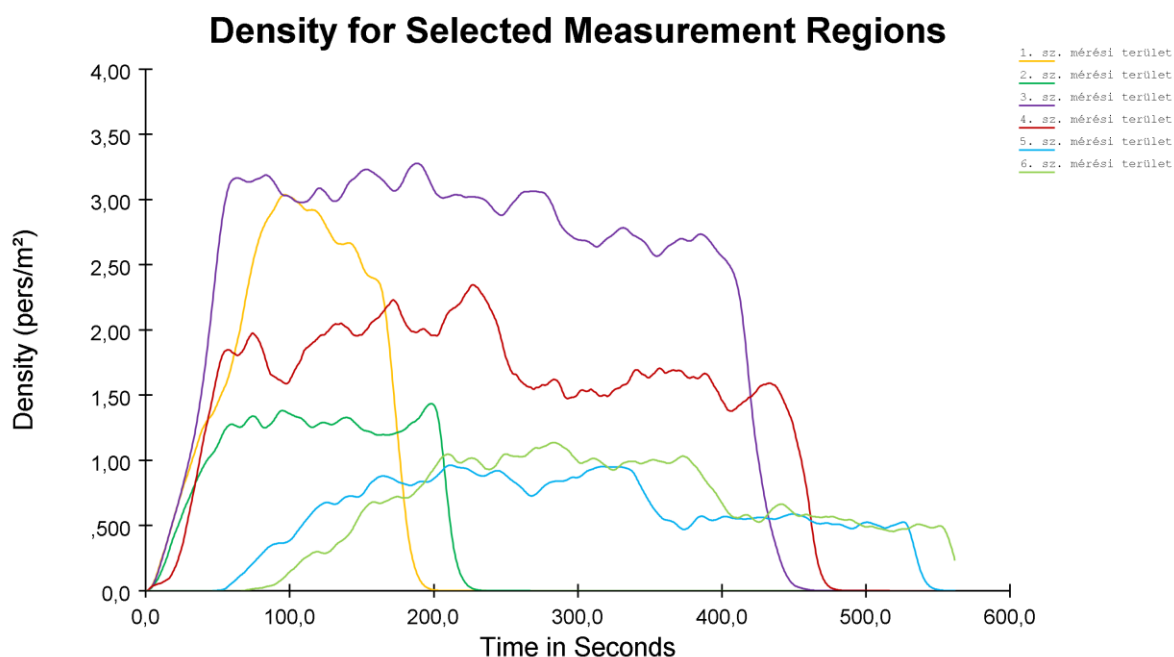


46. ábra A 2. számú szimuláció során a metróállomás kiürítési ideje

3. számú szimuláció futtatásának adatai: A szimuláció futtatásának időtartama 652,7 másodperc volt. A 3. számú szimuláció futtatása során alkalmazott beállításnál a korábbi két szimulációtól eltérően a kiürítéshez az utasok a mozgólépcsőt is használhatták, az összes többi beállítás megegyezett az 1. számú szimuláció során alkalmazott beállítással. A mozgó lépcső sebessége 0,5 m/s értékre lett beállítva.

A 3. számú szimuláció futtatása során kapott eredmények:

A 47. számú ábra diagramja alapján az 1. számú mérési területnél a Fruin skála szerinti létszámsűrűség 24-34 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²), 34-68 másodperc között E szinten ($1,075-2,174$ fő/m²), 68-165 másodperc között F szint fölött ($2,174$ fő/m²), 165-176 másodperc között E szinten ($1,075-2,174$ fő/m²), 176-179 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²) volt. A létszámsűrűség legmagasabb $3,04$ fő/m² értéket 96. másodpercnél érte el.



47. ábra A 3. számú szimuláció során az utasok létszámsűrűségéről készült diagram a hat mérési területről beérkező adatok alapján

A 47. számú ábra diagramja alapján a 2. számú mérési területnél a Fruin skála szerinti létszámsűrűség 30-47 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²), 47-206 másodperc között E szinten ($1,075-2,174$ fő/m²), 206-209 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²) volt. A létszámsűrűség legmagasabb $1,43$ fő/m² értéket 198 másodpercnél érte el.

A 3. számú mérési területnél a Fruin skála szerinti létszámsűrűség 24-32 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²), 32-45 másodperc között E szinten ($1,075-2,174$ fő/m²), 45-414 másodperc között F szint fölött ($2,174$ fő/m²), 414-424 másodperc között E szinten ($1,075-2,174$ fő/m²), 424-429 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²) volt. A létszámsűrűség legmagasabb $3,28$ fő/m² értéket 189. másodpercnél érte el.

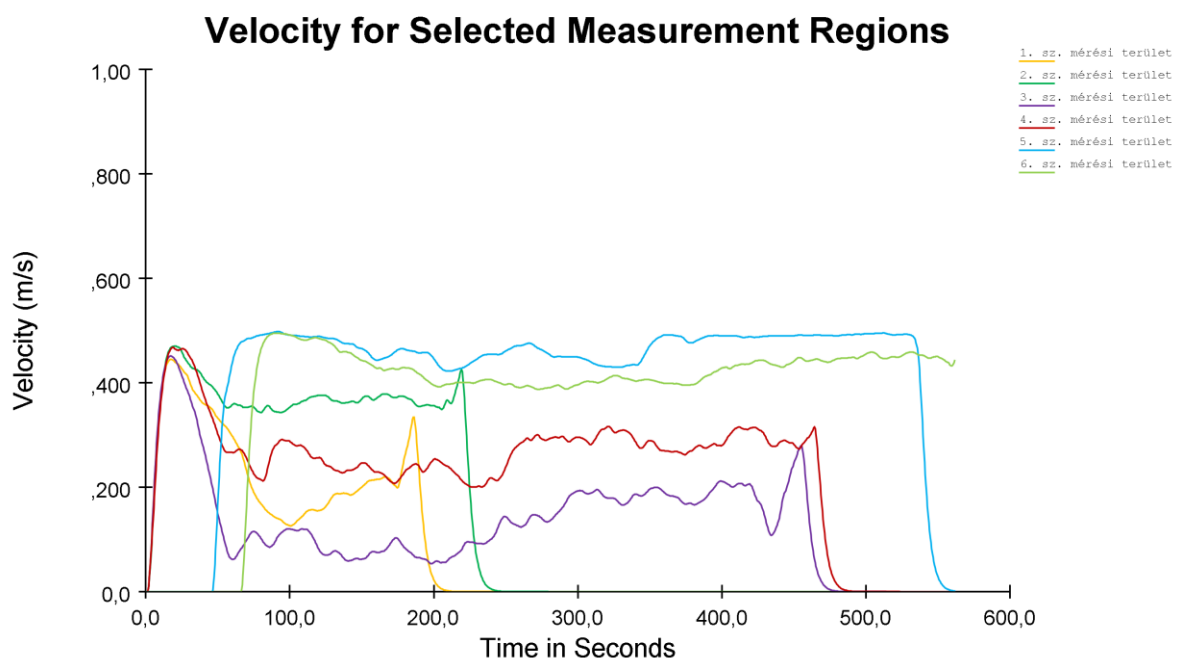
A 4. számú mérési területnél a Fruin skála szerinti létszámsűrűség 32-39 másodperc között D szinten ($0,719-1,075$ fő/m²), 39-167 másodperc között E szinten ($1,075-2,174$ fő/m²), 167-176, 214-239 másodperc között F szint fölött ($2,174$ fő/m²), 176-214, 239-453 másodperc között E

szinten ($1,075\text{--}2,174\text{ fő/m}^2$), 453-460 másodperc között D szinten ($0,719\text{--}1,075\text{ fő/m}^2$) volt. A létszámsűrűség legmagasabb $2,35\text{ fő/m}^2$ értéket 227. másodpercnél érte el.

Az 5. számú mérési területnél a Fruin skála szerinti létszámsűrűség 138-348 másodperc között D szinten ($0,719\text{--}1,075\text{ fő/m}^2$) volt. A létszámsűrűség legmagasabb $0,96\text{ fő/m}^2$ értéket 212. másodpercnél érte el.

Az 6. számú mérési területnél a Fruin skála szerinti létszámsűrűség 172-268 másodperc között D szinten ($0,719\text{--}1,075\text{ fő/m}^2$), 268-292 másodperc között E szinten ($1,075\text{--}2,174\text{ fő/m}^2$), 292-397 másodperc között D szinten ($0,719\text{--}1,075\text{ fő/m}^2$) volt. A létszámsűrűség legmagasabb $1,14\text{ fő/m}^2$ értéket 284. másodpercnél érte el.

A 48. számú ábra diagramja szerint az 1. számú mérési területnél az utasok a legnagyobb $0,44\text{ m/s}$ sebességet 17. másodpercben érik el. A mérési területnél mért sebesség 99. másodpercre lecsökken $0,13\text{ m/s}$ sebességre, ami erről a szintről a 186. másodpercre megnő $0,33\text{ m/s}$ sebességre.



48. ábra A 3. számú szimuláció során az utasok sebességéről készült diagram a hat mérési területről beérkező adatok alapján

A 48. számú ábra diagramja szerint a 2. számú mérési területnél az utasok a legnagyobb $0,47\text{ m/s}$ sebességet 17-23 másodperc között érik el. A mérési területnél mért sebesség 50. másodpercig lecsökken $0,38\text{ m/s}$ sebességre és 50-215 másodperc között a sebesség $0,34\text{--}0,38\text{ m/s}$ között ingadozik.

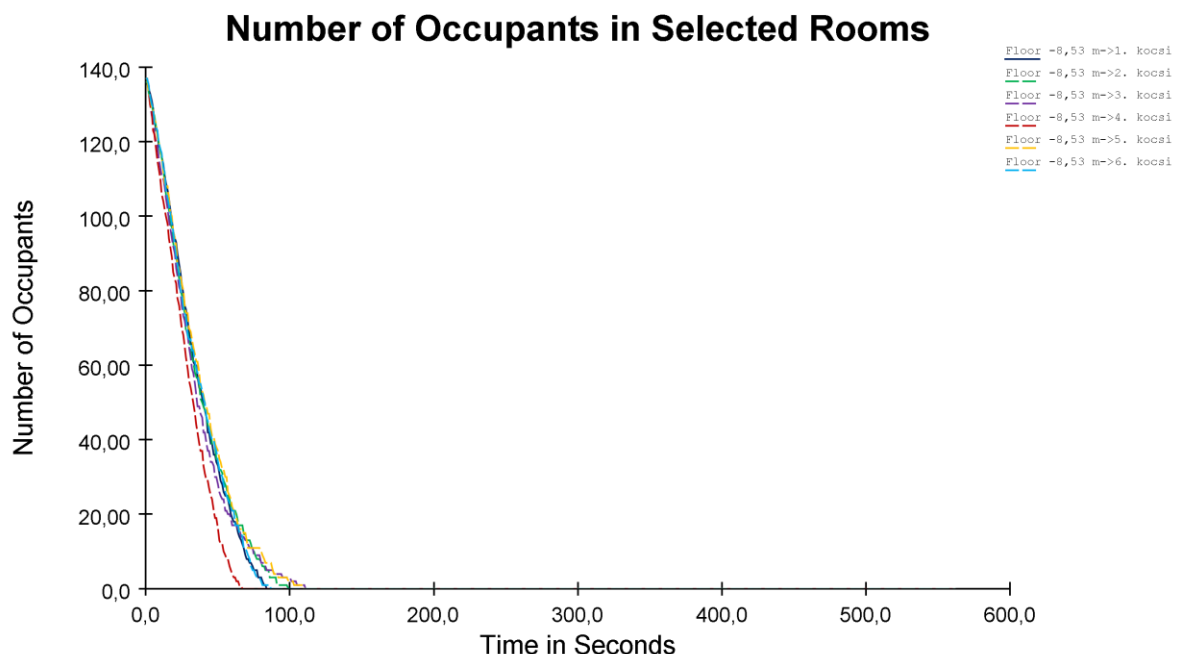
A 3. számú mérési területnél az utasok a legnagyobb 0,45 m/s sebességet 17. másodpercnél érik el. A mérési területnél mért sebesség 59. másodpercig lecsökken 0,06 m/s sebességre és 59-211 másodperc között a sebesség 0,06-0,12 m/s között ingadozik, majd 211-455 másodperc között a sebesség fokozatosan felemelkedik 0,28 m/s értékre.

A 4. számú mérési területnél az utasok a legnagyobb 0,47 m/s sebességet 20. másodpercnél érik el. A mérési területnél mért sebesség 81. másodpercig lecsökken 0,21 m/s sebességre és 81-238 másodperc között a sebesség 0,20-0,29 m/s között ingadozik, ezt követően 238-321 másodperc között a sebesség felemelkedik 0,32 m/s értékre, majd 321-464 másodperc között a sebesség értéke 0,26-0,32 m/s között ingadozik.

Az 5. számú mérési területnél az utasok a legnagyobb 0,5 m/s sebességet 90. másodpercnél érik el. A sebesség 90-537 másodperc között 0,42-0,49 m/s értékek között ingadozik.

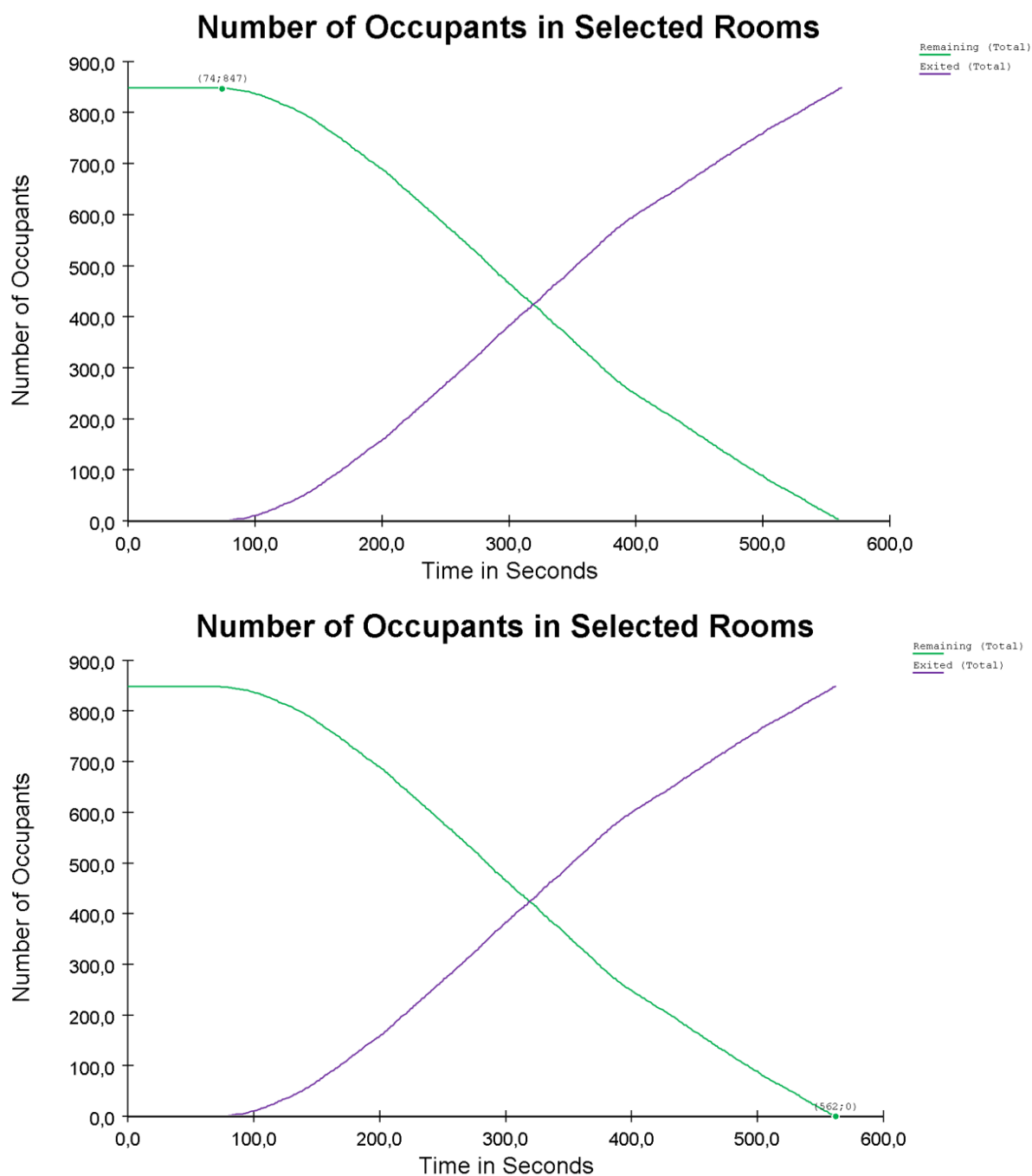
A 6. számú mérési területnél az utasok a legnagyobb 0,49 m/s sebességet 85. másodpercnél érik el. A mérési területnél mért maximális sebesség 202. másodpercig lecsökken 0,39 m/s sebességre. Ezt követően a sebesség 202-562 másodperc között 0,39-0,46 m/s értékek között ingadozik.

Az alábbi 49. számú ábrán látható diagram szerint a metrókocsik kiürítési ideje a jelen szimulációban 67-111 másodperc között változik, az 1. kocs 84 s, a 2. kocs 99 s, a 3. kocs 111 s, a 4. kocs 67 s, az 5. kocs 110 s, a 6. kocs 88 s alatt került kiürítésre.



