

Herczeg Gergely,<sup>1</sup> Bérczi László<sup>2</sup>

## Gyermekek és fiatalok szűkítésen keresztüli áramlásának vizsgálata

### Examining Children's and Youth's Flow through a Bottleneck

A gyermekek és a fiatalok menekülőképessége különbözhet a felnőttek menekülőképességétől. A menekülőképesség vizsgálatára a leggyakrabban felnőtt résztvevőkkel kerül sor, azonban fontos lenne tudni, hogy mennyiben tér el a gyermekek és fiatalok menekülőképessége attól, amit a felnőtt populáció adatai alapján határoznak meg. A menekülőképesség egyik tényezője a szűkítések átbocsátókapacitása. Kiürítési számítás során az átbocsátóképességet egyetlen fix értékkel veszi figyelembe a hatályos tűzvédelmi műszaki irányelv, nincs külön érték megállapítva gyermekek és felnőttek vonatkozásában. Az épületben tartózkodó személyek biztonsága függ attól, hogy az épület kiürítése meg tud-e történni addig, amíg a menekülő személyek életfeltételei adottak. A szerzők vizsgálat tárgyává tették a gyermekek menekülőképességét, amit ebben a cikkben foglalnak össze. A tanulmány a menekülőképesség egy aspektusát vizsgálja, amely a szűkítések átbocsátóképessége, jóllehet a menekülőképesség nem csupán ettől függ. A menekülőképesség egyéb tényezőinek vizsgálata további kutatás tárgya lehet. A szerzők e cikkben számolnak be a kutatás során végzett megfigyeléseikről, méréseikről. Bemutatják továbbá a szűkítéseken keresztüli gyalogosáramlásra vonatkozó hazai és nemzetközi szakirodalmat. Ez a kutatás megteremti annak lehetőségét, hogy kiderüljön, érdemes-e eltérő értéket megállapítani a kiürítési számítások során alkalmazandó átbocsátóképességre külön gyermekekre és felnőttekre vonatkozóan, továbbá lehetőséget ad további vizsgálatok megalapozására.

**Kulcsszavak:** gyermekek menekülőképessége, gyalogosáramlás, kiürítés, kiürítési számítás, átbocsátóképesség

<sup>1</sup> Nemzeti Közszerológati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, doktori hallgató, e-mail: [herczeggergely@gmail.com](mailto:herczeggergely@gmail.com)

<sup>2</sup> BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, országos tűzoltósági főfelügyelő, e-mail: [berczi.laszlo@katved.gov.hu](mailto:berczi.laszlo@katved.gov.hu)

Children and adults may have different evacuation capability. Evacuation capability is most often examined with adult participants. However, it would be important to know, how the children's and youth's evacuation capability differs from that determined based on data from adult population. The flow rate is one of the elements of the evacuation capability. During the evacuation calculation, the flow rate is considered with a single fixed value in the current Fire Protection Safety Guideline. There is no different value for children and adults. The safety of people in the building depends on whether the building can be evacuated as long as the living conditions are given inside the building. The author has examined the evacuation capability of children, which is summarised in this article. The author has examined one aspect of evacuation capability, which is the flow rate through a bottleneck. Although evacuation capability does not depend solely on this. Examination of other factors of evacuating capability may be the subject of further research. In this paper the author reports on his observations and measurements during the research and also presents the Hungarian and international literature related with adult's and children's flow rate through a bottleneck. This research provides an opportunity to see if it is worthwhile to establish a separate value for the flow rate through a bottleneck to be used in evacuation calculations for children and adults separately; and it provides an opportunity to substantiate further investigations.

**Keywords:** evacuation capability of children, pedestrian flow, evacuation, evacuation calculation, unit width flow rate

## 1. Bevezetés

A gyermekek és fiatalok menekülőképességének meghatározása módot ad a felnőttekkel mért adatokkal való összehasonlításra. Ezáltal lehetőség nyílik arra, hogy jobban megismerjük a populáció egyes csoportjainak menekülőképességét és pontosabb adatok álljanak rendelkezésre a kiürítési számításhoz. Ebben a cikkben a menekülőképesség több mérhető tényezője közül a szerzők csak a szűkítések átbotcsátóképességét vizsgálták. A menekülőképesség további tényezőinek és a kiürítés komplex rendszere egészének vizsgálata nem volt tárgya e kutatásnak.

Nem tárgya e kutatásnak a kiürítési számításhoz szükséges további adatok (mint például a haladási sebesség) elemzése, az átmeneti védett terek, a kiürítési irányok, a viselkedési és magatartási befolyásoló tényezők vizsgálata. Nem foglalkoznak a szerzők ebben a cikkben az átbotcsátóképesség mérési módszereinek fejlesztésével és egységesítésével sem.

Lehetséges, hogy a gyermekekkel és fiatalokkal vizsgálva a szűkítések átbotcsátóképessége eltér a felnőttekkel mért értéktől. Cél, hogy meghatározzák a szerzők az épületek kiürítési útvonalán lévő szűkítések (mint például ajtók) átbotcsátóképességét önállóan menekülő gyermekek és fiatalok vonatkozásában. A gyermekekkel és fiatalokkal meghatározott átbotcsátóképesség alkalmazása kiterjeszhető más olyan gyalogosáramlási helyzetekre, amelyek során nem épületekből menekülnek személyek, hanem például járművekből vagy a szabadból, akkor, ha az ottani viszonyok nem különböznek lényegesen az épületekben tapasztalható jellegzetességektől.