49. ábra A 3. számú szimuláció során a metrókocsik kiürítési ideje

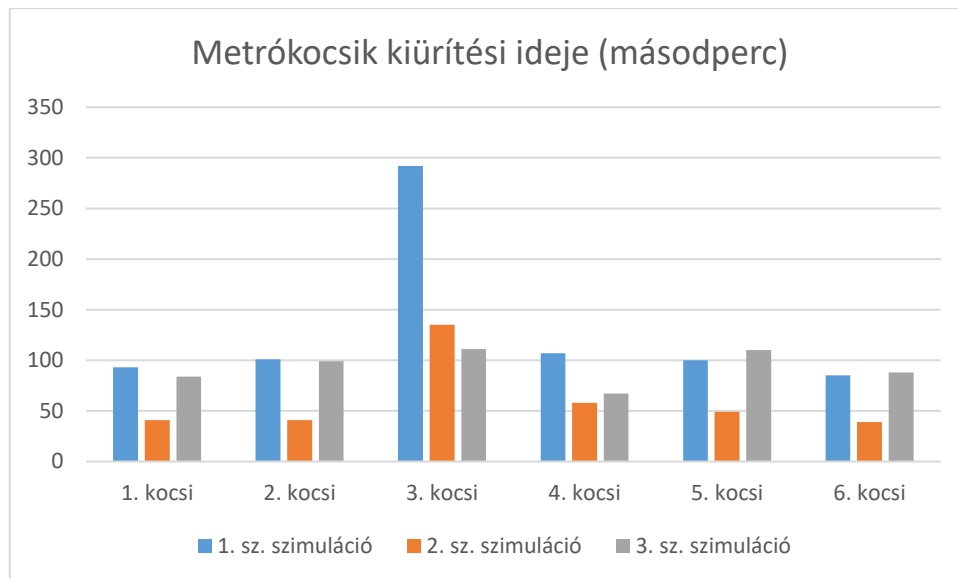
Az 50. számú ábra diagramja szerint, az első utas az állomást 74. másodpercben hagyja el, a metró állomás teljes kiürítése 562 másodpercet (9,37 percet) vesz igénybe.



50. ábra A 3. számú szimuláció során a metróállomás kiürítési ideje

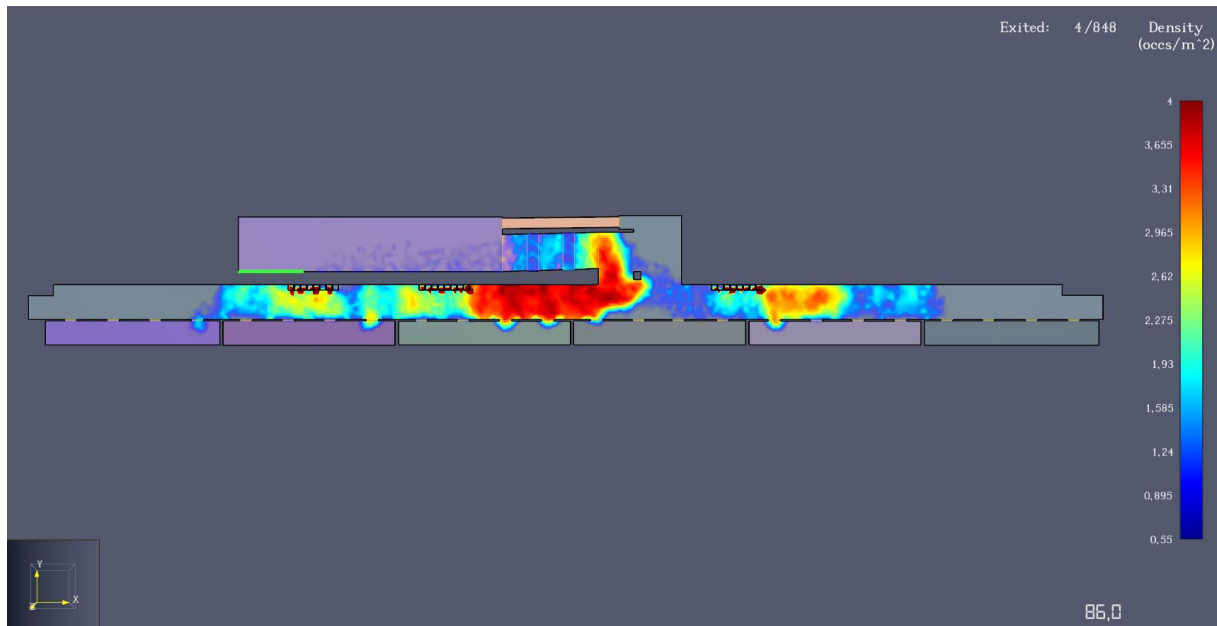
Következtetések: A 41., 45., 49. ábrák diagramja alapján megállapítható, hogy a metrókocsik kiürítési ideje függ a kocsik elhelyezkedésétől. A peronon feltorlódó tömeg jelentősen befolyásolja a metrószerelvény kiürítési idejét. A peron létszámsűrűsége növekedésével nő a metrókocsi kiürítési ideje. A nagyobb létszámsűrűséggel rendelkező

peronrész melletti kocsi kiürítése hosszabb ideig tart, mint a kisebb létszámsűrűséggel rendelkező peronrész melletti kocsi kiürítése. A következő 51. számú ábra diagramja alapján megállapítható, hogy mindhárom szimuláció során a leghosszabb ideig a legnagyobb létszámsűrűséggel rendelkező peronrész melletti 3. kocsi kiürítése tartott.



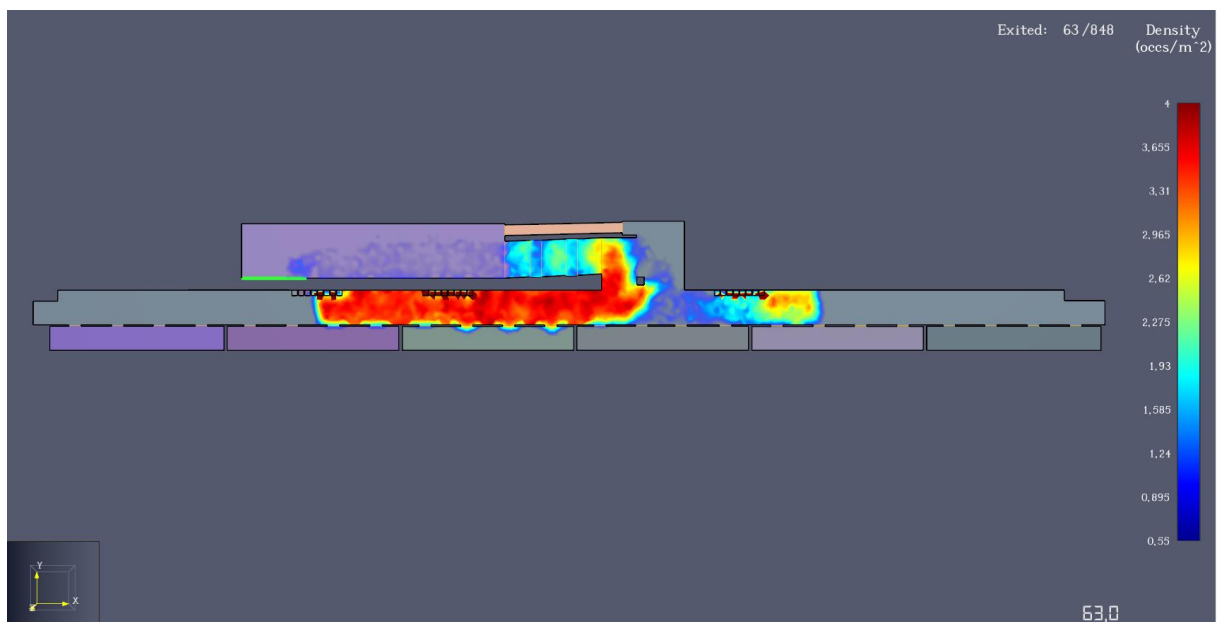
51. ábra Metrókocsik kiürítésének összehasonlítása

Az 52., 53., 54. ábrákon látható, hogy a 3. kocsi olyan peronrész mellett áll, ahol nagy az utasok létszámsűrűsége. A nagy létszámsűrűség következtében mindhárom szimuláció során a 3. kocsi kiürítése tart a leghosszabb ideig. A kocsi kiürítési ideje az 1. számú szimuláció során 292 másodperc, a 2. számú szimuláció során 135 másodperc, a 3. számú szimuláció során 111 másodperc volt. Az 1. számú és 2. számú szimuláció futtatása során a nagy létszámsűrűség miatt el is akad a 3. kocsi kiürítése. A 41. számú ábrán látható, hogy az 1. számú szimuláció futtatása során a 3. kocsi kiürítése 86. másodpercben elakad, amikor a kocsi melletti peronrészen (52. ábra) a létszámsűrűség a $3,5 \text{ fő/m}^2$ értéket megközelíti és a kocsi kiürítése csak a létszámsűrűség csökkenését követően 238. másodpercnél indul újra.



52. ábra Létszámsűrűség az 1. számú szimuláció futtatása során a 3. kocs kiürítése 86. másodpercben történt elakadása időpontjában

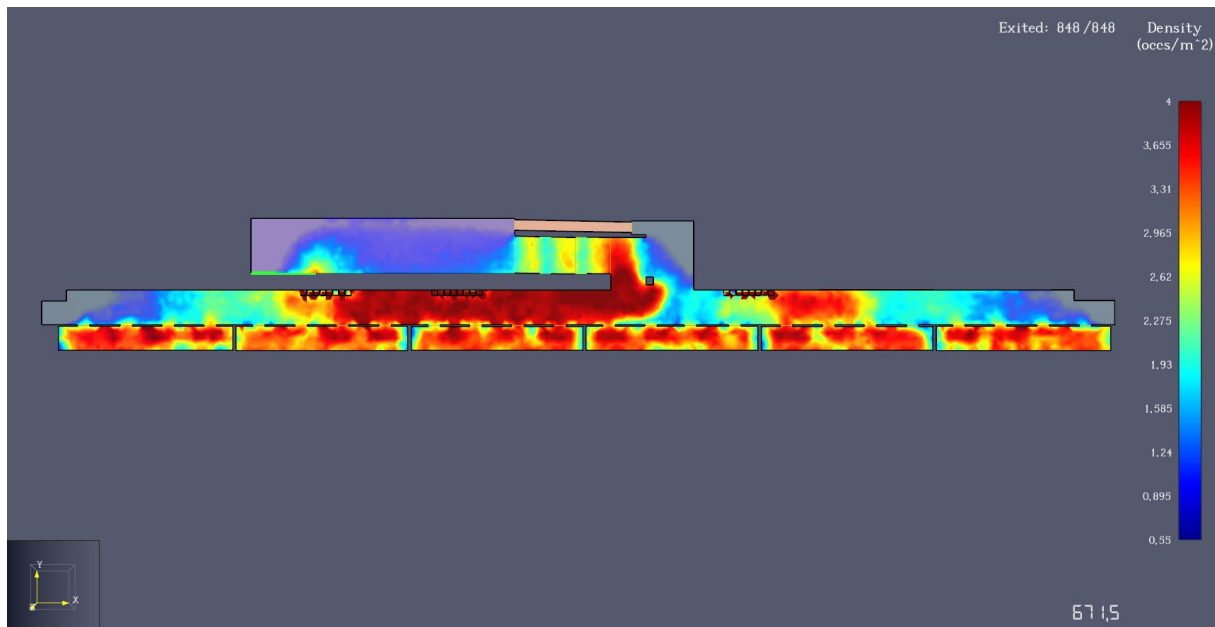
A 45. számú ábrán látható, hogy a 2. számú szimuláció futtatása során a 3. kocs kiürítése a 63. másodpercben elakad, amikor a kocs melletti peronrészén (53. ábra) a létszámsűrűség a $3,45$ fő/m² értéket megközelíti és a kocs kiürítése csak a létszámsűrűség csökkenését követően 122. másodpercnél indul újra.



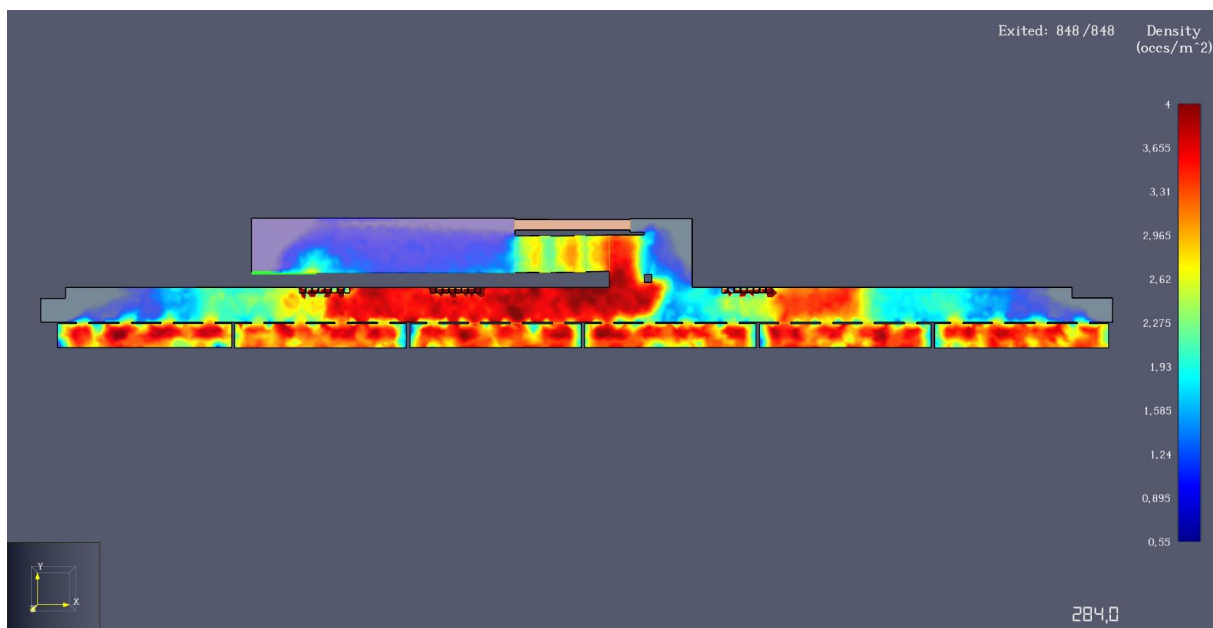
53. ábra Létszámsűrűség a 2. számú szimuláció futtatása során a 3. kocs kiürítése 63. másodpercben történt elakadása időpontjában

A 3. kocs kiürítési ideje a 3. számú szimuláció során a legrövidebb, ami a mozgólépcső elindítása miatt megemelkedett lépcsőátbocsátó képességnek köszönhető. A megemelkedett lépcsőátbocsátó képesség miatt a lépcső előtti területen csökken a létszámsűrűség és a feltorlódott utasok által elfoglalt terület nagysága, a torlódás időintervalluma, aminek hatására a 3. kocs melletti peronrészen is csökken a létszámsűrűség, a feltorlódott tömeg által elfoglalt terület, a torlódás időintervalluma, így a 3. kocs kiürítése nem akad el.

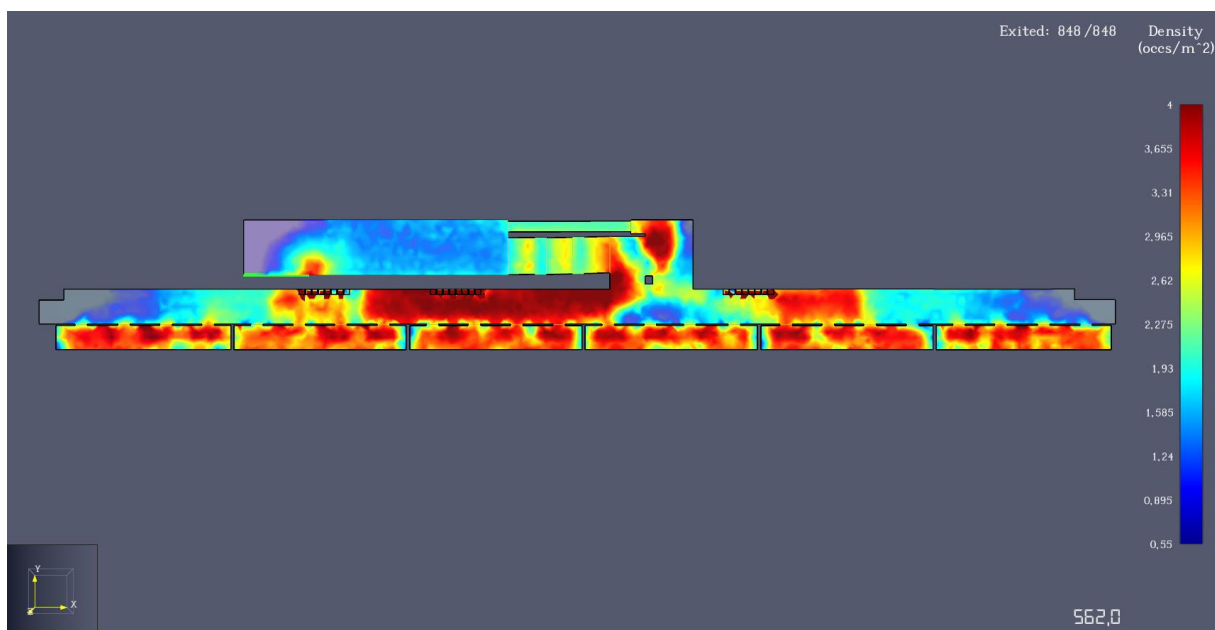
A 38. számú ábrán vázolt módon a metróállomás modellterében elhelyezett 6 darab mérési területről beérkező adatok vizsgálata alapján megállapítható, hogy a kiürítés során a legkritikusabb körülmények a 3. és 4. számú mérési területnél alakultak ki, ahol az utasok feltorlódása következtében az 54., 55., 56. számú ábra szerint jelentősen megnő a létszámsűrűség, lecsökken a járási sebesség, romlik a komfortérzet és a magas létszámsűrűség miatt megemelkedik a sérülésveszély.



54. ábra Maximális létszámsűrűség az 1. számú szimuláció futtatása során



55. ábra Maximális létszámsűrűség a 2. számú szimuláció futtatása során



56. ábra Maximális létszámsűrűség a 3. számú szimuláció futtatása során

Az 1. számú szimuláció futtatása során kapott 671,53 másodperc (11,19 perc) kiürítési idő 44 %-al több a kézi számolással kapott 376,2 másodperc (6,27 perc) kiürítési időnél. A szimulációval megkapott kiürítési idő jelentősen meghaladja az OTSZ 119. § (3) bekezdése által előírt 10 perces kiürítési normaidőt.

$$\varepsilon = \frac{t_{1.\text{szimulált}} - t_{\text{számított}}}{t_{1.\text{szimulált}}} \times 100\% \quad \varepsilon = \frac{671,53 - 376,2}{671,53} \times 100\% = 43,97\% \sim 44\%$$

Az 1. számú szimuláció és a kézi számolás közötti jelentős eltérés oka, hogy a 3. számú és 4. számú mérési területnél a szűk keresztmetszet miatt nagyon feltorlódik a tömeg, megnő a tömegsűrűség, aminek következtében a beállított sebességhez képest a torlódás idejére a nagy létszámsűrűség miatt jelentősen visszaesik a sebesség. A 3. számú mérési területnél az utasok sebessége 77 – 265 másodperc között nem haladja meg 0,01 m/s értéket és 81 – 227 másodperc között kisebb szünetekkel az értéke 0 m/s-ra esik le. A sebesség 227-338 másodperc között 0,18 m/s érték alatt marad, 338-501 másodperc között $\pm 0,02$ m/s eltéréssel 0,18 m/s értéken van, ami jelentősen eltér a szimuláció futtatásához beállított 0,5 m/s sebességtől. A nagy létszámsűrűség miatt a 4. számú mérési területnél is jelentősen alatta marad az utasok járási sebessége a beállított 0,5 m/s sebességnek. Az utasok járási sebessége 87-248 másodperc között 0,12-0,17 m/s között változik.

A 2. számú szimuláció futtatása alkalmával a szoftver alapértelmezett 1,19m/s sebessége alkalmazásával 58%-al nagyobb érték került beállításra, mint az 1. számú szimuláció során, ennek következtében a kiürítési idő a 2. számú szimuláció futtatása során az 1. számú szimulációhoz képest arányosan 58%-al csökkent.

$$\varepsilon = \frac{V_{2.szimuláció} - V_{1.szimuláció}}{V_{2.szimuláció}} \times 100\% \quad \varepsilon = \frac{1,19 - 0,5}{1,19} \times 100\% = 57,98\% \sim 58\%$$

$$\varepsilon = \frac{t_{1.szimuláció} - t_{2.szimuláció}}{t_{1.szimuláció}} \times 100\% \quad \varepsilon = \frac{671,53 - 284}{671,53} \times 100\% = 57,71\% \sim 58\%$$

A 2. számú szimuláció futtatásához beállított 1,19 m/s alapértelmezett sebességgel kapott 284 másodperc (4,73 perc) kiürítési idő 25%-al kevesebb a kézi számolással kapott 376,2 másodperc (6,27 perc) kiürítési időnél. A szimulációval megkapott kiürítési idő az OTSZ 119. § (3) bekezdése által előírt 10 perces kiürítési normaidőn belül van. A kézi számításnál alkalmazott sebességnél 58%-al nagyobb sebességbeállítás a 2. számú szimuláció futtatása során a kiürítési idő csak 25%-al csökken. A sebesség és a kiürítési idő aránytalan változását a nagy létszámsűrűség miatt bekövetkező, a beállított sebességértékhez képest jelentős sebesség esés idézi elő.

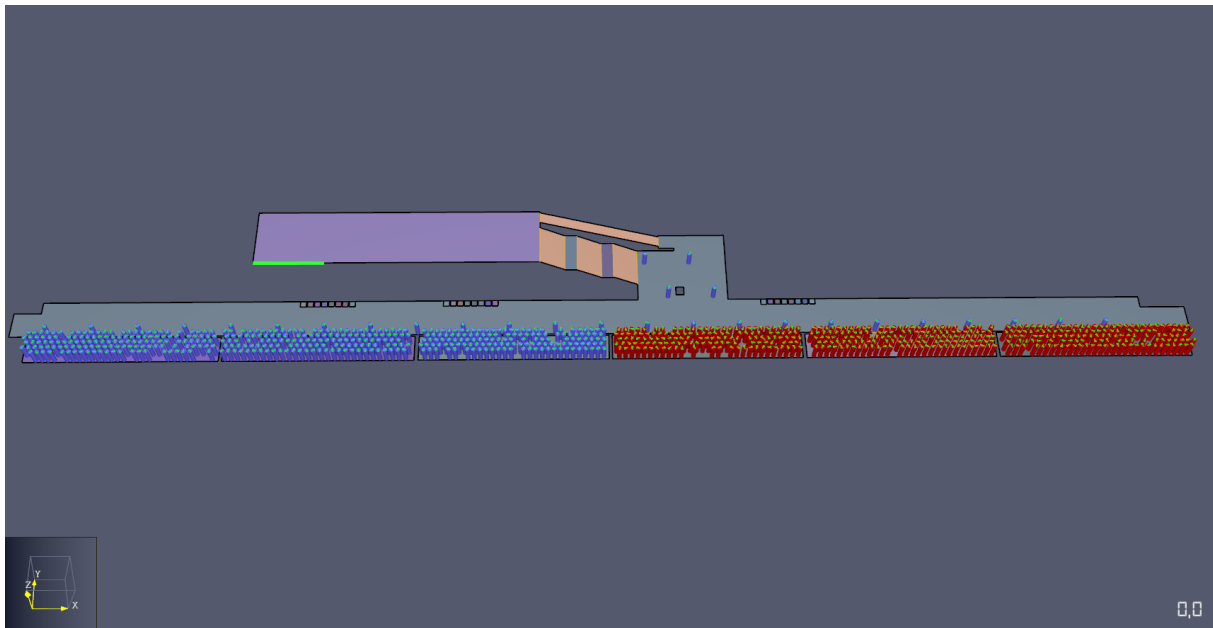
$$\varepsilon = \frac{V_{2.szimuláció} - V_{számított}}{V_{2.szimuláció}} \times 100\% \quad \varepsilon = \frac{1,19 - 0,5}{1,19} \times 100\% = 57,98\% \sim 58\%$$

$$\varepsilon = \frac{t_{számított} - t_{2.szimulált}}{t_{számított}} \times 100\% \quad \varepsilon = \frac{376,2 - 284}{376,2} \times 100\% = 24,51\% \sim 25\%$$

A 3. számú szimuláció során a mozgólépcső kiürítéshez történő igénybevételével kapott 562 másodperc (9,37 perc) kiürítési idő 33%-al több a kézi számolással kapott 376,2 másodperc (6,27 perc) kiürítési időnél. A szimulációval megkapott kiürítési idő az OTSZ 119. § (3) bekezdése által előírt 10 perces kiürítési normaidőn belül van.

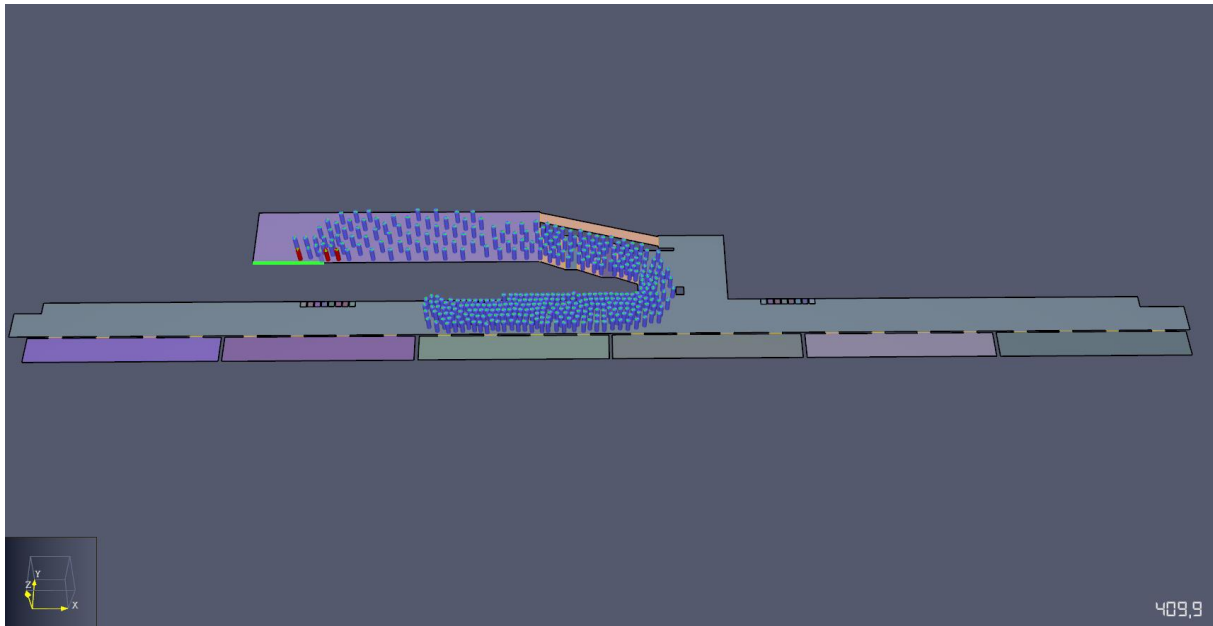
$$\varepsilon = \frac{t_{3.szimulált} - t_{számított}}{t_{3.szimulált}} \times 100\% \quad \varepsilon = \frac{562 - 376,2}{562} \times 100\% = 33,06\% \sim 33\%$$

Az 1. számú, 2. számú és 3. számú szimuláció alapján megállapítható, hogy az állomáson álló metrószerelvény kiürítése során sokkal kedvezőbb helyzetben vannak a hátsó három kocsiában lévő pirosszínű hengerrel ábrázolt utasok az első három kocsi kékszínű hengerrel ábrázolt utasainál (57. számú ábra).



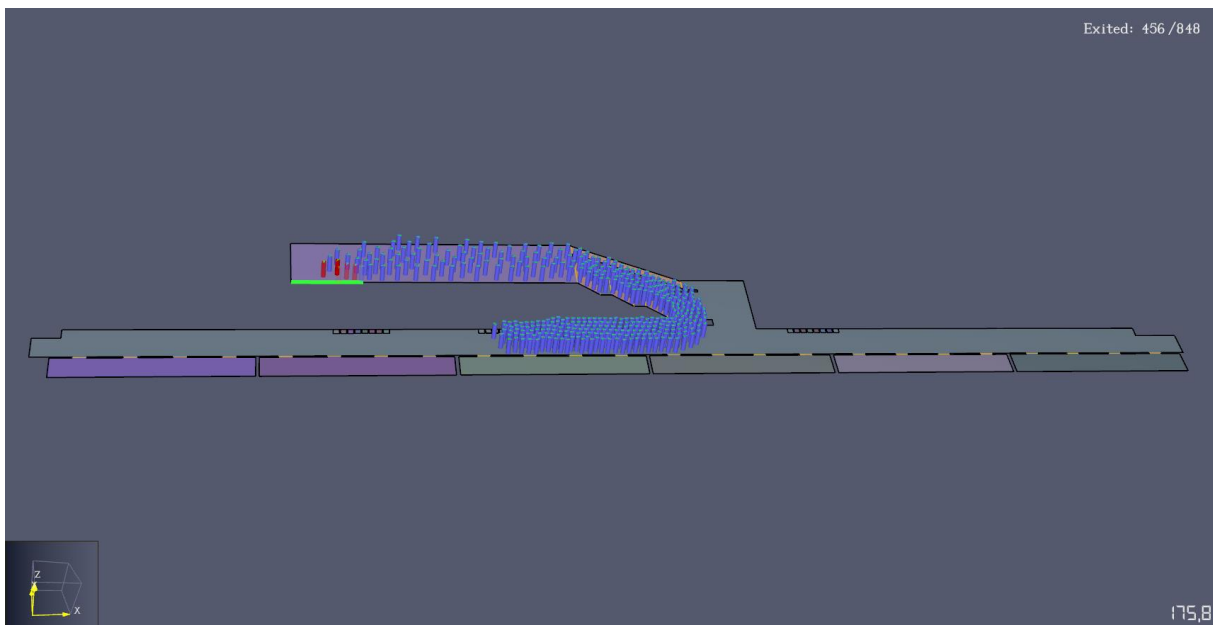
57. ábra Szimuláció kiinduló helyzete a metrókocsikon ábrázolt utasokkal

Az alábbi 58., 59., 60. ábrákon jól látható, hogy a piros hengerrel ábrázolt 3 utolsó kocsi utasai jóval hamarabb elhagyják az állomás területét, mint a kék hengerrel ábrázolt első három kocsi utasai. Az 1. számú szimulációban az 58. ábra szerint a három hátsó kocsi piros hengerrel ábrázolt utolsó utasai az állomás kijáratán 410. másodpercben lépnek ki, miközben az első három kocsi utasai csak 671,53 másodperckor fejezik be az állomás kiürítését.



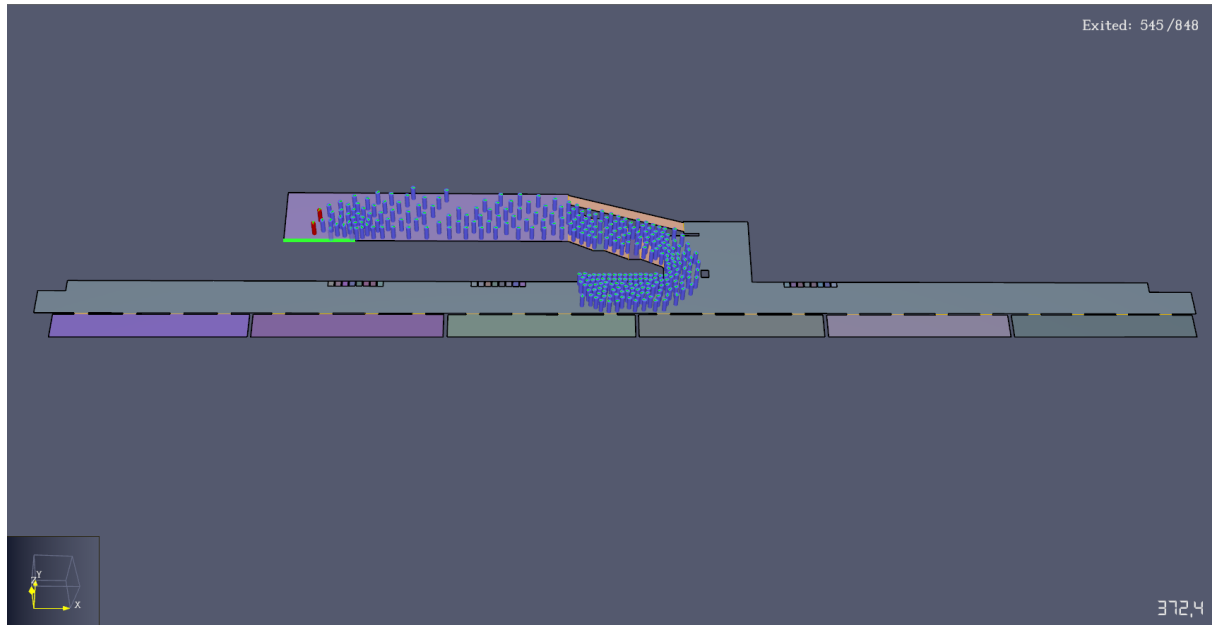
58. ábra Az 1. számú szimuláció 410. másodperce, amikor pirosszínű hengerrel ábrázolt utolsó utasok kilépnek az állomás kijáratán

A 2. számú szimulációban az 59. ábra szerint a három hátsó kocsi piros hengerrel ábrázolt utolsó utasai az állomás kijáratán 176. másodpercben lépnek ki, miközben az első három kocsi utolsó utasai csak 284. másodperckor fejezik be az állomás kiürítését.



59. ábra A 2. számú szimuláció 176. másodperce, amikor a pirosszínű hengerrel ábrázolt utolsó utasok kilépnek az állomás kijáratán

A 3. számú szimulációban a 60. ábra szerint a három hátsó kocsi piros hengerrel ábrázolt utolsó utasai az állomás kijáratán 373. másodpercben lépnek ki, miközben az első három kocsi utolsó utasai csak 562. másodperckor fejezik be az állomás kiürítését.



60. ábra A 3. számú szimuláció 173. másodperce, amikor a pirosszínű hengerrel ábrázolt utolsó utasok kilépnek az állomás kijáratán

A fentiek alapján megállapítható, hogy a kiürítés irányítása során a metróalkalmazottaknak kiemelt figyelmet kell fordítania a lépcső előtti területre és az első peronra a nagy létszámsűrűség miatti sérülés elhárítása érdekében.