Az szolgálja az épületekben tartózkodók életének védelmét és biztonságát, ha veszély (például tűz) esetén az épületből biztonságosan ki tudnak menekülni. Az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról szóló 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet állapítja meg a tűzeseti menekülés feltételeinek elvárt biztonsági szintjét, valamint a tűzvédelmi követelmények megvalósításának célját.<sup>3</sup> A tűzvédelmi követelmények egyik célja az életvédelem, amely célhoz hozzátartozik, hogy biztosítva legyen az épületben tartózkodók menekülése, valamint a menekülés során az életfeltételek.<sup>4</sup> Biztosítani kell az épületben tartózkodók részére, hogy menekülés esetén meghatározott időn vagy – geometriai módszer alkalmazása esetén – távolságon belül biztonságba (például a szabadba) jussanak.<sup>5</sup> Az épület kialakítása lehetővé kell tegye, hogy elégséges átbocsátóképességű kijáraton elhagyhassák tartózkodási helyüket a bent tartózkodó személyek a kiürítés első szakaszában.<sup>6</sup> A kiürítési számítás a kiürítés tervezésének egyik megengedett módja.<sup>7</sup> Kiürítési számítással igazolható a kiürítésre előírt normaidők teljesülése.<sup>8</sup> Tűzvédelmi műszaki irányelv tartalmazza a kiürítési számítás leírását és szabályait.<sup>9</sup> Ennek a számításnak része annak meghatározása, hogy a kiürítés során bejárat útvonalon lévő szűkítéseken (például ajtók) hány személy tud a megengedett idő alatt áthaladni. Az irányelvben meghatározott átbocsátóképességet lehet figyelembe venni a számítás során, ennek értéke 41,7 fő/(min·m).<sup>10</sup> Ez az érték az össznépséggé átlagos menekülőképességén alapul, figyelembe véve a csökkent mozgásképességű, de önállóan menekülni képes személyek lassító hatását is.<sup>11</sup> Figyelembe kell venni, hogy az előbbi érték csak önállóan menekülni képes személyek vonatkozásában használható.<sup>12</sup>

Önállóan menekülésre képes személynek tekinti a jogszabály azt, aki önállóan vagy esetleg kiegészítő irányítás mellett képes a menekülésre. Jogszabály szerint menekülésben korlátozott az a személy, aki életkora – 0–10 éves vagy 65 év feletti –, értelmi, vagy fizikai-egészségi állapota alapján nem képes az önálló menekülésre. Az olyan menekülésben korlátozott személy, aki fizikai segítség vagy irányítás mellett képes a menekülésre, segítséggel menekülő személynek tekintendő.<sup>13</sup> A kényszertartózkodás menekülésre gyakorolt hatását jelen kutatás nem vizsgálja.

Tehát a 10 év alatti gyermekek olyan menekülésben korlátozott személyek, akik segítséggel menekülő személynek tekinthetők, ha annak feltételei adottak. A 6–10 év közötti gyermekek segítséggel menekülőnek tekinthetők.<sup>14</sup>

Az átbocsátóképesség definíciója: az egységnyi szabad szélességű szűkítésen egységnyi idő alatt áthaladni képes személyek maximális száma.<sup>15</sup>

A gyalogosáramlást az alábbi alapegyenlettel jellemezhetjük:

<sup>3</sup> 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról.

<sup>4</sup> 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet 5. §.

<sup>5</sup> 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet 6. §.

<sup>6</sup> 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet 51. §.

<sup>7</sup> 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról 52. §.

<sup>8</sup> 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról 63. §.

<sup>9</sup> TvMI 2.3:2020.01.22. Tűzvédelmi Műszaki Irányelv – Kiürítés.

<sup>10</sup> TvMI 2.3:2020.01.22. 6.3.8.2.

<sup>11</sup> TvMI 2.3:2020.01.22. 6.1.5.

<sup>12</sup> TvMI 2.3:2020.01.22. 6.1.6.

<sup>13</sup> 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról 4. §.

<sup>14</sup> TvMI 14.1:2020.01.22 3.4.2. c) Tűzvédelmi Műszaki Irányelv – Kockázati osztályba sorolás.

<sup>15</sup> TvMI 2.3:2020.01.22. 2.2.1.

$$q = v \cdot d, \text{ ahol}$$

$q$  az átbocsátóképesség [fő/(s·m)];  
 $v$  az áramlás sebessége [m/s];  
 $d$  a létszámsűrűség [fő/m<sup>2</sup>].<sup>16</sup>

A kiürítési útvonalon elhelyezett szűkítések egyik oldalán nagyobb létszámsűrűség adódik, míg a másik oldalán kisebb a létszámsűrűség, mivel a továbbhaladás nagyobb keresztmetszeten lehetséges; ez a szűkítések torlasztó hatása.

A szűkítések átbocsátóképességével, gyalogosáramlást befolyásoló hatásával több kutatás is foglalkozott. Beljajev vezette az Orosz Művészeti Akadémia Építészeti Kutatóintézete kutatását, amelyben több mint 200 mérés alapján határozták meg a kiürítési számításhoz használt szabványosított adatokat és a számítás rendszerét.<sup>17</sup> Az adatokat 1938-ban publikálták, ezáltal ez az egyik legrégebbi forrás, ami a szűkítések átbocsátóképességével foglalkozik. Az előbbi kutatásban 25–50 fő haladt át egy 0,6 m szélességű kijáraton percenként. A legkedvezőtlenebb 25 fő/min érték alkalmazását javasolták, mivel az értékek jelentős szórást mutattak.<sup>18</sup> Ezen érték alkalmazását Magyarországon 30 évvel az adat publikálását követően, 1968-ban vezették be, amely kerekítve 41,7 fő/(min·m), és mind a mai napig ez az irányelvben rögzített érték a kiürítési számításhoz.<sup>19</sup>

Korábbi kutatásaikban a szerzők megállapították, hogy a kiürítési számításhoz alkalmazott átbocsátóképesség által meghatározottnál nagyobb átbocsátás is lehetséges kijáratokon.<sup>20</sup>

Elég sok kutatásban foglalkoztak már az átbocsátóképesség meghatározásával, de ezek közül kevés az, amely gyermekek bevonásával vagy kizárólag gyermekekkel történt vizsgálatokon alapul.

A jellemzően kisebb testméretekkel rendelkező 3–5 éves gyermekekkel végzett kísérletek során lineáris összefüggést találtak az áramlás erőssége és a szűkítés szélessége között:

$$J = 5,11x - 0,95, \text{ ahol}$$

$J$  az áramlás erőssége [fő/s];  
 $x$  az ajtó szabad szélessége [m].<sup>21</sup>

2018-ban publikált chilei kísérletek során 1,45–3,24 fő/(s·m) (87–194,4 fő/[min·m]) átbocsátóképességet mértek kijárat ajtókon, 3–18 éves tanulók vegyes csoportján.<sup>22</sup>

<sup>16</sup> Peter Thompson et al.: *Evacuation Models are Running Out of Time*. *Fire Safety Journal*, 78. (2015), 252.

<sup>17</sup> Sz. V. Beljajev: *Evakuacija zdanyij masszovovo naznacsenyija*. Moszkva, Izdatyelsztvo Vseszozjujnoj Akagyemii Arhityekturi, 1938. 3.

<sup>18</sup> Sz. V. Beljajev: *Evakuacija zdanyij masszovovo naznacsenyija*. Moszkva, Izdatyelsztvo Vseszozjujnoj Akagyemii Arhityekturi, 1938. 38.

<sup>19</sup> TvMI 2.3:2020.01.22.

<sup>20</sup> Herczeg Gergely – Bérczi László: *Közösségi rendeltetésű épületek kiürítési gyakorlatainak tapasztalatai*. *Védelem Tudomány*, 4. (2019), 2. 84–103.

<sup>21</sup> Hongliu Li et al.: *A Comparative Study on the Bottleneck Flow between Preschool Children and Adults under Different Movement Motivations*. *Safety Science*, 121. (2020), 30–41.

<sup>22</sup> Alan Poulos et al.: *Validation of an Agent-based Building Evacuation Model with a School Drill*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 97. (2018), 82–95.

Óvodás korú gyermekeken megfigyelték, hogy akár 4,615 fő/(s·m) átocsátást is el tudnak érni szűkítéseken való áthaladáskor. Ezt azzal magyarázták, hogy a gyermekek – kisebb testméreteikből adódóan – kisebb helyet foglalnak el.<sup>23</sup>

A szűkítések átbocsátóképessége, 4–12 éves gyermekekkel végzett kísérletek alapján, egy kutatás szerint átlagosan 1,6 fő/(s·m).<sup>24</sup>

Holland kutatók által végzett kísérletek alapján az átbocsátóképességet 3,31 fő/(s·m) értékben állapították meg. A vizsgálatban részt vevő személyek életkori megoszlása: 90%-uk 11 éves, míg 10%-uk 18–65 év közötti volt. Ez a minta volt hivatott az általános iskolában tartózkodó személyeket reprezentálni.<sup>25</sup>

A kifejezetten gyermekekkel végzett kutatások kis száma mellett igen sok forrás tartalmaz felnőttekkel végzett kísérletekre és megfigyelésekre alapozott adatokat a szűkítések átbocsátóképességére vonatkozóan.

Predtechenskii és Milinskii 1978-ban publikált kísérletei szerint a szűkítések átbocsátóképessége a 1,6 fő/(s·m) (azaz 96 fő/[min·m]).<sup>26</sup>

A szűkítés átbocsátóképessége 1,74 fő/(s·m) (azaz 104,4 fő/[min·m]) értékre adódott Kretz és munkatársai kísérleteiben, amelyet 0,7 m széles és 0,4 m hosszú szűkítésen mértek.<sup>27</sup>

Egy kutatás szerint az ajtók átbocsátóképessége sportcsarnok kiürítésénél végzett megfigyelések alapján 0,92 fő/(s·m).<sup>28</sup>

Seyfried és munkatársai a szűkítések átbocsátóképességét 1,61 fő/(s·m) (azaz 96,6 fő/[min·m]) értékben állapították meg egy 80 cm széles, 2,8 m hosszú szűkítésen áthaladó személyekkel végzett kísérlet alapján.<sup>29</sup>