A kiürítés szűk keresztmetszete a lépcső, ezt bizonyítja a 3. számú szimuláció is, hisz a kiürítéshez használt lépcső szélességének – mozgólépcső üzembehelyezésével – történő megnövelésével a kiürítési idő 16%-al csökkent.

$$\varepsilon = \frac{t_{1.\text{szimuláció}} - t_{3.\text{szimuláció}}}{t_{1.\text{szimuláció}}} \times 100\% \quad \varepsilon = \frac{671,53 - 562}{671,53} \times 100\% = 16,31\% \sim 16\%$$

A lépcső szélességének vagy számának növelése jó módszer a hatékonyabb kiürítés biztosításának. A fentiek alapján megállapítható, hogy a metróállomások tervezése során kiemelt figyelmet kell fordítani a lépcsők szélességének és/vagy számának növelésére.

A kiürítési terv készítésekor figyelembe kell venni, hogy a metrókocsi kiürítési ideje függ a szerelvényen belüli elhelyezkedésétől.

7.4. Életmentés, tűzoltás

A metró rendszerében a tűz keletkezési helye szerint megkülönböztethetünk aluljáróban, mozgólépcső lejtaknájában, mélyállomáson, alagútban végrehajtandó tűzoltói feladatokat. A tűzvédelmi előírások a tűzoltói beavatkozások gyors és hatékony végrehajtását segítik elő. Az aluljáróban történt tüzesethez II-es kiemelt riasztást rendelnek el. Az aluljáró területén található árusítóhelyeken jelentős mennyiségű éghető anyag található, ezért ezeken a helyeken a magas tűzterhelés miatt gyors tűznövekedéssel kell számolni. Az aluljárókban keletkező tüzek veszélyeztethetik az aluljáróban valamint a mélyállomáson lévő személyeket. A felderítés során a tűzoltás vezetőjének figyelemmel kell lennie a füst terjedési irányára és nagyságára. Amennyiben a füst eléri a metróállomást, akkor végre kell hajtani az állomás evakuálását a vészkijáratok igénybevételeivel vagy másik füstmentes állomásra történő átszállítással, és el kell rendelni az állomás lezárását. A füst irányítása és eltávolítása a tűzoltóságnál rendszeresített ventilátorok alkalmazásának segítségével hajtható végre. Az oltás során használt sugarakat a felszínről szerelt alapvezetékekről lehet biztosítani [BÉRCZI L, 2014].

Mozgólépcsőtűz esetén a mélyállomáson tartózkodók kiürítési útvonala kerül veszélybe, emiatt legalább III-as kiemelt riasztás kerül elrendelésre. A tűzoltóknak nagy kiterjedésű tüzzel kell számolni, hisz a mozgólépcső éghető anyagot is tartalmaz. A tűz gyors növekedését segíti a kéményhatás is. A lejtakna alsó és felső része között meglévő légsűrűség különbség és hőmérséklet különbség miatt a lejtakna alsó részéből erős levegő áramlás alakul ki a lejtakna felső része felé, a felfelé irányuló erős huzathatás miatt a mozgólépcső tűz gyorsan terjed felfelé. Az első tűzoltóegység kiérkezése időpontjában feltehetően már valamennyi mozgólépcsőkar ég. Az életmentést így a mozgólépcső irányában már nem lehet végrehajtani, ezért a peronszint kiürítése csak a szomszédos füstmentes állomás irányába hajtható végre. Ilyen esetben a leggyorsabb kiürítési mód, hogy a szomszédos állomáson kiürített szerelvényeket átküldik a veszélyeztetett állomás peronján tartózkodó személyek kimentésére. A mozgólépcső alsó peronszinti részéhez a tűzoltók is csak a szomszédos állomáson kiürített szerelvényt tudnak eljutni. A peronszinten használt sugarakat a beépített száraz leszálló vezetékről és a fali tűzcsapról lehet szerelni. A sugarak alkalmazása mellett is működtetni kell a mozgólépcső alá telepített fix vízködoltó berendezést és a peronszinten elhelyezett vízköd oltó puskákat. Továbbá fentről célszerű a mozgólépcsőtűzet habbal letakarni. A tűz terjedésének megakadályozása és megfelelő hűtés biztosítása érdekében vízsugarat kell alkalmazni [BÉRCZI L, 2014].

A mélyállomáson bekövetkezett tűz esetén a Központi Forgalmi Menetirányító (KMF) intézkedései jelentősen meghatározzák a beavatkozás sikerességét. A TIK gyors tájékoztatása, majd az állomáson telepített tűzvédelmi berendezésekkel, eszközökkel végrehajtott beavatkozás jelentősen hozzájárulhat a sikeres mentéshez. A metró műszaki ügyeletesének azonnal intézkednie kell, hogy az állomásra érkező utasokat szállító szerelvények megállás nélkül haladjanak tovább és az állomástól még biztonságos távolságban lévő szerelvények közlekedését pedig le kell állítani. A tűz növekedésének a megakadályozása érdekében be kell indítani – ha automatikusan nem indultak el – a fix telepítésű vízködoltó berendezéseket és párhuzamosan alkalmazni kell a kézi tűzoltó készülékeket, a vízködoltó-puskákat. A tűzoltóság a bejelentett mélyállomás tűzhöz IV-es kiemelt riasztást rendel el. Az elsődleges beavatkozás során a peronszinten lévő falitűzcsapokról és a száraz leszálló vezetékről kell sugarat szerelni. Ha további sugarak bevetése is szükségessé válik, akkor lejtaknán keresztül kell még további sugarakat szerelni. Nagy vízmennyiség felhasználása esetén kalkulálni kell a mélyállomás egyes területei elárasztásával is. Jelentősen megnehezíti a beavatkozást, ha a peronszint alatti üzemi területen keletkezik a tűz, mert a szűk folyosókkal és átjárókkal rendelkező helyen nehéz közlekedni. Megfelelő tartalékállományról is gondoskodni kell, akiknek az elhelyezését, az állomány váltásának gyorsabb végrehajthatósága érdekében, a füsttáron kell kialakítani. Metróalagútban rekedt szerelvénytűz esetén azt kell feltételezni, hogy a járművezető nem képes a szerelvényt a következő biztonságos állomásra vezetni. A KFM az automata tűzátjelzés mellett telefonos összeköttetést is létesíthet a TIK-el a tűzoltóság tűzzel kapcsolatos előzetes tájékozódásának felgyorsítása érdekében. A jelenlegi riasztási rendszer alapján a TIK a kétoldali megközelítés céljából 2-szer IV-es kiemelt riasztási fokozatot rendel el, így legalább 4 teljes raj és a szükséges különleges szerek (oltóanyagot szállító szer, légzőbázis, stb.) vonulnak a tűz által érintett alagút szakasz mindkét végén elhelyezkedő két állomáshoz. Így biztosított a káreset hatékony felszámolása megkezdéséhez szükséges erő és eszköz. Azt is figyelembe kell venni, hogy pánik hatása alatt lévő és menekülő emberek a mentésben résztvevő beavatkozó állomány részére fenntartott, lefelé haladó mozgólépcsőt is igénybe veszik, akadályozva ezzel a beavatkozó állomány kárhelyszínre jutását. A tűzoltásvezető rendelkezésre álló tűzoltó állománnyal légzőkészülékben, mentőálarccal, sugárfelszereléssel és az állomáson lévő hordágyakkal megkezdik az alagútban rekedt jármű megközelítését és a veszélyeztetett területen rekedt emberek mentését. Az életmentés során szükséges sugarak szerelését az alagútban kiépített 100 milliméteres tűzivízvezeték csatlakozási pontjairól tudják végrehajtani. A beavatkozó állomány a rendszeresített duplapalackos sűrített levegős légzőkészülékeket használja a várható hosszabb beavatkozási idő feltételeinek a biztosítása

érdekében. Az életmentés során a tűzoltásvezető intézkedik a száraz leszálló vezeték megtáplálásáról, az alapvezeték megszereléséről az alagútban. Az alapvezeték szerelését követően az életmentéssel párhuzamosan megkezdik a tűz további terjedésének megakadályozását és a tűz oltását. A tűzoltó állományt érő rendkívüli pszichikai, fizikai igénybevétel és az esetlegesen bekövetkező sérülések miatt intézkedni kell a füsttáron megfelelő tartalékállomány biztosítására is. Összességében megállapítható, hogy az alagútban történő beavatkozás során a tűzoltóknak egyidejűleg párhuzamosan több feladatot kell végrehajtani, ezért egy ilyen beavatkozás hatékony és sikeres végrehajtásához nagy erő és sok eszköz alkalmazásával kell számolni [BÉRCZI L, 2014].

A tűzoltók számos kockázatnak vannak kitéve egy földalatti metró-tűz oltása során. Ezek a kockázatok például a légzőkészüléktől a levegőellátás meghibásodásától a hő által károsított alagútmennyezetről lezuhanó betondarabokig és a tűzoltók testhőmérséklete veszélyes szintű megemelkedéséig terjedhetnek. A metró földalatti létesítményeiben végzett mentési műveletek jelentősen eltérnek a föld feletti műveletektől, elsősorban az áttekintés hiánya és a földalatti tüzeknél gyakran előforduló összetettség miatt, valamint hogy nagylétszámú tűzoltóra van szükség az ilyen tüzek leküzdéséhez. Az elhúzódó, órákon át tartó beavatkozás miatt biztosítani kell a tűzoltók váltását. A metró földalatti létesítményei katasztrófaelhárításának egyik legnagyobb problémája az, hogy nincs információ arról, hogy pontosan hol található a tűzhelyszín, mi ég, vannak-e még emberek a rendszerben, hol tartózkodnak. Más műveletekhez hasonlóan fontos meghatározni a megfelelő támadási útvonalat. Az információhiány azonban megnehezítheti ezt a döntést a metró földalatti létesítményeiben végzett műveletek során. Ezen okok miatt nagyon fontos, hogy az M3-as metróüzemeltetője és a tűzoltók folyamatosan kommunikáljanak az üzemeltetési szakaszban, hogy a lehető leghatékonyabb mentési műveletet biztosítsák a legrelevánsabb információkkal és minimális kockázatokkal. A mentési művelet előre megtervezése létfontosságú, hogy a tűzoltók már előre ismerjék a képességeiket és a korlátjaikat.

Az M3-as metróüzemeltető szakemberei megfelelően felkészültek, hogy tájékoztatást adjanak, a műszaki megoldásokról, a lehetséges támadási útvonalakról stb., valamint felhatalmazással rendelkeznek a helyszínen szükséges megfelelő döntések meghozatalára. Elengedhetetlen a mentési műveletek végrehajtási képességének M3-as metróban történő gyakorlása. A megfelelő, hatékony és gyors vészhelyzeti beavatkozás biztosítása érdekében a metróalkalmazottak és tűzoltók rendszeres időközönként közös gyakorlatokat hajtanak végre. A metró üzemeltetője és alkalmazottai valamint a tűzoltók megfelelő felkészültségét a 2011-ben az Árpád-hídnál bekövetkezett tűz hatékony és gyors megfékezése is bizonyította.

Az M3-as metróvonal állomásain tűzjelző érzékelők és kamerák vannak telepítve, így egy esetleges állomáson bekövetkezett tűz esetén a metróalkalmazottak a tűzoltók részére pontos tájékoztatást tudnak adni a tűz helyéről és körülményeiről. A metróalagútban azonban nem kerültek telepítésre tűzjelző érzékelők és kamerák. Ilyen esetben ezért csak a metrószerelvény vezetője tud tájékoztatást adni a tűzről, ha azonban a metróvezető megsérül, elveszíti az eszméletét vagy megszakad a rádiókapcsolat, akkor a tűzről nem tud tájékoztatást adni. Ebben az esetben egy alagútban bekövetkezett tűz esetén a metró alkalmazottak nem tudnak pontos tájékoztatást nyújtani a tűzoltók részére a pontos tűzhelyszínről és a körülményekről, ilyen esetben a tűzoltók csak felderítés végrehajtásával tudnak a beavatkozás és mentés megtervezéséhez szükséges információkhoz hozzájutni.

A tűzoltóknak kellően közel kell menniük a tűzhöz, hogy oltóanyagot tudjanak juttatni az égő területre. Ez elengedhetetlen a kisugárzott hő mennyiségének csökkentése érdekében, hogy közelebb kerülhessenek a járműhöz, és oltóanyag kerülhessen az égő területre. Ha ezt nem tudják megtenni, nem tudják megfékezni a tüzet, vagy fokozatosan csökkenteni a hőleadás sebességét. A tűzoltók tűz közelébe kerülésének fő akadálya a tűzből származó hőszugárzás és az égéstermékek (füst). A füstmentes területen keresztül történő támadási irány fontos kiindulópont a létesítmény üzemeltetője és a tűzoltók közötti megbeszélésekben. Ha lehetőség van rá, akkor törekedni kell a füsttel elárasztott támadási útvonal hosszának csökkentésére. Az M3-as metró párhuzamosan futó mélyalagút rendszerében keletkezett tűz esetén a támadási útvonal csökkenthető, ha a füstmentes alagútból a keresztátjárón közelítik meg a helyszínt, vagy kritikus sebességgel történő hő- és füstelvezetéssel biztosítják a tűz előtti terület füstmentességét. Az M3-as vonalán kiépített hő- és füstelvezető rendszer alkalmas a támadási és mentési irányból a füstelvezetésre. A beépített szellőztető ventilátorok forgás irányának és fordulatszámának változtatásával optimális esetben biztosítható, hogy a támadási és mentési irány füstmentes legyen. Abban az esetben, azonban ha a tűz mindkét oldalán tartózkodnak emberek a hő- és füstelvezető rendszerrel nem tudják a tűz támadási oldalán biztosítani a füstmentességet, hisz a tűz előtti terület füstmentesítése azt eredményezné, hogy a tűz mögött menekülő emberekre ráfújnak a mérgező forró füstöt.

Az alagútban a szellőzés áramlásának erőssége és iránya nagy hatással van a tűz viselkedésére és fejlődésére. Az áramlás befolyásolja a tűz terjedésének kockázatát. Az irány elsősorban a tűz terjedésének irányát befolyásolja, mivel a tűz elsősorban a szellőzés irányába terjed. Mivel a látási viszonyok, a mérgező gázok és a hőmérséklet nagyban befolyásolja a kiürítést és a mentési műveletet is, a szellőztetés szabályozása meghatározó egy művelet kimenetelét illetően. Fontos azonban megérteni, hogy a szellőzés hogyan befolyásolja a tűz

utáni állapotokat, és milyen következményekkel jár ez a tűz és a füst terjedésére, valamint a létesítményben tartózkodókra.

Szellőztetés alkalmazásával, ha viszonylag füstmentes környezetben hátszéllel haladnak a tűzoltók a tűz felé, ez növeli a gyors és biztonságos mentési művelet lehetőségét. A szellőztetés alkalmazását, különösen, ha az a szellőzés irányának megváltoztatásával jár, körültekintően kell alkalmazni, ha fennáll annak a veszélye, hogy a tűz után még mindig tartózkodnak emberek.

A metró földalatti létesítményében végzett műveletek során nagy a veszélye annak, hogy a tűzoltók testhőmérséklete megemelkedik. Ennek oka a gyakran hosszú támadási útvonalak és kemény fizikai munka, de a tűzhez közelebb a magas környezeti hőmérséklet is hozzájárulhat. A hosszú támadási útvonalak hosszú visszavonulási útvonalakat is jelentenek, ami viszont befolyásolja a levegő elfogyásának kockázatát.

Törekedni kell, hogy a tűzoltók a támadást lehetőség szerint füstmentes környezetben hajtsák végre. Ez jelentősen meghosszabbítja a lehetséges működési időt. A támadási útvonalon a füstmentes szakasz hossza növelhető megfelelő hő- és füstelvezető szellőztetés elindításával, vagy a párhuzamosan futó füstmentes alagútból a keresztjárat igénybevétele segítségével is. A hőkamerák fontosak a hatékony mentési művelethez. IR kamera nélkül nagyon nehéz (gyakorlatilag lehetetlen) eligazodni a füsttel teli környezetben. Előnyt jelent, ha a csapat minden tagja rendelkezik hőkamerával. Célszerű, ha az IR kamerát a tűzoltónak nem kézben kell tartania, hanem az be van építve a sisakba.

A tűzoltók fizikai megterhelésének csökkentése érdekében célszerű a felszereléseik szállítására az M3-as metró alagútban sínen guruló kiskocsit használni. A nemzetközi gyakorlatban már elterjedt, hogy a tűzoltók felszerelésének a metróalagútban történő szállítására kiskocsikat használnak. A tűzoltók felszerelésének szállítására használható kiskocsik rendelkezésre állása biztosítására többféle nemzetközi gyakorlat is kialakult. Például a sínen kézzel mozgatható kocsikat a metróalagút falán rögzítik gyorsan kioldható reteszekkel, vagy a metróállomásokon helyeznek el akkumulátor hajtású elektromos kiskocsikat, vagy a tűzoltók riasztáskor magukkal viszik a moduláris elemekből a sínen gyorsan összeszerelhető elektromos kiskocsit.