DiNenno 2012-ben publikált adatai szerint a szűkítések átbocsátóképessége 1,3 fő/(s·m) (azaz 78 fő/[min·m]).<sup>30</sup>

Egy 2014-ben publikált kutatásban megállapították: ha a kijáratok összesített szélessége állandó, a kijáratok számának növelésével a kijáratok átbocsátóképessége csökken. Az áramlás erőssége és a kijárat szélessége között nemlineáris összefüggést találtak:

$$J = 1,287x^2 + 0,267x + 0,5538, \text{ ahol}$$

$$J \text{ az áramlás erőssége [fő/s];}$$

$$x \text{ az ajtó szabad szélessége [m].}^{31}$$

<sup>23</sup> Yishu Yao – Wei Lu: *Children's Evacuation Behavioural Data of Drills and Simulation of the Horizontal Plane in Kindergarten*. *Safety Science*, (2021), 133. 105037.

<sup>24</sup> Glenn N. Hamilton – Patrick F. Lennon – John O'Raw: *Toward Fire Safe Schools: Analysis of Modelling Speed and Specific Flow of Children During Evacuation Drills*. *Fire Technology*, 56. (2020), 605–638.

<sup>25</sup> W. Daamen – S. P. Hoogendorn: *Emergency Door Capacity: Influence of Door Width, Population Composition and Stress Level*. *Fire Technology*, 48. (2012), 1. 55–71.

<sup>26</sup> V. Predtechenskii – A. I. Milinskii: *Planning for Foot Traffic Flow in Buildings*. Washington D.C., National Bureau of Standards, US Department of Commerce, and the National Science Foundation, 1978.

<sup>27</sup> Tobias Kretz – Anna Grünebohm – Michael Schreckenber: *Experimental Study of Pedestrian Flow through a Bottleneck*. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, (2006), 10. P10014.

<sup>28</sup> S. M. V. Gwynne et alii: *Questioning the Linear Relationship between Doorway Width and Achievable Flow Rate*. *Fire Safety Journal*, 44. (2009), 1. 80–87.

<sup>29</sup> Armin Seyfried et al.: *Empirical Data for Pedestrian Flow through Bottlenecks*. *Traffic and Granular Flow'07*. Berlin, Springer, 2009. 189–199.

<sup>30</sup> Philip J. DiNenno et alii: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, National Fire Protection Association, 2012. 3-371 (905).

<sup>31</sup> Shuai Wang et al.: *Setting the Width of Emergency Exit in Pedestrian Walking Facilities*. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 138. (2014), 233–240.

Lineáris kapcsolatot állapított azonban meg egy másik kutatás 1100–2200 mm szélességű gyalogosáramlásoknál az áramlás szabad szélessége és az áramlás erőssége között:

$$J = 1,55x + 0,257, \text{ ahol}$$

$$J \text{ az áramlás erőssége [fő/s];}$$

$$x \text{ az áramlási keresztmetszet szabad szélessége [m].}^{32}$$

86 fiatal hallgatóval végeztek kísérletet, ahol a résztvevők átlagéletkora 21,7 év, átlagos testmagasságuk 1,69 m volt. A kísérleteket elvégezték úgy, hogy a résztvevők futva haladtak át a szűkítésen, és úgy is, hogy csak sétáltak. Futva haladó résztvevőkkel az alábbi lineáris összefüggést állapították meg a szűkítés szélessége és az áramlás erőssége között:

$$J_r = 2,55x + 0,27, \text{ míg sétáló résztvevőkkel}$$

$$J_w = 2,08x + 0,17 \text{ összefüggés adódott, ahol}$$

$$J \text{ az áramlás erőssége [fő/s];}$$

$$x \text{ az ajtó szabad szélessége [m].}^{33}$$

Egy 2018-as kísérlet szerint, a kijárat szélessége és átbocsátóképessége nem egyenesen arányos. Ezt pánikhelyzetben lévő egereken figyelték meg. Mivel az egerek stresszre adott válaszreakciói hasonlítanak az emberi viselkedésre, így az egerek alkalmas helyettesítői az embereknek a pánikhelyzeti menekülés vizsgálatánál.<sup>34</sup>

Az átbocsátóképességet mérték kísérletek során tömegközlekedési járművek ajtóin, és megállapították, hogy 600–2000 mm közötti szélességű ajtókon az átbocsátóképesség 1,822–2,061 fő/(s·m).<sup>35</sup>

Az NFPA 130 (2017) tűzvédelmi irányelv (*National Fire Protection Association, USA*) szerint vasútállomások kiürítésének tervezésekor, kétszárnyú kijáratú ajtóknál, 81,9 fő/(min·m) átbocsátóképesség vehető figyelembe.<sup>36</sup>

20–55 év közötti életkorú felnőttek 80 fős mintáján végzett kísérlet eredményei szerint egy 0,72 m széles ajtó átbocsátóképessége 1,01–2,41 fő/s. Az átbocsátóképesség egységnyi szélességre átszámított értéke az előbbi adatok alapján 84,17–200,83 fő/(min·m). Az értékek nagyobb szórását magyarázhatja, hogy a kísérleteket eltérő magatartású csoportokkal végezték. Volt, hogy a résztvevőket előzékeny magatartásra kérték fel a kísérlet előtt, míg máskor az volt az előírt magatartás, hogy ne fordítsanak figyelmet az előzékenységre.<sup>37</sup>

<sup>32</sup> Kosuke Fujii – Tomonori Sano: *Experimental Study on Crowd Flow Passing Through Ticket Gates in Railway Stations. Transportation Research Procedia*, 2. (2014), 630–635.