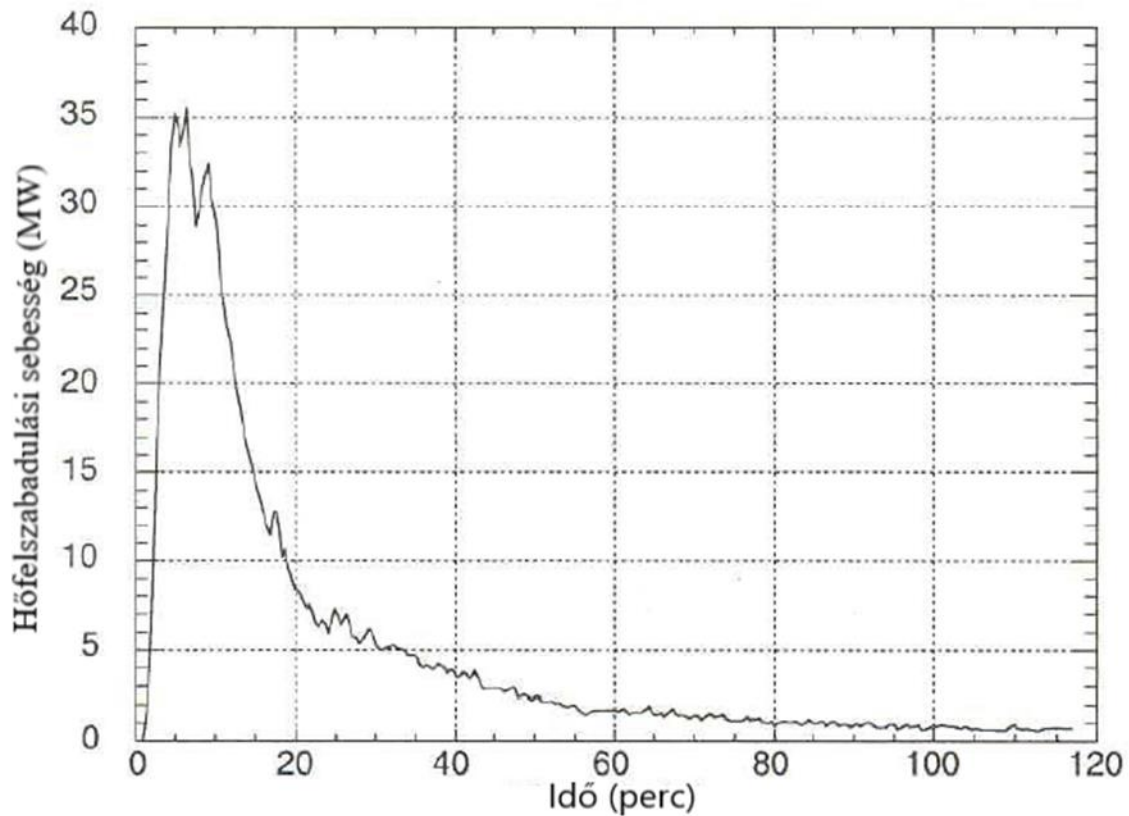
7.4.1. Hő- és füstelvezetési taktika

Az M3-as metró földalatti állomásán keletkezett tűz esetén a telepített tűzjelző érzékelők jelzése alapján a tűzérzékelő központ a tűz elhelyezkedésének a figyelembevételével előre beprogramozott tervnek megfelelően elindítja a hő- és füstelvezető szellőztetést, az evakuálási

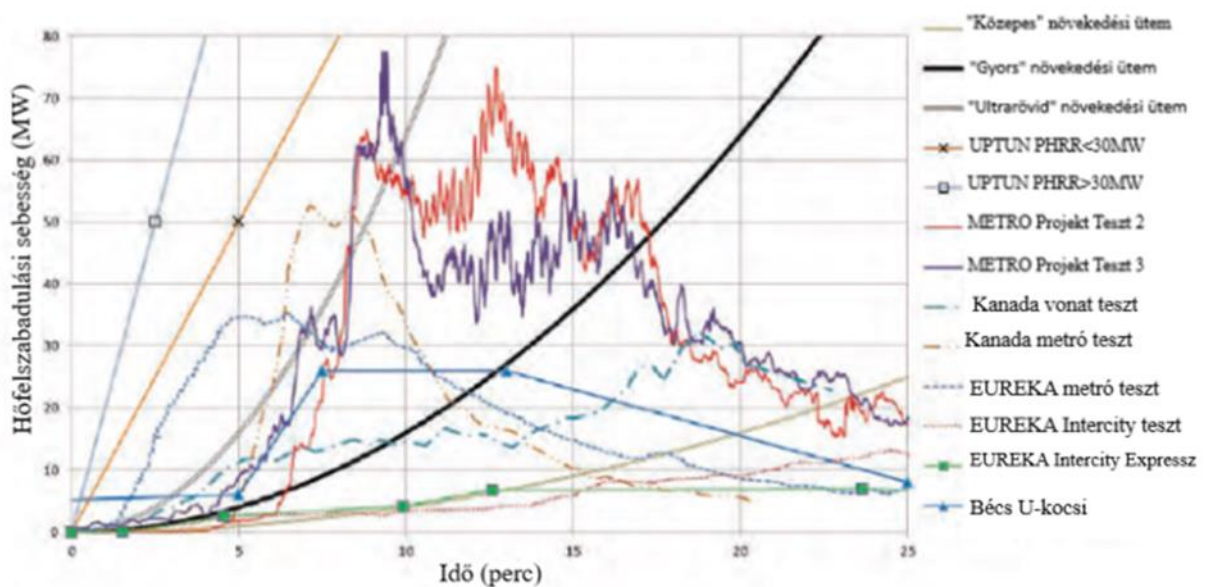
útvonalak füstmentességének biztosítása érdekében. A metróalagútban nem került telepítésre tűzjelző érzékelő rendszer, így egy alagútban rekedt égő metrószerelvénnyel esetén a hő- és füstelvezető szellőztetés nem indul el automatikusan. Alagúttűz esetén a tűzriasztás alapján a tűzoltóságtól a helyszínre kiérkező tűzoltásvezető dönt a hő- és füstelvezető szellőztetés elindításáról. Alagúttűz esetén a legoptimálisabb hő- és füstelvezetési taktika kiválasztásához sok tényezőt kell figyelembe venni és előfordulhat olyan extrém körülmény is, amikor nincs igazán olyan tökéletes taktika, amely biztosítani tudja az ideális körülményeket, az önmentés, mentés és tűzoltás műveleteihez.

A tüzet és annak az alagút környezetére gyakorolt hatásait ellenőrizni kell, jellemzően alagútszellőztetéssel. Mint minden tűz esetében, az alagutakban a tűz viselkedésének megértése magában foglalja az éghető anyag természetének, a tűz által termelt hőfelszabadulásának és eloszlásának, valamint a beáramló levegő és a kiáramló füst mozgásának és kölcsönhatásainak megértését. Az alagútban fellépő járműtüzeket jellemzően nagy hőleadási sebesség, meglehetősen gyors tűzfejlődés és nagyon magas hőmérsékletek jellemzik.

A 61. és 62. ábra szerint az adatok azt mutatják, hogy a tűzviselkedésére jelentős hatással van, hogy történik-e mechanikus hő- és füstelvezetés vagy csak természetes szellőzés van a tűz környezetében. A teljes léptékű tűzkísérletek azt mutatják, hogy általában a 2 m/s-nál nagyobb sebességű gépi szellőztetés során gyors, mindössze 2-5 percig tartó, tűznövekedés volt a 30 MW feletti maximális értékig. Az alacsony áramlási sebességű természetes szellőzést alkalmazó tesztek során lassú 15-25 percig tartó tűznövekedés, a kb.10 MW-os maximum értékig [AGNEW ÉS STACEY, 2014].



61. ábra: HRR-görbe egy metrókocsihoz [INGASON ET AL, 1994]



62. ábra A METRO Program Test 1 és Test 2, EUREKA 499 tesztek, bécsi vizsgálatok és a 2012-es kanadai vizsgálatok mért hőkibocsátási sebességi értékei [AGNEW ÉS STACEY, 2014]

A hő- és füstelvezetés feladata a füstáramlás irányítása, továbbá a füst és a tűz, káros hatásainak enyhítése, a vészhelyzeti reagálás, a kiürítés és a tűzoltási műveletek támogatása érdekében.

Az M3-as metró hő- és füstelvezető rendszerét úgy tervezték, hogy hosszanti áramlást hozzon létre, füstmentes utat teremtve a szellőzés és a füst áramlási iránya szerint a tűz felett. Így az alagútban tartózkodó személyek legalább a szellőzés és a füst áramlási iránya szerint a tűz felett kitudnak menekülni. Az alagút használói azonban kívannak téve a szellőzés és a füst áramlási iránya szerint a tűz alatt áramló hőnek és füstnek. Metró alagutakban az emberek a tűz terjedési irányával szemben vagy áthaladnak a tűzön vagy a füst áramlási irányában menekülnek a metró állomásig. Ebben az esetben a longitudinális szellőztetés jelentősen ronthatja a helyzetet a szellőzés és a füst áramlási iránya szerint a tűz alatt elhelyezkedő emberek számára.

Metróalagúttűz esetén a szellőztetés és a füstelvezetés ésszerű megválasztása létfontosságú szerepet játszik az emberek biztonságos evakuálásában, ezért ésszerű szellőztetési módot kell kialakítani. Ha a tűz a metrószerelvénny első vagy utolsó kocsiján keletkezik, akkor minden utas a tűz ugyanazon oldalán tartózkodik, ilyenkor célszerű a megfelelő irányú és erejű hő- és füstelvezető szellőztetést használni az M3-as metró alagútban rekedt emberek elől a füst elfújására.

Ha a tűz a metrószerelvénny középső kocsiján keletkezik, akkor az utasok a tűz két oldalán helyezkednek el. Az M3-as metró kéreg alatti két vágányú részén történt tűz esetén a viszonylag széles alagút rész miatt elképzelhető, hogy az utasok az égő kocs mellett elhaladva egy oldalra tudnak kerülni a tűzhöz viszonyítva, ebben az esetben is célszerű a megfelelő irányú és erejű hő- és füstelvezető szellőztetés elindítása. Ha a tűz az M3-as metró egyvágányú mélyalagút részen keletkezik, akkor kicsi az esélye, hogy a szűk alagútban az égő kocs mellett elhaladva a tűzhöz viszonyítva azonos oldalra kerüljenek az emberek. Ilyen esetben, ha elindítják a hő- és füstelvezető szellőztetést az azzal a következménnyel jár, hogy a füst áramlási iránya szerint a tűz alatt rekedt utasokra ráfújják a füstöt és az itt tartózkodó embereknek – életveszélyes helyzetbe keveredve – esetleg nem lesz elég idejük az állomáson keresztül elmenekülni. Ilyen esetben az önmentés befejezéséig tehát nem szabad elindítani a hő- és füstelvezető szellőztetést.

7.4.2. Vízellátás a metróban keletkezett tűz esetén és a számításba vehető oltóanyagok

A felújítás előtt az M3-as metróvonalon tűzivízvezeték csak állomásokon volt kiépítve, így alagút tűzoltása csak csáposvízrendszer segítségével történhetett. A metróvonal 2023-ban befejeződött rekonstrukciója során 100 milliméteres új tűzivízvezeték-hálózat került kiépítésre az állomások utasforgalmi és üzemi tereiben valamint a vonalalagút teljes hosszában. Így a tűzoltók az életmentés során szükséges sugarak szerelését a kiépített 100 milliméteres tűzivízvezeték csatlakozási pontjairól tudják végrehajtani. A peronokon tűzcsapok, porral oltó

készülékek, vízköddel oltó puska segíti a tűz oltását. Üzemi terekben tűzcsapok, porral oltó készülékek, az elektromos és biztosító berendezés helyiségekben CO₂ gázzal oltó készülékek segítik a tűz oltását. Az utasforgalmi tűzszakasz területén telepített fali tűzcsapok biztosítják a tűz oltását a teljes területen. Az üzemi tűzszakaszban az átalakítással érintett területen új fali tűzcsapok is kialakításra kerültek. Nem létesült fali tűzcsap azokon a területeken, ahol a víz használata életveszélyt okozhat (pl. elektromos kapcsolóhelyiségek). Ezeken a helyeken helyiségenként 1-1 db., az ott keletkező tűz oltására alkalmas tűzoltó készülék került elhelyezésre. Továbbá az állomások területén nagynyomású fix vízköd oltó berendezés került kiépítésre mozgólépcső alatti térben, peron alatti kábeltérben, a diszpécser helyiségben, az állomási diszpécser szerelvényoszobában, továbbá egy metrószerelvény padlólemeze alatti tűz oltása érdekében a peronok melletti sínek közé is fix vízköd oltó rendszer került telepítésre [BKV tűzvédelmi terv].

A tűzivízvezeték-hálózat alagútban történt kiépítése egy esetleges alagút tűz esetén lerövidíti a tűzoltók beavatkozási idejét és csökkenti fizikai terhelésüket. A tűzoltók fizikai terhelésének csökkentése biztosítja a légzőkészülékek hosszabb idejű használhatóságát és ezzel együtt megnöveli a tűzoltók bevetési idejét, amely a tűz hatékonyabb és gyorsabb eloltását eredményezheti.

7.4.3. Metróban keletkezett tűz esetén beavatkozó tűzoltók kommunikációs lehetőségei

Az egységes digitális rádió-távközlő (EDR) rendszer telepítése Magyarországon 2006-ban valósult meg a rendvédelmi és készenléti szervek együttműködésének támogatása érdekében. Az EDR telepítésére még 2006-ban sor került az észak-déli metróvonal utasforgalmi területein is, az akkori követelményrendszer előírásainak megfelelően. Az utasforgalmi területen kívül az EDR-lefedettség biztosítási szintje nem került előírásra. Az EDR-től függetlenül működő metró URH üzemi rádióhálózatot a BKV telepítette és üzemeltette a metró zavartalan működtetésének támogatása céljából. A rekonstrukció során az M3 metró teljes vonalán kiépítésre került az EDR. Az észak-déli metróvonal rekonstrukciója magában foglalta a metró üzemi kommunikációs hálózatának cseréjét is. Az M3 felújítási munkálatainak az előkészítése alatt az igényfelmérés során kiderült, hogy az üzemi és utasforgalmi területeken a készenléti szolgálatok részére kiépítendő EDR rendszer gazdaságosan használható a BKV üzemi kommunikációjára is. A kommunikációs rendszer közös kialakítása lehetővé teszi, hogy egy esetlegesen bekövetkező vészhelyzet során a katasztrófavédelem, az üzemi személyzet és egyéb készenléti szervezetek egymás között azonnal tudnak közvetlenül kommunikálni, ami megteremti a feltételét a gyors és hatékony beavatkozáshoz. Az EDR hálózat rekonstrukciója

során megvalósult az alagúti sugárzó kábelrendszer és az állomásokon az antenna rendszer kiépítése, állomások közötti kommunikációs optikai kábelrendszer kiépítése, a bázisállomások korszerűsítése, és a BKV operatív kommunikációs rendszer megvalósítása EDR technológiával [BKV ZRT. METRÓ FELÚJÍTÁSI PROJEKT IGAZGATÓSÁG, 2019].

Az EDR rendszer két főle kommunikációs üzemmódban, hálózati (TMO) és közvetlen (DMO) üzemmódban használható. A terminálok képesek trónkölt (TMO) módban, a hálózatot kihasználva cellás mobilhálózatként, kommunikálni egymással. A TMO mód, a rendszer alapértelmezett üzemmódja. A közvetlen (DMO) üzemmód lehetővé teszi a tagállomások számára, hogy a hálózat használata nélkül közvetlenül kommunikáljanak egymással. Az EDR a hagyományos rendszerek legkritikusabb üzemviteli kihívására, a korlátozott kapacitásra megoldást nyújt. Sok helyen az egyes szervezeteknek egyetlen rendelkezésre álló csatornája volt, például egy nagy tűz során a parancsnoki, csoportparancsnoki és egyéb szükséges kommunikáció ugyanazon csatormán folyt, és a beszélők prioritásai sem voltak irányíthatók. A korlátozott kapacitást a digitális technológia a különböző csatorna-hozzáféréssel oldja meg. Az EDR kommunikációs rendszer bevezetése előtt szinte minden komolyabb katasztrófáról szóló jelentésben megemlítették, hogy szükség van a kommunikáció fejlesztésére. A katasztrófák elhárításának sikeressége nagyban függ a kommunikációtól és az alkalmazott kommunikációs eljárásoktól. A katasztrófavédelmi munkatársak működése, valamint az állampolgárok személyes biztonsága is erősen függ a kommunikációtól és a pontos információtovábbítástól (FKI).

A tűzoltóság és az M3-as metró üzemeltetője közötti folyamatos kommunikáció nélkülözhetetlen egy metrótűz esemény hatékony és gyors kezeléséhez. Vészhelyzeti művelet kezdetén általában információ hiány áll fenn, de egy metró földalatti létesítményében keletkezett tűz esetén az információ hiány nagyságrendekkel nagyobb, mint egy földfelszín feletti tűz esetén. A metró földalatti létesítményében keletkezett tűz egyik legnagyobb problémája az, hogy nincs információ arról, hogy mi ég, vannak-e még emberek a rendszerben, hol tartózkodnak. Más műveletekhez hasonlóan fontos meghatározni a megfelelő támadási útvonalat. A metró földalatti létesítményében végzett vészhelyzeti művelet során az információhiány megnehezítheti ezt a döntést. A metró földalatti létesítményében keletkezett tűz esetén nem lehet látni hol található pontosan a tűz és hogyan alakul a helyzet. Az eseménnyel kapcsolatos információk hiánya bizonytalanságot okoz például az incidens helyét, méretét kiszolgáltató személyek számát illetően. Jelentős információhiány áll fenn arról, hogy mi történik, ami megnehezíti a teendők eldöntését. Ennek eredményeként fontos idő vesztethet el. Ezt a szempontot kezelni kell és meg kell oldani. A leghatékonyabb, ha az M3-as metró

üzemeltetője felügyeleti berendezéseket telepít az alagútba, és gondoskodik a megfelelő kommunikációról a tűzoltókkal annak érdekében, hogy az információk szükség esetén rendelkezésre álljanak. Ha nincs fizikai eszköz az információszolgáltatáshoz, a tűzoltóknak maguknak kell megoldani a megfelelő információgyűjtést, ami késleltetheti a hatékony beavatkozást. Nem megfelelő kommunikáció súlyosbíthatja egy metrótűzesemény kimenetelét.