<sup>33</sup> Xiangxia Ren – Jun Zhang – Weiguo Song: *Flows of Walking and Running Pedestrians in a Corridor through Exits of Different Widths. Safety Science*, 133. (2021), 105040.

<sup>34</sup> Teng Zhang et al.: *Collective Behavior of Mice Passing Through an Exit under Panic. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 496. (2018), 233–242.

<sup>35</sup> Rodrigo Fernández – Alejandra Valencia – Sebastian Seriani: *On Passenger Saturation Flow in Public Transport Doors. Transportation Research Part A*, 78. (2015), 102–112.

<sup>36</sup> NFPA 130: *Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems*. 5.3.7.1. 2020.

<sup>37</sup> Alexandre Nicolas – Sebastián Bouzat – Marcelo N. Kuperman: *Pedestrian Flows through a Narrow Doorway: Effect of Individual Behaviours on the Global Flow and Microscopic Dynamics. Transportation Research Part B: Methodological*, 99. (2017), 30–43.

Pastor és munkatársai szerint a szűkítések átbocsátóképessége 2,43–2,63 fő/(s·m) (azaz 145,8–157,8 fő/[min·m]), amit egy 69 cm-es szűkítésein végzett megfigyelés alapján írtak le.<sup>38</sup>

Huang és munkatársai a színházakban, mozikban, lelátókon jellemző, széksorok közötti 0,4–0,6 m széles közlekedőn történő haladást vizsgálták. Megállapították, hogy a szűk közlekedő átbocsátóképessége 2,5–4,29 fő/(s·m) (azaz 150–257,4 fő/[min·m]).<sup>39</sup>

A kiürítés számítógépes modellezése során – külföldi adatok alapján – egységes értéket alkalmaznak a szűkítések átbocsátóképességére, amely érték jellemzően 80 fő/[min·m].<sup>40</sup>

A szűkítések átbocsátóképességére Magyarországon is egyetlen, egységes érték van használatban.

Egy 2015-ben publikált kutatás szerint a nemzetközileg általános 1,33 fő/(s·m) átbocsátóképesség-érték csökkentése javasolt 36%-kal 0,85 fő/(s·m) értékre. Ennek okaként a kutatásban a túlsúlyos személyek és a mozgássérültek arányának növekedését jelölték meg az eredetileg alkalmazott értéket megalapozó kutatások óta eltelt időre vonatkoztatva.<sup>41</sup>

A szűkítések előtt elhelyezett akadály – bizonyos esetekben – növelheti is az átbocsátóképességet. Egy kutatásban vizsgálták, hogy a helyiségen belül, a kijárat ajtó előtt elhelyezett megfelelő méretű és helyzetű oszloppal a kijárat átbocsátóképessége növelhető, különösen akkor, ha a helyiség egyik sarkában helyezték el a kijáratot. Ha az ajtó nem a helyiség sarkán volt elhelyezve – oszlop nélkül – az ajtó átbocsátóképessége 2,67 fő/(s·m) értékre adódott átlagosan 1,31 m/s sebességgel haladó személyekkel, 1,2 m széles ajtón mérve. Az átbocsátóképesség 3,18 fő/(s·m) értékre növekedett a helyiség sarkában elhelyezett kijáratral és megfelelő méretű és helyzetű oszlop alkalmazásával.<sup>42</sup>

A University of Melbourne helyszínén, 60–120 cm-es szűkítésekén áthaladó személyekkel, 114 fő részvételével végeztek kísérletet. E kísérlet alapján a szűkítések átbocsátóképessége: 1,67–3,93 fő/(s·m) (azaz 100,2–235,8 fő/[min·m]).<sup>43</sup>

A szakirodalomban fellelhető egyik legnagyobb – kísérletekkel alátámasztott – átbocsátóképesség 3,7 fő/(s·m) (azaz 222 fő/[min·m]).<sup>44</sup>

Az 1. ábra mutatja be a különböző források szerinti fajlagos átbocsátóképesség értékeit. Ahol rendelkezésre álltak a kísérletek körülményeinek részletei, ott azokat az előbbieken ismertettük.

<sup>38</sup> José M. Pastor et al.: *Experimental Proof of Faster-is-slower in Systems of Frictional Particles Flowing through Constrictions*. *Physics Rev. E*, 92. (2015), 6. 062817.

<sup>39</sup> Shenshi Huang et al.: *Experimental Study on Occupant Evacuation in Narrow Seat Aisle*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 502. (2018), 506–517.