A metróalkalmazottak között, illetve a metróalkalmazottak és a tűzoltók között a vészhelyzeti esemény során mindvégig hatékony kommunikációt kell folytatni. A metróalkalmazottaknak a kiérkező tűzoltók részére pontos tájékoztatást kell adni a tűz körülményeiről. A vészhelyzeti tevékenység befejezésének a végéig folyamatos kommunikációt kell folytatni a beavatkozó állomány között.

A bakui tragédia alatt a vezérlőteremben tartózkodó metró alkalmazottak a nem megfelelő kommunikáció miatt nem voltak tisztában azzal, hogy mi történik a tűz helyszínén, ezért fordulhatott elő, hogy a tűz kitörése után 15 perccel megváltoztatták a szellőztetés irányát, amivel ráfújták a füstöt az utasok nagy többségére, akik a tűz szerelvényen való elhelyezkedése miatt csak a 2 kilométerre lévő metróállomásra tudták végrehajtani az önmentést. Továbbá az elégtelen kommunikáció miatt fordulhatott elő, hogy a Narimanov állomásra kimenekülő nagy létszámú súlyos sérültet nem fogadta senki sem, így a megfelelő ellátásuk megkezdése is súlyos késedelmet szenvedett [ROHLÉN P, WAHLSTRÖM B, 1996].

7.4.4. Javaslatok a Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság eszközállománya fejlesztésére

Az alábbiakban bemutatok néhány a külföldi tűzoltóságok által a metróban történő beavatkozáshoz használt technikai eszközt, amelyek rendszeresítését a FKI-nél is célszerű lenne megfontolni.

A sérült személyek mentéséhez a metróállomásokon rendszeresített hordágyak, a tapasztalatok szerint csak korlátozott számú sérült személy mentésére alkalmasak. Egy sérült személy mentéséhez használt hordágy mozgatásához négy tűzoltóra van szükség, ami valószínűsíti, hogy nem lesz elég tűzoltó, ha egy alagútszakaszban az állomástól 600 méterre bekövetkező tömegkatasztrófa esetén esetleg több száz személy szorul mentésre. Külföldi tűzoltószervezeteknél ezért sok helyen a metróalagútból történő sérült mentéshez sínen kézzel mozgatott vagy akkumulátorral hajtott elektromos motorral üzemelő kis kocsikat alkalmaznak. A frankfurti tűzoltóság a tűzoltók, felszerelések és a sérültek alagútban történő szállítására elektromos meghajtású sínen közlekedő kiskocsit használ. A kocsit négy tűzoltó telepíti, és egy fő üzemelteti vezetőként. A végsebesség 10 és 15 km/h között van a szállítandó rakománytól

függően. A kocsi törőrendszerrel rendelkezik, amit a metróban és a vasúti alagutakban is használnak.



18. kép A kocsi elektromos egysége négy tűzoltó által történő sínre helyezése

[STIEGEL J, 2008]



19. kép A sínre telepített komplett elektromos kiskocsi működés közben

[STIEGEL J, 2008]

A fentiek alapján érdemes volna a metróban történő sérült személyek mentésére hordágy helyett ilyen kiskocsikat rendszeresíteni. Ez az elektromos meghajtású kiskocsi a sérültek szállítása mellett a beavatkozó állomány és a felszereléseik szállítására is alkalmas volna.

A külföldi tűzoltóságok által a metróban történő beavatkozáshoz régóta használt, távirányítható LuF 60 tűzoltó robot lehetővé teszi, hogy az oltó- és mentőcsapatok a legnehezebb körülmények között is közvetlenül a tűzforráshoz hatoljanak. Még egy megfelelően szellőztetett alagúttűz esetén is nehéz lehet a tűzhelyszín megközelítése a tűz erős hősugárzása miatt. Ilyen esetekben hatékonyan használható a LuF 60 tűzoltó robot, amelyet a tűzoltók a tűz közelébe küldhetnek anélkül, hogy a saját testi épségüket veszélyeztetnék. A tűzoltórobot a nagy teljesítményű vízködoltó berendezésével el tudja kezdeni a tűzoltást és a tűz intenzitásának csillapításával később a tűzoltók is elkezdhetik a sugarakkal a tűzoltást.

A LuF 60 robothoz fejlesztett kiegészítő eszközök miatt egy metró tűz során a LuF 60 széles körben felhasználható. A robot hidraulikus szivattyújáról az alábbi kiegészítő eszközök működtethetőek: Rail-Kit, hab cső, 60.000 m³/h teljesítményű kiegészítő ventilátor, 3000 kg teherbírású csörlő, 3 pontos 600 kg teherbírású hidraulikus emelő, a 3-pontos hidraulikára szerelhető tartódoboz, hidraulikus mini daru, hidraulikus targonca, stb.

Szükség esetén a robot legfeljebb 300 méter távolságról is távirányítható. A 140 LE teljesítményű dízelmotorral hajtott hidraulikus szivattyúhoz egyidejűleg 6 db hidraulikus motor csatlakoztatható. A fő sugárventilátor és a kiegészítő ventilátor hidraulikus motorjai is a hidraulikus szivattyútól kapják a meghajtásukat. A fő sugárventilátor által létrehozható maximális légáramlás körülbelül 90.000 m³/h a támaszventilátor által létrehozható maximális légáramlás 60.000 m³/h. Az alapgép felszereltségét képező sugárventilátorba szerelt fűvókák segítségével a robot képes vízköd és hab létrehozására. A gép a vízködöt 60 méter, a habot 35 méter távolságra képes kijuttatni.

A lánctalpas alváz precíz vezetési és fordulási manővereket, nagy stabilitást tesz lehetővé, 30°-nál nem nagyobb emelkedési szöggel rendelkező lépcsőn le tud ereszkedni, illetve fel tud rajta hajtani.



20. kép A LuF 60 robot metró lépcsőn távirányítással történő vezetésének bemutatása
(forrás: LuF GmbH)

A 135 cm széles LuF 60 az M3 metró kéreg alatti metróállomásai lépcsőjén keresztül lejutatható az állomásra, így az állomáson keletkezett tűz eloltásában is hatékonyan képes segíteni a hő- és füstelvezetést és a tűzoltást. A berendezéshez kapható Rail-Kit eszköz segítségével az eszköz az alagútban is bevethető. A Rail-Kit egy moduláris rendszer, amely percek alatt a helyszínen összeszerelhető, és igény szerint vasúti rendszeren vezethető.

A LuF 60 hidraulikus szivattyújához csatlakoztatott hidraulikus motorral meghajtott Rail-Kit távirányítóval vagy közvetlenül az LUF 60 egységre szerelt kézi vezérlőeszközökkel vezethető. A maximális tervezett sebesség teljes terhelés mellett akár 40 km/h. A Rail-Kit használható a LUF 60 fő hordozójaként, tűzoltó- és mentési anyagok szállítóegységeként vagy transzfer egységként emberek mentésére.



21. kép A Rail-Kit egy modulját négy tűzoltó szállítja a lépcsőn
(forrás: LuF GmbH <https://www.youtube.com/watch?v=FZ1sQU0oU-s>)



22. kép A Rail-Kit modulokból történő összeállítása
(forrás: LuF GmbH <https://www.youtube.com/watch?v=FZ1sQU0oU-s>)

A LuF 60 fel tud hajtani a metró állomás peronja melletti sínen a moduláris elemekből összeszerelt és a peron szintjére csörlővel felemelt Rail-Kit platójára.



23. kép A LuF 60 a metróállomás peronjáról ráhajt a mobil elemekből épített Rail-Kitre
(forrás: LuF GmbH <https://www.youtube.com/watch?v=FZ1sQU0oU-s>)



24. kép A LuF 60 a Rail-Kiten történt málházás után
(forrás: LuF GmbH <https://www.youtube.com/watch?v=FZ1sQU0oU-s>)



25. kép A Rail-Kiten lévő LuF 60 metróalagútban működésbehozott vízködoltóval
(forrás: LuF GmbH <https://www.youtube.com/watch?v=FZ1sQU0oU-s>)



26. kép Alagúttűz oltása LuF 60 tűzoltó robottal

<https://www.youtube.com/watch?v=FAu91rQDQKY>

8. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS MÉRNÖKI JAVASLATOK

Az M3 metróvonal tűzvédelmi rendszere rekonstrukciója során kiépített menekülő járda szintje és a szerelvény padlószintje között nagy távolság van. NORÉN A, WINÉR J. [2003] szerint a stockholmi metróban 1999-ben végzett kiürítési kísérletek adatai azt mutatják, hogy a vonat alagútban történő evakuálásának legjobb helyzete, ha egyáltalán nincs függőleges távolság a menekülő járda és a szerelvény padlója között. A függőleges távolság nélkül kétszer akkora volt az utasok áramlása, mint legfeljebb 0,7 m függőleges távolság esetén. Nagyobb függőleges távolságoknál az áramlás még kisebb. Tehát egy alagútban elakadt égő szerelvény evakuálási ideje jelentős rövidítése érdekében célszerű lenne a menekülési járda szintjén annyit emelni, hogy a szintkülönbség legalább 0,7 m alá csökkenjen, hisz egy ilyen korrekció felére csökkenthetné a szerelvény evakuálási idejét. Nem mellesleg a jelenlegi nagy szintkülönbség miatt egy alagútban történő evakuálás során az idősek, rokkantak, kisgyermekek segítség nélkül nem lennének képesek elhagyni az égő szerelvényt, de nyilván a nagy szintkülönbség problémát okozna az egészséges emberek számára is hisz a magasról leugró emberek között valószínűleg komoly sérülések is bekövetkezhetnének, ami tovább hátráltathatná az evakuálás hatékony gyors végrehajtását. Az evakuálási kísérletek során azt is megfigyelték, hogy a füst miatt kialakult rossz látási körülmények között az alagútban evakuálást végrehajtó emberek az alagút oldalfalát tapogatva próbáltak tájékozódni. Tehát az alagútban rossz látási körülmények között történő evakuálás megkönnyítése érdekében célszerű a menekülő járda melletti alagút falra kapaszkodó korlátot is felszerelni, ami hatékonyan támogatná a menekülő személyek érintéssel történő tájékozódását és az evakuálás gyorsítását. Menekülő járda szintjének megemelése csak a metróforgalom leállítása mellett hajtható végre.

A rekonstrukció során nem kerültek beépítésre peronfal ajtók (platform screen doors PSD). A PSD-vel felszerelt peronon az utasoknak több idejük van a peron biztonságos elhagyására, mint a PSD-vel nem rendelkező peronokon tartózkodó személyeknek. A dél-koreai Teguban történt tragikus földalatti baleset rávilágított a földalatti terek tűzvédelmi tervezésének fontosságára. A tragédiát követően a koreai kormány úgy döntött, hogy valamennyi aluljáróban javítja a tűzbiztonságot. A földalatti tűz esetén az életbiztonság javítására irányuló erőfeszítések részeként a több metróvonal közötti átszállást biztosító állomásokon, valamint azokon az állomásokon, amelyek bevásárlóközpontokkal is összeköttetésben vannak peronfal ajtókat telepítettek. A fentiekben leírt tapasztalatok alapján érdemes lehet megfontolni, legalább a Westend bevásárlóközponttal összeköttetéssel rendelkező Nyugati pályaudvar, valamint átszállóállomásként funkcionáló Deák Ferenc és

Kálvin téri állomásokra történő peranfal ajtók beépítését. PSD felszerelése csak a metróforgalom leállítása mellett hajtható végre.

Az USA-ban hatályos NFPA 130 előírja új metróvonal építésénél keresztjáratok 244 m-es intervallumban történő telepítését, ha az állomások közötti távolság meghaladja a 762 m-t és közbenső bejárat nincs telepítve. Az OTSZ 120. § (3) bekezdése is előírja, hogy 300 méterenként tűzgátló építményszerkezetekkel határolt átmeneti védett térbe vagy 300 méterenként közvetlenül a szabadba kell biztosítani a kiürítést, menekítést. Az átmeneti védett térből biztosítani kell közvetlenül a szabadba történő kijutást. Ezeknek a szigorú szabályozásoknak a bevezetésére nyilván azért került sor, mert az elvégzett kísérletek és tapasztalatok azt mutatják, hogyha az alagút vonalszakaszát közrefogó állomások közötti távolság meghaladja a 762 métert, akkor egy az alagút közepén mozgásképtelenné váló égő szerelvényből menekülő személyek túlélési esélyei jelentősen lecsökkennek az állomásig lévő nagy távolság miatt. Az M4-es metró építése során a hatékony evakuálás biztosítása érdekében az OTSZ fent hivatkozott előírásának megfelelően 300 méterenként menekülő keresztjáratokkal kötték össze a párhuzamosan futó alagutakat. Az utasok biztonságának növelése céljából érdemes megfontolni, hogy legalább az igen nagy távolságra elhelyezkedő szomszédos állomások közötti szakaszokon a jövőben kiépítésre kerüljenek a kéregalatti alagút szakaszon a felszínre nyíló vészkijáratok. A mélyalagúti szakaszon jelenleg is találhatók keresztjárók, de ezek felújítására nem került sor, így ezek jelenleg vészkijáratként nem használhatóak. Ezeknek a keresztjáróknak a tűzvédelmi előírásoknak megfelelő felújításával biztosítható keresztjárók vészkijáratként történő használhatósága. Vészkijáratok kiépítése csak a metróforgalom leállítása mellett hajtható végre.

Evakuálási kísérletek és az elmúlt évtizedek alagút tüzei során végrehajtott evakuálások során szerzett tapasztalatok azt mutatják, hogy az alagutakban elhelyezett a menekülési irányokat és távolságokat feltüntető megvilágított táblák nem elég hatékonyan segítik a menekülést. Nagy füstben rossz látási viszonyok között előfordulhat, hogy a menekülő emberek nem látják, hogy a tűz melyik irányban keletkezett és ilyen esetben előfordulhat, hogyha a rövidebb távolságot mutató tábla által jelzett irányban indulnak el, akkor valójában a veszélyes területtől nem eltávolodnak, hanem ellenkezőleg a tűzhöz mennek közelebb. Ennek a súlyos problémának a kezelésére hatékony megoldást kínál, ha az alagútban dinamikus irányfénytáblákat szerelnek fel, amelyek a tűz pontos helyének ismeretében megmutatják az embereknek, hogy melyik irányba kell menekülniük ahhoz, hogy a veszélyzónától eltávolodjanak. Az M3 vonalán a jövőben ilyen dinamikus irányfényjelző eszközök felszerelése

is célszerű lenne. A dinamikus irányfényjelzők felszereléséhez nincs szükség a metró lezárására, hisz ezek a munkálatok az éjszakai üzemszünetek alatt is elvégezhetők.

Az M3-as metróvonalon közlekedő szerelvények elkülönített kocsikból állnak, ami megnehezíti a szerelvény homlok vészkijáratain történő utas evakuálást, hisz a kiürítés megkezdése előtt a vezetőnek kulccsal a szerelvény elejétől a végéig ki kell nyitogatnia a szerelvényeket lezáró összes ajtót. Az elvégzett független szakértői vizsgálatok során a szerelvényeken feltárt esetleges tűzvédelmi hiányosságok miatt érdemes volna végrehajtani egy új teljes körű tűzvédelmi vizsgálatot, amely vizsgálat során lehetőség nyílna megvizsgálni, hogy a korábban megfogalmazott aggályok az ellenőrzés óta megszűntek-e és, hogy más szerelvényeknél nincs-e további hiányosság.

Az észak-déli metróvonal felújítása során az alagút belső felületét nem látták el tűz elleni védelemmel, ezért egy esetleges alagúttűz során előfordulhat, hogy az alagút vasbeton szerkezeti elemei megsérülnek. A hőhatás, amely néhány perc alatt elérheti az 1300 °C-ot, gyorsan károsíthatja az alagút szerkezetét, és az alagút egyes részeinek lepattogzását, beomlását okozhatja [FEHÉRVÁRI S, 2007].

Az alagút szerkezeti elemeinek sérülése a mentésben résztvevők testi épségét veszélyeztetheti továbbá az alagút hónapokra használhatatlanná válhat. Érdemes megfontolni a jövőben az alagút passzív tűzvédellel történő ellátását. A szerkezeti elemek passzív tűzvédelmének legköltséghatékonyabb és leggyorsabb módja az alagút belső felületére cementkötésű szigetelő bevonat felvitele. A szigetelő bevonat elsősorban finom adalékanyagú portlandcementből áll, és 20 mm és 40 mm közötti vastagságban alkalmazhatók. A szükséges vastagság a tervezési tűzterheléstől függ. A bevonat úgy alakítható ki, hogy a szerkezeti burkolat homlokoldalán a hőmérséklet ne haladja meg a 350°C-ot, ami megakadályozza a beton repedezését és a mechanikai tulajdonságainak jelentős megváltozását. Egy ilyen fejlesztés a metró ideiglenes lezárásával jár.