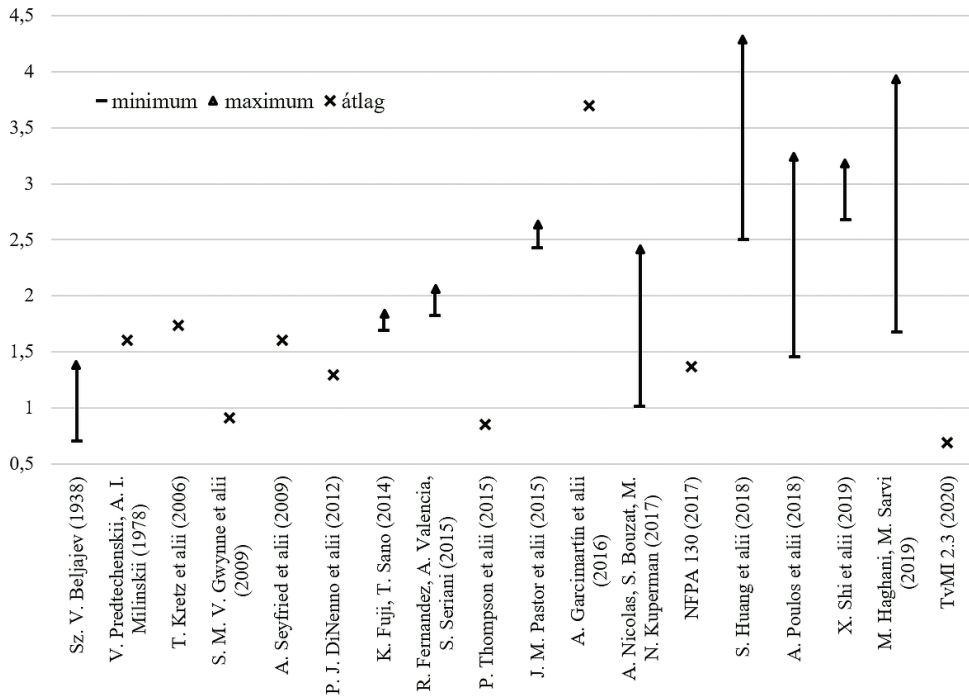
<sup>40</sup> Thompson et al. (2015): i. m. 252.

<sup>41</sup> Thompson et al. (2015): i. m.

<sup>42</sup> Xiaomeng Shi et al.: *Examining Effect of Architectural Adjustment on Pedestrian Crowd Flow at Bottleneck*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 522. (2019), 350–364.

<sup>43</sup> Milad Haghani – Majid Sarvi: *Simulating Pedestrian Flow through Narrow Exits*. *Physics Letters A*, 383. (2019), 2–3. 110–120.

<sup>44</sup> Angel Garcimartin et al.: *Flow of Pedestrians through Narrow Doors with Different Competitiveness*. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, (2016), 4. 043402.



1. ábra

Az átbocsátóképesség fajlagos értékei különböző források szerint [fő/(s·m)]

Forrás: a szerzők szerkesztése

A hazai és nemzetközi szakirodalomban fellelhető vonatkozó adatokat eltérő körülmények és kísérleti feltételek alapján határozták meg, ezt az összehasonlításukkor figyelembe kell venni. Mivel nincs egységesített mérési módszer, így kényszerűségből a következtetéseket a rendelkezésre álló adatokból lehet és kell levonni. Több esetben nem tartalmazta a forrás a kísérlet egyes körülményeit, ahol igen, azok alapján megállapíthatjuk, hogy eltérő volt a személyek életkora, ruházata, viselkedése. Figyelemmel kell lenni az emberi viselkedésformákra, amikor személyek vészeseti menekülésére kívánunk kísérletekből következtetéseket levonni. Rendkívüli esemény során az emberi viselkedésformák eltérnek a szokványostól.<sup>45</sup> Megjelenthet gyermek viselkedés, kezdeti ijedtségi reakció és testi-szellemi bénultság.<sup>46</sup>

Ritkán adódik lehetőség tervszerű megfigyeléseket és kísérleteket végezni, úgy, hogy a személyek viselkedésmintázata a valós veszélyben tapasztalhatóval azonos vagy ahhoz igen közeli legyen. Így az átbocsátóképesség vizsgálatára olyan helyszínt és módszert kell választani, amiben a személyek viselkedése a leginkább hasonlít

<sup>45</sup> Restás Ágoston: *Tűzoltók szemtől szemben az érintettekkel: Viselkedésformák tűz- és káreseteknél*. *Bolyai Szemle*, 13. (2014), 3. 25–35.

<sup>46</sup> Restás Ágoston: *Pszichológia a tűz frontvonalában*. *Védelem Tudomány*, 1. (2016), 3. 46–56.



a veszélyhelyzeti menekülésre, azonban várhatóan így is el fog térni attól kisebb vagy nagyobb mértékben.

## 2. Módszer

Mivel e kutatás célja a szűkítések átbecsátóképességének kifejezetten gyermekek részvételével történő vizsgálata, így a szerzők a megfigyelés helyszínéként gyermekintézményeket választottak. A megfigyeléseket a szerzők kiürítési gyakorlatok alkalmával végezték, amikor az épületben tartózkodók egyszerre hagyták el az épületet. Ez a megfigyelési módszer alkalmas arra, hogy közelítse a személyek viselkedésmintázatát a valós veszélyben történő épületkiürítésnél tapasztalhatóhoz. Gyermekintézményekben relatív nagy számú gyermek relatív kis számú felnőttel tartózkodik, így a kijáratokon áthaladó személyek döntő része gyermekek közül kerül ki.

A megfigyeléshez kiürítési gyakorlatok azért megfelelőek, mert a gyermekek viszonylag nagy számban haladnak át a kijáraton mint szűkítésen, azaz a szűkítés gyalogosáramlást korlátozó hatása érvényesül: a szűkítés előtt feltorlódnak a gyermekek, a szűkítés után szabad terület van, ahol akadály nélkül tovább haladhatnak. A szűkítésen keresztül zajló egyirányú áramlás a kiürítési gyakorlatok alkalmával jól érvényesül. A kísérlet során a gyalogosáramlás egyirányúsága jelentős, egyrészt azért, mert a menekülés során is az egyirányú áramlás jellemző a szűkítéseken, másrészt azért, mert a kétirányú áramlás során a főárammal szemben haladók szükségszerűen csökkentik a főáramlás keresztmetszetét.

A szerzők választása a megfigyeléshez egy nyolc évfolyamos középiskolára és két általános iskolára esett. A kutatásba bevont középiskola tanulói jellemzően 10–18 évesek, míg az általános iskolákban a 6–14 éves korosztályú tanulók a jellemzők. A kiürítési gyakorlatok minden esetben egy tanóra vége előtt 5 perccel kezdődtek, így minden tanuló a tanteremben tartózkodott pedagógusi felügyelettel. A kiürítési gyakorlat a tűzjelzés helyben szokásos módon történő megszólaltatásával kezdődött. Az épületben tartózkodók a tűzjelzésre elindultak tartózkodási helyükről, és az épületet a legközelebbi szabad kijáraton át elhagyták. A kijáratok a mérés során kinyitott és teljesen kitért állapotban rögzítve voltak. Mivel a kutatás célja a szűkítések átbecsátóképességének gyermekekkel és fiatalokkal történő vizsgálata volt, és nem volt tárgya a kutatásnak egyéb tényezők – kijáratot követő további szűkítés visszatörlesztő hatása, időjárási körülményekre adott személyes reakciók hatása stb. – közrehatásának vizsgálata, így a résztvevők figyelme fel lett hívva arra, hogy az épületből való kilépést követően távolodjanak el az épülettől, ezáltal ne akadályozzák az épületből még ki nem jutott személyek haladását. Ezenkívül figyelmet fordítottak a szerzők a kiürítési gyakorlatok szervezése során arra, hogy azokra kedvező időjárási körülmények között kerüljön sor. Így elkerülhető az eső, a hideg és egyéb időjárási körülmények a személyek magatartására gyakorolt kedvezőtlen hatása.

A méréshez épületenként ki kellett jelölni egy kijáratot, ahol a megfigyelés és mérés megtörténhet. Az első szerző 16 gyermekintézményben több mint 100 kiürítési gyakorlatot bonyolított le és elemzett az elmúlt nyolc évben, így tapasztalatai alapján azt a kijáratot választotta ki, amelyiken a várhatóan a legtöbb személy fog áthaladni.

Az épületek kiválasztott kijáratának szabad szélességét a szerzők lemérték, a méréshez fém mérőszalagot használtak. Az épületek kiválasztott kijáratának szabad szélességi értékeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat  
Az épületek kiválasztott kijáratának szabad szélességi értékei

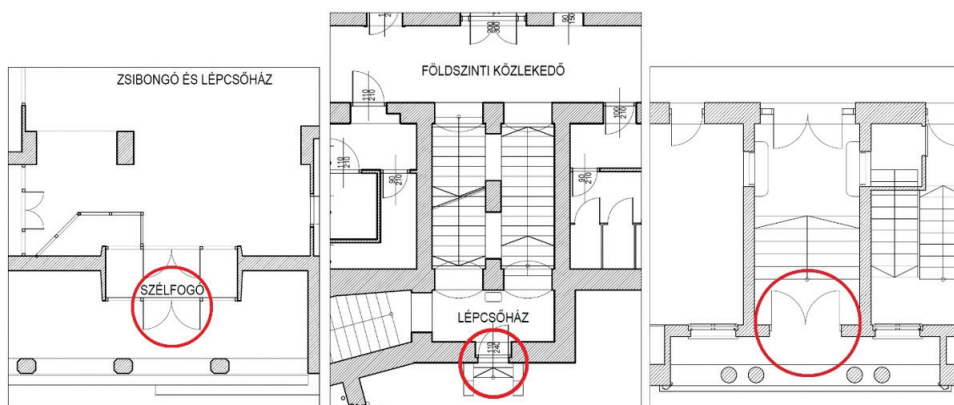
Épület jele	Kiürítési gyakorlat száma	Az épületben tartózkodó tanulók életkora	A kijárat szabad szélessége	A vizsgált kijáraton áthaladó résztvevők létszáma
A	1	6–14 év	1,92 m	197 fő
A	2	6–14 év	1,92 m	238 fő
B	3	6–14 év	0,86 m	115 fő
B	4	6–14 év	0,86 m	108 fő
C	5	10–18 év	1,47 m	400 fő
C	6	10–18 év	1,47 m	235 fő

A kijáratok mellé kamerát szereltek fel, amely a kijáraton áthaladó személyeket felülnézetből rögzítette. A felvételeket később értékelték ki a szerzők. Ez a módszer lehetővé tette, hogy meghatározzák minden kiürítési gyakorlatnál azokat az időintervallumokat, amelyekben kialakul a szűkítés előtti torlódás. Ezen időintervallumokban határozták meg a kijárat átbocsátását. Ez ahhoz szükséges, hogy a szűkítésen valóban a lehetséges legnagyobb átbocsátóképességet lehessen megállapítani.