Javaslat a tűzjelző érzékelő rendszer fejlesztésére: Az M3-as metró rekonstrukciója során tűzjelző érzékelőket csak az állomásokon telepítettek, a vonalalagutakban nem került sor tűzjelző érzékelők telepítésére. A metrótűz katasztrófákról készült statisztikák szerint az alagútban keletkező tűz járhat a legsúlyosabb következményekkel. A metróalagutakban keletkezett tűz nehezen hozzáférhető a tűzoltók számára, ezért az itt keletkező kisebb tüzek is katasztrófát okozhatnak. A leghalálosabb metrótűz katasztrófa a Bakuban a metró állomások közötti alagútban keletkezett vonat tűz, amelynek 289 halálos áldozata és 270 sérültje lett. Metróalagútban számos ok miatt keletkezhet tűz. Leggyakrabban a metrószerelvény elektromos hibája miatt keletkezik tűz. Az alagútban lévő sok elektromos berendezés és kábel

meghibásodása is okozhat tüzet. Továbbá kockázatot jelentenek gyúlékony gázok felgyülemzése, földalatti gázszivárgás.

A legmegfelelőbb érzékelő berendezés kiválasztása során figyelembe kell venni a metróalagútban keletkező tűz típusát. Az alagútban keletkező legsúlyosabb tűz a metrószerelvénnyel tűz, ami hőt, füstöt és lángot okoz. Ezek a tüzek többek között hőérzékelővel, füstérzékelővel és CCTV kamerákkal észlelhetők.

Az alagút geometriája, az ívek, távolságok, lejtések, a por és nedvesség jelenléte, a vonatok és a ventilátorok által keltett erős légáramlatok miatt a pont rendszerű érzékelők önmagában történő telepítése nem ajánlott. Ezekből a pontrendszerű érzékelőkből az alagút teljes lefedéséhez nagyon sokra volna szükség. Továbbá a pontrendszerű érzékelők megbízható működését zavarja az alagútban keletkező erős légáramlat is, továbbá a karbantartásuk időigényes és drága.

A lineáris érzékelők jobban megfelelnek nagytávolságokra, mert lehetővé teszi a tűz helyének lokalizálását, távfelügyeletét, a karbantartásuk egyszerű és költséghatékony. A kombinált hőmérsékletérzékelők hatékonyabban érzékelik a tüzet, mint a külön telepített érzékelők, viszont az alagútban keletkező portól meghibásodhatnak. Az optikai füstérzékelők pontos működését megzavarhatja az alagút magas páratartalma és a változó hőmérséklete. Az ionizációs detektorok a legyorsabban reagálnak a füst részecskéire, azonban a poros nedves alagútban nem alkalmazhatóak.

Az aspirációs rendszer képes észlelni a parázsló tüzeket, amelyek minimális hőt termelnek. Az aspirációs rendszerek kiválóan alkalmasak kiterjedt területek felügyeletére, ahol a levegőt folyamatosan szívják egy nyílásokkal ellátott csőrendszeren keresztül és egy kiértékelő műszerbe táplálják. A kiértékelő műszer elemzi a beszívott levegőt és füst észlelése esetén riaszt. Ha az aspirációs rendszer csövei a portól beszennyeződnek, akkor a könnyen hozzáférhető kiértékelő műszernél a rendszerre csatlakoztatható egy sűrített levegős rendszer, amely levegővel gyorsan kifújja a csőrendszerből a szennyeződést. A kiértékelő műszer sűrített levegős csatlakozása sokkal könnyebben elérhető, mint a mennyezetre szerelt sok pontrendszerű érzékelő, így a karbantartása az aspirációs rendszernek jóval gyorsabb és egyszerűbb, mint a pontrendszerű érzékelők karbantartása.

Az ultraibolya lángérzékelők az alagútban gyakran előforduló elektromos szikrázást tévesen tűznek értékelik, ezért gyakran téves riasztást adnak. Az infravörös kamerák a leggyorsabb rendszerek, azonban a metrótüzre jellemző nyílt láng észlelésére csak korlátozottan alkalmasak.

A száloptikai lineáris hődetektor (LHD) a Raman-fényszórási elvet használja a hőmérséklet érzékelésére a kábel mentén, és három típusú észlelési feltétel állítható be, a hőmérséklet-emelkedés sebessége, a maximális hőmérséklet, az átlagos zónahőmérséklettől való maximális eltérés érzékelésére. A vasúti alagutakban a tűz érzékelésére elterjedt érzékelőrendszer a lineáris hőérzékelés alacsony karbantartási igénye, egyszerűsége, hosszú érzékelőkábelek elérhetősége és alagútkörnyezetben való megfelelése miatt. A száloptikás lineáris hőmérsékletérzékelők nagy területet képesek felügyelni és nagy pontossággal határozzák meg a tűz helyét.

A videokamerás detektorok előnyt jelentenek a felügyeleti rendszerrel és a CCTV-vel (Closed Circuit TeleVision) való integráció lehetőségével. A száloptikai rendszer megtalálja a tűz helyét, és a rendszer üzemeltetője a lineáris rendszer riasztása után maga ellenőrzi a hely képét.

A fentiek alapján az M3-as metró alagútba történő telepítésre legalkalmasabb eszköz lineáris optikai érzékelő kombinálva aspirációs érzékelővel vagy lineáris optikai érzékelő kombinálva CCTV kamerarendszerrel. A lineáris és az aspirációs érzékelők legoptimálisabb elhelyezési módja a mennyezeten történő rögzítése, hisz alagút tűz esetén a hő és a füst a mennyezeten koncentrálódik, ezért az itt elhelyezett eszközök hamarabb érzékelhetik a tűz keletkezését, mint egy alacsonyabb elhelyezési mód választása esetén. Az alagút tűz érzékelővel és kamerával történő felszereléséhez nincs szükség a metró lezárására, hisz ezek a munkálatok az éjszakai üzemszünetek alatt is kivitelezhetők.

9. HIVATKOZÁSOK

Szakirodalom

A BKV Zrt. által az M3 metróvonal járműparkjának korszerűsítéssel egybekötött felújítása tárgyban megvalósított projekt független szakértői vizsgálata. A BME VIKING Nonprofit Zrt. megbízásából közreműködő szakértők: Dr. Majorosné Dr. Lublós Éva, Dr. Csiba József, Dr. Popovics László, Németh István, Pfeilmayer Zsolt, Károlyi Gergő és Ferencz Péter

[https://budapest.hu/Documents/M3_szerelvények_szakertoi_vizsgalata/FB%203-3.3.%20sz.%20mell%C3%A9klet%20\(II.%20M%C5%B1szaki%20szak%C3%A9rt%C5%91i%20vizsg%C3%A1lati%20r%C3%A9sz-kieg%C3%A9sz%C3%ADtett\).pdf](https://budapest.hu/Documents/M3_szerelvények_szakertoi_vizsgalata/FB%203-3.3.%20sz.%20mell%C3%A9klet%20(II.%20M%C5%B1szaki%20szak%C3%A9rt%C5%91i%20vizsg%C3%A1lati%20r%C3%A9sz-kieg%C3%A9sz%C3%ADtett).pdf)

AGNEW N., STACEY C. [2014] Recommendations from The METRO Project – Don't Panic! In: Proceedings from the Sixth International Symposium on Tunnel Safety and Security, Marseille, France March 12-14, 2014. (pp. 215-224)

<https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:962805/FULLTEXT01.pdf>

BEARD A., CARVEL R. [2012] The Handbook of Tunnel Fire Safety. Second edition (pp. 89-102, 109-123, 127-146)

BÉRCZI L. [2014] Az extrém körülmények közötti tűzoltói beavatkozások biztonságát növelő eszközrendszer fejlesztések az integrált katasztrófavédelem rendszerében Doktori (PhD) értekezés NKE (pp. 79-87)

https://www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/bercz_laszlo.pdf

BÉRCZI L., ECSETI B [2011] A beavatkozás biztonságának feltételei az M3-as metró területén Védelem 2011. 18. évf. 5. szám (p. 25)

BERGESON B., BILSON M., CONNELL B., MELVIN B., MCQUADE-JONES K. [2020] Fixed fire fighting and emergency ventilation systems for highway tunnels - Literature survey and synthesis. (pp. 61-80)

https://www.fhwa.dot.gov/bridge/tunnel/pubs/nhi09010/fixed_firefighting.pdf

BÍRÓ E, GYÖRÖK B. [2012] Egy metrótüz lehetséges következményei (pp. 1-4)

<http://metroert.hu/sites/default/files/ME%20metrotuz.pdf>

BKV ZRT. METRÓ FELÚJÍTÁSI PROJEKT IGAZGATÓSÁG [2019] M3 metróvonal felújítása – északi szakasz (pp. 40-41, 52)

https://innorail.hu/wp-content/uploads/arch/pdf20191_403.pdf

Budapesti Közlekedési Vállalat Zrt. M3-as metró tűzvédelmi terve (BKV tűzvédelmi terve)

BRINSON A. [2010] Active Fire Protection in Tunnels. In: Proceedings from the Fourth International Symposium on Tunnel Safety and Security, Frankfurt am Main, Germany, March 17-19. 2010. (pp. 47-58)

<https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:962530/FULLTEXT01.pdf>

CHIAM B. [2005] Numerical simulation of a metro train fire. Fire Engineering Research Report. (pp. 10-16)

https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/14388/Boon_Chiam05.pdf?sequence=1

DARAI L. [2012] A metróágazat szerepe a budapesti közlekedésben, metróvonalak vonalvezetése, a budapesti metróvonalak átadása (pp. 4, 8)

<https://docplayer.hu/2249507-A-budapesti-kozossegi-kozlekedes-legfontosabb-jellemzoi-a-metroagazat-szerepe-a-budapesti-kozlekedesben.html>

FEHÉRVÁRI S. [2007] Az alagúttüzek által okozott hőszokk hatása a cementkő reziduális tulajdonságaira (p. 2)

https://www.researchgate.net/publication/237668791_Az_alaguttuzek_altal_ozokott_hosokk_hatasa_a_cementko_rezidualis_tulajdonsagaira

Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság (FKI)

Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság esettanulmány (FKI esettanulmány)

FRIDOLF K. [2010] Fire evacuation in underground transportation systems: a review of accidents and research. (pp. 6-7, 42-46)

<https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/4139600/1776312.pdf>

FRIDOLF K., NILSSON D. [2012] A questionnaire study about fire safety in underground rail transportation systems. (pp. 1-12)

<https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/3432823/2438632.pdf>

FRUIN J. J. [1987] PEDESTRIAN PLANNING AND DESIGN (ELEVATOR WORLD, INC.) (p. 206)

GABAY D. [2004] Compared fire safety features for metro tunnels. In: First International Symposium, Prague 2004. (pp. 149-156)

https://about.ita-aites.org/news/download/368_9069d24552f56c08ea1c5a6221aeb22e

HAACK A. [2008] Active and Passive Fire Protection – which Way should we go? In: Proceedings from the Third International Symposium on Tunnel Safety and Security Stockholm, Sweden, March 12-14 2008 (pp. 43-50)

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962450/FULLTEXT01.pdf>

HADJISOPHOCLEOUS G., LEE DH., PARK WH. [2012] Full-scale Experiments for Heat Release Rate Measurements of Railcar Fires. In: International Symposium on Tunnel Safety and Security, New York, USA, March 14-16, 2012. (pp. 457–466)

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962674/FULLTEXT01.pdf>

HÉRI J. [2017] Metrószerelvények fejlesztése gyakorlati tapasztalatok (pp. 2-3)

<https://docplayer.hu/107827393-Metroszerelvények-fejlesztese-gyakorlati-tapasztalatok.html>

INGASON H. [2006] Fire Testing in Road and Railway Tunnels. In: Apted V (ed) Flammability testing of materials used in construction, transport and mining. Woodhead Publishing (pp 231–274)

https://www.researchgate.net/publication/284215832_Fire_testing_in_road_and_railway_tunnels

INGASON H., GUSTAVSSON S., DAHLBERG M. [1994] Heat Release Rate Measurements in Tunnel Fires, BRANDFORSK Project 723-924." SP Report 1994:08, SP Swedish National Testing and Research Institute. (p. 21)

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:961874/FULLTEXT01.pdf>

INGASON H., LI YZ. [2011] Model scale tunnel fire tests with point extraction ventilation. Journal of Fire Protection Engineering (pp. 5–36)

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962526/FULLTEXT01.pdf>

INGASON H., LI YZ., LÖNNERMARK A. [2015] Tunnel Fire Dynamics. ISBN 978-1-4939-2198-0 (pp. 45-81, 333-353)

<https://www.cppu.edu.cn/jcbjzx/video/hcpyjs/7.3tunnelfiredynamicsP160-1.pdf>

LEUCKER R. [2020] Underground Fire Safety in Germany In: Proceedings from the Ninth International Symposium on Tunnel Safety and Security, Munich, Germany March 11-13, 2020 (pp. 49-63)

<https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1548288/FULLTEXT01.pdf>

LÖNNERMARK A, LINDSTRÖM J, LI YZ, INGASON H, KUMM M. [2012] Large-scale Commuter Train Tests – Results from the METRO Project. In: Proceedings from the Fifth International Symposium on Tunnel Safety and Security (ISTSS 2012), New York, USA, 14–16 March 2012. (pp. 447–456)

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962674/FULLTEXT01.pdf>

NORÉN A, WINÉR J. [2003] Modelling Crowd Evacuation from Road and Train Tunnels - Data and design for faster evacuations. (p. 59)

<https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1688832&fileId=1765602>

Pathfinder User Manual 2023-2

<https://support.thunderheadeng.com/docs/pathfinder/2023-2/user-manual/>

ROHLÉN P, WAHLSTRÖM B. [1996] Tunnelbaneolyckan i Baku, Azerbajjan 28 oktober 1995 (pp. 1-28)

<https://rib.msb.se/bib/Search/RenderDocument?url=media/6872.pdf>

ROH JS., RYOU HS., YOON SW. [2010] The effect of PSD on life safety in subway station fire. In: School of Mechanical Engineering, Chung-Ang University, Seoul, 156-756, Korea GS Engineering and Construction, Seoul, 135-985, Korea (pp. 1-6)

http://www.j-mst.org/On_line/admin/files/13-J2008-10411_937-942_.pdf

STIEGEL J. [2008] Tunnel Incident Management in Frankfurt am Main In: Proceedings from the Third International Symposium on Tunnel Safety and Security Stockholm, Sweden, March 12-14 2008 (p. 311)

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962450/FULLTEXT01.pdf>

UPTUN [2008] Workpackage 2 Fire development and mitigation measures—D253. Summary of Water Based Fire Safety Systems in Road Tunnels and Sub Surface Facilities. (pp. 17-27)

VERES GY. [2018] Mozgásszervi fogyatékkal rendelkező személyeket ellátó intézmények tűz esetén történő kiürítése Doktori (PhD) értekezés Óbudai Egyetem (pp. 95-96)

https://lib.uni-obuda.hu/sites/lib.uni-obuda.hu/files/Veres_Gyorgy_ertekezes.pdf

Won-hwa Hong. [2003] The progress and controlling Situation of Daegu Subway Fire Disaster

https://publications.iafss.org/publications/aofst/6/s-5/view/aofst_6.pdf

YU H., WANG Y., QIU P., CHEN J. [2018] Analysis of natural and man-made accidents happened in subway stations and trains: based on statistics of accident cases. (pp. 1-9)

https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2019/21/matecconf_icfmce2019_01031.pdf

Vonatkozó szabványok

MSZ EN 45545-2:2020

Vasúti alkalmazások. Vasúti járművek tűz elleni védelme. 2. rész: Anyagok és részegységek égési tulajdonságaira vonatkozó követelmények

EN 45545-2 Európai Vasúti Tűzbiztonsági Szabvány

MSZ EN 45545:2013 Vasúti alkalmazások. Vasúti járművek tűz elleni védelme. 1.-7. rész

MSZ EN 50264:2009 Vasúti alkalmazások. Vasúti járművek fokozottan tűzálló erősáramú és jelzőkábelei 1. - 3.2. rész

MSZ EN 50305:2002 Vasúti alkalmazások. Vasúti járművek fokozottan tűzálló kábelei és vezetékei. Vizsgálati módszerek

MSZ EN 50355:2013 Vasúti alkalmazások. Vasúti járművek fokozottan tűzálló kábelei és vezetékei. Használati útmutató

MSZ EN 50553:2013 Vasúti alkalmazások. A menetképesség követelményei a vasúti kocsikon keletkezett tűz esetén

DIN 5510 Megelőző tűzvédelem vasúti járműveken

DIN 4102 1 Anyagok tűzállósági tulajdonságai

MSZ EN 54 sorozat Tűzjelző berendezések

MSZ EN 50136 Riasztórendszerek. Riasztásátviteli rendszerek és berendezések

MSZ EN 60849:2000 Hangrendszerek veszélyhelyzetekhez (IEC 60849:1998)

Jogszabályok

1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról
39/2011. (XI. 15.) BM rendelet a tűzoltóság tűzoltási és műszaki mentési tevékenységének általános szabályairól

54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról

Tűzvédelmi Műszaki Irányelv TvMI 2.5:2022.06.13.

Tűzvédelmi Műszaki Irányelv TvMI 8.5:2022.06.13. – Számítógépes tűz- és füstterjedési, valamint menekülési szimuláció.

MELLÉKLETEK

A melléklet

Dózsa György úti metróállomás

A.1. Alaprajz



B melléklet

Kiürítési alternatívák ellenőrzése Pathfinder 2023X64 programmal

B.1. 1. számú szimulációs modell forrásfájlja

SUMMARYSUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***

|
Simulation: 1_számu_szimuláció
Version: 2023.2.0816
Mode: Steering
Total Occupants: 848

Completion Times for All Occupants (s):

Min: 73,6 "00840"
Max: 671,3 "00704"
Average: 392,2
StdDev: 162,6

Completion Times by Behavior (s):

Behavior	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
Goto Any Exit	848	73,6	"00840"	671,3	"00704"	392,2	162,6
all behaviors	848	73,6	"00840"	671,3	"00704"	392,2	162,6

Completion Times by Profile (s):

Profile	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
Default	848	73,6	"00840"	671,3	"00704"	392,2	162,6
all profiles	848	73,6	"00840"	671,3	"00704"	392,2	162,6

Travel Distances for All Occupants (m):

Min: 33,9 "00840"
Max: 123,1 "00769"
Average: 74,3
StdDev: 19,3

Movement Distance by Behavior (m):

Behavior	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
Goto Any Exit	848	33,9	"00840"	123,1	"00769"	74,3	19,3
all behaviors	848	33,9	"00840"	123,1	"00769"	74,3	19,3

Movement Distance by Profile (m):

Profile	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
Default	848	33,9	"00840"	123,1	"00769"	74,3	19,3
all profiles	848	33,9	"00840"	123,1	"00769"	74,3	19,3

[Components] All: 71
[Components] Doors: 33
Triangles: 442
Startup Time: 0,8s
CPU Time: 555,9s

Door Flow Rates:

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Last_Out_Name	Total_Use (pers)	Flow_Avg (pers/s)
Stair01 door 1	2,1	576,4	00704	848	1,48
Stair01 door 2	9,6	587,2	00696	848	1,47
Stair04 door 1	0,0	0,0		0	
Stair04 door 2	0,0	0,0		0	
Floor -8,53 m->1/1. sz. ajtó	13,4	32,8	00762	14	0,72
Floor -8,53 m->1/2. sz. ajtó	2,2	46,6	00766	30	0,68
Floor -8,53 m->1/3. sz. ajtó	1,9	65,9	00710	39	0,61
Floor -8,53 m->1/4. sz. ajtó	1,4	92,4	00754	53	0,58
Floor -8,53 m->2/1. sz. ajtó	9,6	30,1	00618	14	0,68
Floor -8,53 m->2/2. sz. ajtó	2,1	58,7	00552	32	0,57
Floor -8,53 m->2/3. sz. ajtó	2,0	76,8	00550	39	0,52
Floor -8,53 m->2/4. sz. ajtó	1,3	98,9	00643	51	0,52
Floor -8,53 m->3/1. sz. ajtó	2,7	37,7	00419	19	0,54
Floor -8,53 m->3/2. sz. ajtó	2,0	56,7	00478	34	0,62
Floor -8,53 m->3/3. sz. ajtó	2,0	286,2	00517	42	0,15
Floor -8,53 m->3/4. sz. ajtó	1,6	291,4	00523	42	0,14
Floor -8,53 m->4/1. sz. ajtó	1,3	106,6	00398	42	0,40
Floor -8,53 m->4/2. sz. ajtó	1,6	62,8	00308	40	0,65
Floor -8,53 m->4/3. sz. ajtó	1,6	51,1	00313	35	0,71
Floor -8,53 m->4/4. sz. ajtó	2,2	35,5	00357	20	0,60
Floor -8,53 m->5/1. sz. ajtó	1,3	99,6	00222	46	0,47
Floor -8,53 m->5/2. sz. ajtó	1,7	91,6	00237	42	0,47
Floor -8,53 m->5/3. sz. ajtó	1,8	62,9	00223	36	0,59
Floor -8,53 m->5/4. sz. ajtó	11,8	37,8	00242	13	0,50
Floor -8,53 m->6/1. sz. ajtó	1,3	84,7	00097	47	0,56
Floor -8,53 m->6/2. sz. ajtó	1,7	70,3	00116	43	0,63
Floor -8,53 m->6/3. sz. ajtó	2,5	56,1	00087	36	0,67
Floor -8,53 m->6/4. sz. ajtó	13,6	28,8	00089	11	0,72
Stair02 door 1	12,1	592,7	00696	848	1,46
Stair02 door 2	19,6	604,2	00704	848	1,45
Stair05 door 1	22,0	607,8	00704	848	1,45
Stair05 door 2	29,6	620,2	00704	848	1,44
Floor -3,94 m->Door26	73,6	671,3	00704	848	1,42

Room Usage:

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Last_Out_Name	Total_Use (pers)
Floor -8,53 m->Peron	0,0	576,4	00704	848
Floor -8,53 m->Stair01	2,1	587,2	00696	848
Floor -8,53 m->Stair04	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->1. kocsi	0,0	92,4	00754	136
Floor -8,53 m->2. kocsi	0,0	98,9	00643	136
Floor -8,53 m->3. kocsi	0,0	291,4	00523	137
Floor -8,53 m->4. kocsi	0,0	106,6	00398	137
Floor -8,53 m->5. kocsi	0,0	99,6	00222	137
Floor -8,53 m->6. kocsi	0,0	84,7	00097	137
Floor -8,53 m->Room30	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room31	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room32	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room33	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room34	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room35	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room36	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room37	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room38	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room39	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room40	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room41	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room42	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room43	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room44	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room45	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room46	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room47	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room48	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room49	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room50	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room51	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room52	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room53	0,0	0,0		0
Floor -7,0 m->Room20	9,6	592,7	00696	848
Floor -7,0 m->Stair02	12,1	604,2	00704	848
Floor -5,47 m->Room21	19,6	607,8	00704	848
Floor -5,47 m->Stair05	22,0	620,2	00704	848
Floor -3,94 m->Kijáráshoz vezető közlekedő	29,6	671,3	00704	848

B.2. 2. számú szimulációs modell forrásfájlja

```

|
***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***

Simulation:      2_számu_szimuláció
Version:         2023.2.0816
Mode:           Steering
Total Occupants: 848

Completion Times for All Occupants (s):
  Min:           31,4 "00840"
  Max:           284,0 "00698"
  Average:       165,9
  StdDev:        68,8

Completion Times by Behavior (s):
  Behavior Count  Min   Min_Name      Max   Max_Name      Avg   StdDev
  Goto Any Exit  848  31,4   "00840"    284,0 "00698"    165,9  68,8
  *all behaviors* 848  31,4   "00840"    284,0 "00698"    165,9  68,8

Completion Times by Profile (s):
  Profile Count  Min   Min_Name      Max   Max_Name      Avg   StdDev
  Default      848  31,4   "00840"    284,0 "00698"    165,9  68,8
  *all profiles* 848  31,4   "00840"    284,0 "00698"    165,9  68,8

Travel Distances for All Occupants (m):
  Min:           33,9 "00840"
  Max:           124,7 "00790"
  Average:       75,1
  StdDev:        19,2

Movement Distance by Behavior (m):
  Behavior Count  Min   Min_Name      Max   Max_Name      Avg   StdDev
  Goto Any Exit  848  33,9   "00840"    124,7 "00790"    75,1  19,2
  *all behaviors* 848  33,9   "00840"    124,7 "00790"    75,1  19,2

Movement Distance by Profile (m):
  Profile Count  Min   Min_Name      Max   Max_Name      Avg   StdDev
  Default      848  33,9   "00840"    124,7 "00790"    75,1  19,2
  *all profiles* 848  33,9   "00840"    124,7 "00790"    75,1  19,2

[Components] All:  71
[Components] Doors: 33
Triangles:        442
Startup Time:     0,6s
CPU Time:         312,9s

```

Door Flow Rates:

	Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Last_Out_Name	Total_Use (pers)	Flow_Avg (pers/s)
	Stair01 door 1	1,2	243,5	00697	848	3,50
	Stair01 door 2	4,3	248,7	00697	848	3,47
	Stair04 door 1	0,0	0,0		0	
	Stair04 door 2	0,0	0,0		0	
Floor -8,53 m->1/1. sz. ajtó		1,8	15,9	00777	21	1,49
Floor -8,53 m->1/2. sz. ajtó		1,4	23,0	00779	30	1,39
Floor -8,53 m->1/3. sz. ajtó		1,3	35,8	00794	40	1,16
Floor -8,53 m->1/4. sz. ajtó		1,0	40,6	00689	45	1,14
Floor -8,53 m->2/1. sz. ajtó		2,0	21,9	00595	24	1,21
Floor -8,53 m->2/2. sz. ajtó		1,2	26,3	00585	29	1,15
Floor -8,53 m->2/3. sz. ajtó		1,2	32,5	00550	34	1,09
Floor -8,53 m->2/4. sz. ajtó		0,8	40,8	00637	49	1,23
Floor -8,53 m->3/1. sz. ajtó		0,9	19,7	00543	22	1,17
Floor -8,53 m->3/2. sz. ajtó		1,6	61,7	00508	33	0,55
Floor -8,53 m->3/3. sz. ajtó		1,5	124,2	00520	40	0,33
Floor -8,53 m->3/4. sz. ajtó		0,9	134,6	00419	42	0,31
Floor -8,53 m->4/1. sz. ajtó		0,9	58,0	00328	35	0,61
Floor -8,53 m->4/2. sz. ajtó		0,9	46,2	00304	46	1,02
Floor -8,53 m->4/3. sz. ajtó		0,8	23,1	00345	31	1,39
Floor -8,53 m->4/4. sz. ajtó		1,7	19,2	00315	25	1,43
Floor -8,53 m->5/1. sz. ajtó		0,9	48,5	00263	42	0,88
Floor -8,53 m->5/2. sz. ajtó		1,2	32,7	00166	38	1,20
Floor -8,53 m->5/3. sz. ajtó		1,4	26,9	00176	35	1,37
Floor -8,53 m->5/4. sz. ajtó		1,4	16,5	00273	22	1,45
Floor -8,53 m->6/1. sz. ajtó		0,8	38,7	00096	44	1,16
Floor -8,53 m->6/2. sz. ajtó		1,1	29,6	00073	38	1,33
Floor -8,53 m->6/3. sz. ajtó		1,5	24,8	00068	31	1,33
Floor -8,53 m->6/4. sz. ajtó		1,1	19,0	00029	24	1,34
	Stair02 door 1	5,4	251,1	00697	848	3,45
	Stair02 door 2	8,6	256,0	00697	848	3,43
	Stair05 door 1	9,6	257,6	00697	848	3,42
	Stair05 door 2	12,8	262,0	00697	848	3,40
Floor -3,94 m->Door26		31,4	284,0	00698	848	3,36

Room Usage:

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Last_Out_Name	Total_Use (pers)
Floor -8,53 m->Peron	0,0	243,5	00697	848
Floor -8,53 m->Stair01	1,2	248,7	00697	848
Floor -8,53 m->Stair04	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->1. kocsi	0,0	40,6	00689	136
Floor -8,53 m->2. kocsi	0,0	40,8	00637	136
Floor -8,53 m->3. kocsi	0,0	134,6	00419	137
Floor -8,53 m->4. kocsi	0,0	58,0	00328	137
Floor -8,53 m->5. kocsi	0,0	48,5	00263	137
Floor -8,53 m->6. kocsi	0,0	38,7	00096	137
Floor -8,53 m->Room30	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room31	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room32	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room33	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room34	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room35	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room36	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room37	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room38	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room39	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room40	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room41	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room42	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room43	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room44	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room45	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room46	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room47	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room48	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room49	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room50	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room51	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room52	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room53	0,0	0,0		0
Floor -7,0 m->Room20	4,3	251,1	00697	848
Floor -7,0 m->Stair02	5,4	256,0	00697	848
Floor -5,47 m->Room21	8,6	257,6	00697	848
Floor -5,47 m->Stair05	9,6	262,0	00697	848
Floor -3,94 m->Kijáráshoz vezető közlekedő	12,8	284,0	00698	848

B.3. 3. számú szimulációs modell forrásfájlja

```
!
***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***
```

```
Simulation:      3_számu_szimuláció
Version:         2023.2.0816
Mode:           Steering
Total Occupants: 848
```

Completion Times for All Occupants (s):

```
Min:      73,6 "00840"
Max:      562,0 "00557"
Average:   324,1
StdDev:    123,8
```

Completion Times by Behavior (s):

Behavior	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
Goto Any Exit	848	73,6	"00840"	562,0	"00557"	324,1	123,8
all behaviors	848	73,6	"00840"	562,0	"00557"	324,1	123,8

Completion Times by Profile (s):

Profile	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
Default	848	73,6	"00840"	562,0	"00557"	324,1	123,8
all profiles	848	73,6	"00840"	562,0	"00557"	324,1	123,8

Travel Distances for All Occupants (m):

```
Min:      33,9 "00840"
Max:      123,6 "00689"
Average:   75,6
StdDev:    19,3
```

Movement Distance by Behavior (m):

Behavior	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
Goto Any Exit	848	33,9	"00840"	123,6	"00689"	75,6	19,3
all behaviors	848	33,9	"00840"	123,6	"00689"	75,6	19,3

Movement Distance by Profile (m):

Profile	Count	Min	Min_Name	Max	Max_Name	Avg	StdDev
Default	848	33,9	"00840"	123,6	"00689"	75,6	19,3
all profiles	848	33,9	"00840"	123,6	"00689"	75,6	19,3

```
[Components] All: 71
[Components] Doors: 33
Triangles: 442
Startup Time: 1,3s
CPU Time: 649,0s
```

Door Flow Rates:

	Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Last_Out_Name	Total_Use (pers)	Flow_Avg (pers/s)
	Stair01 door 1	2,1	463,4	00824	678	1,47
	Stair01 door 2	9,6	476,0	00572	678	1,45
	Stair04 door 1	52,6	286,5	00056	170	0,73
	Stair04 door 2	78,5	312,5	00056	170	0,73
Floor -8,53 m->1/1. sz. ajtó		13,4	32,8	00762	14	0,72
Floor -8,53 m->1/2. sz. ajtó		2,2	52,8	00803	33	0,65
Floor -8,53 m->1/3. sz. ajtó		1,9	71,4	00769	43	0,62
Floor -8,53 m->1/4. sz. ajtó		1,4	83,3	00807	46	0,56
Floor -8,53 m->2/1. sz. ajtó		9,6	30,1	00618	14	0,68
Floor -8,53 m->2/2. sz. ajtó		2,1	63,9	00552	33	0,53
Floor -8,53 m->2/3. sz. ajtó		2,0	82,6	00596	39	0,48
Floor -8,53 m->2/4. sz. ajtó		1,3	98,1	00643	50	0,52
Floor -8,53 m->3/1. sz. ajtó		2,7	37,7	00419	19	0,54
Floor -8,53 m->3/2. sz. ajtó		2,0	52,2	00458	31	0,62
Floor -8,53 m->3/3. sz. ajtó		2,0	82,2	00452	41	0,51
Floor -8,53 m->3/4. sz. ajtó		1,6	110,6	00495	46	0,42
Floor -8,53 m->4/1. sz. ajtó		1,3	66,1	00293	41	0,63
Floor -8,53 m->4/2. sz. ajtó		1,6	60,5	00398	39	0,66
Floor -8,53 m->4/3. sz. ajtó		1,6	51,7	00313	37	0,74
Floor -8,53 m->4/4. sz. ajtó		2,2	35,5	00357	20	0,60
Floor -8,53 m->5/1. sz. ajtó		1,3	109,3	00259	46	0,43
Floor -8,53 m->5/2. sz. ajtó		1,7	91,0	00237	42	0,47
Floor -8,53 m->5/3. sz. ajtó		1,8	61,1	00145	36	0,61
Floor -8,53 m->5/4. sz. ajtó		11,8	37,8	00242	13	0,50
Floor -8,53 m->6/1. sz. ajtó		1,3	86,5	00097	46	0,54
Floor -8,53 m->6/2. sz. ajtó		1,7	72,6	00137	44	0,62
Floor -8,53 m->6/3. sz. ajtó		2,5	56,8	00087	36	0,66
Floor -8,53 m->6/4. sz. ajtó		13,6	28,8	00089	11	0,72
	Stair02 door 1	12,1	481,6	00824	678	1,44
	Stair02 door 2	19,6	493,6	00572	678	1,43
	Stair05 door 1	22,0	496,7	00572	678	1,43
	Stair05 door 2	29,6	507,8	00824	678	1,42
Floor -3,94 m->Door26		73,6	562,0	00557	848	1,74

Room Usage:

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Last_Out_Name	Total_Use (pers)
Floor -8,53 m->Peron	0,0	463,4	00824	848
Floor -8,53 m->Stair01	2,1	476,0	00572	678
Floor -8,53 m->Stair04	52,6	312,5	00056	170
Floor -8,53 m->1. kocsi	0,0	83,3	00807	136
Floor -8,53 m->2. kocsi	0,0	98,1	00643	136
Floor -8,53 m->3. kocsi	0,0	110,6	00495	137
Floor -8,53 m->4. kocsi	0,0	66,1	00293	137
Floor -8,53 m->5. kocsi	0,0	109,3	00259	137
Floor -8,53 m->6. kocsi	0,0	86,5	00097	137
Floor -8,53 m->Room30	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room31	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room32	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room33	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room34	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room35	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room36	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room37	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room38	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room39	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room40	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room41	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room42	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room43	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room44	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room45	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room46	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room47	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room48	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room49	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room50	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room51	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room52	0,0	0,0		0
Floor -8,53 m->Room53	0,0	0,0		0
Floor -7,0 m->Room20	9,6	481,6	00824	678
Floor -7,0 m->Stair02	12,1	493,6	00572	678
Floor -5,47 m->Room21	19,6	496,7	00572	678
Floor -5,47 m->Stair05	22,0	507,8	00824	678
Floor -3,94 m->Kijáráshoz vezető közlekedő	29,6	562,0	00557	848