A felvételek elemzésekor csak az előzőekben leírt feltételek teljesülésekor lett mérve az áthaladó személyek száma és az eltelt idő. Amennyiben a szűkítés előtt a torlódás kialakult és 50 áthaladó személy után sem szűnt meg, akkor a szerzők minden 50 fő után rögzítették az eltelt időt és számították az átbocsátást. Az időmérés az ajtónyílás síkját először érintő személy áthaladásakor indult. A mérés indításának pillanata a jármű külső síkjának a személy általi érintése volt. Az időmérés addig tartott, amíg az épületen belül, az ajtó előtt a torlódás megszűnt. Ezen időpontot követően csak egy-két személy haladt át a kijáraton. Mivel ekkor az áramlás már nem volt folyamatos, így nem lett volna mérvadó ennek figyelembevétele a szűkítés átbocsátóképességének meghatározásához. Az időmérés közben az áthaladó személyek számát rögzítették.

Mindegyik megfigyelés során az volt tapasztalható, hogy a résztvevők nem használtak segédeszközt (például mankót, kerekesszéket, járókeretet stb.) a közlekedéshez. Ez azért jelentős, mert a segédeszközzel közlekedők esetében csökkenhet az átbocsátóképesség.

A 2. ábra mutatja be a kutatásban érintett épületek alaprajzainak részletein a vizsgált kijáratokat, amelyeket piros kör jelez.



2. ábra

*A kutatásban érintett épületek alaprajzainak részlete, a vizsgált kijáratokat piros kör jelzi (jobbról balra az A, B és C jelű épület)*

Forrás: a szerzők szerkesztése

A mérés során gyűjtött adatok statisztikai feldolgozása is megtörtént. Ez magában foglalta az átlag, a medián, a korrigált empirikus szórás, a középérték közepes hibája, valamint Student-féle t-eloszlással a hibahatár és a konfidenciaintervallum meghatározását is.

Azért alkalmaztuk a Student-féle t-eloszlást, mert ezzel a statisztikai módszerrel megállapítható, hogy a minta elemszáma figyelembevételével a teljes vizsgált populációra vonatkozó értékek egy meghatározott valószínűséggel (95% vagy 99%) milyen intervallumon belül lesznek. Ilyen módon a minta elemszáma nem torzítja az eredményt, az a figyelembe vett valószínűséggel a meghatározott intervallumon belül marad. A szerzők a biztonság javára térnek el azáltal, hogy a konfidenciaintervallum alsó határértékét javasolták a kiürítési számítás során figyelembe venni. Így kijelenthető, hogy vizsgált populáció átlagos menekülőképessége által meghatározott átbocsátóképesség 95%, illetve 99% valószínűséggel a meghatározottnál nem kisebb.

### 3. Az átbocsátóképesség meghatározása

#### 3.1. Általános iskolákban végzett megfigyelés és mérés

Az általános iskolák (A és B jelű épület) kiürítési gyakorlatainál végzett mérés adatait a 2. táblázat tartalmazza. Az átbocsátóképesség normális eloszlását feltételezzük.

2. táblázat

Az általános iskolák kiürítési gyakorlatainál végzett mérés adatai

Forrás: a szerzők szerkesztése

Épület jele	Kiürítési gyakorlat száma	Idő	Áthaladó személyek száma	Kijárat szélessége	Átbocsátás	
		(s)	(fő)	(m)	(fő/[m·s])	(fő/[m·min])
A	1	10	50	1,92	2,604	156,25
A	1	17	50	1,92	1,532	91,91
A	1	20	50	1,92	1,302	78,13
A	1	12	24	1,92	1,042	62,50
A	1	8	23	1,92	1,497	89,84
A	2	14	38	1,92	1,414	84,82
A	2	18	50	1,92	1,447	86,81
A	2	20	50	1,92	1,302	78,13
A	2	18	50	1,92	1,447	86,81
A	2	20	50	1,92	1,302	78,13
B	3	13	24	0,86	2,147	128,80
B	3	29	51	0,86	2,045	122,69
B	3	32	40	0,86	1,453	87,21
B	4	30	49	0,86	1,899	113,95
B	4	21	35	0,86	1,938	116,28

A részt vevő gyermekek életkora az általános iskolák esetében 6–14 év között volt. A szerzők a mérés során megfigyelték, hogy az átbocsátás legnagyobb értéke 6–10 év közötti gyermekek áthaladása során volt kimutatható. Ennek magyarázata lehet, hogy a fiatalabb gyermekek jellemzően kisebb testméretekkel rendelkeznek, mint idősebb társaik.

Az A és B épületeknél mért átbocsátás mediánja 1,453 fő/(m·s), a további számított értékeket az alábbiakban részletezzük.

Az átlag számítása:<sup>47</sup>

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 1,625 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

<sup>47</sup> Nagy Péter: Leíró statisztika: a populáció és a minta jellemzése. In Fidy Judit – Makara Gábor (szerk.): *Biostatistika*. Budapest, Informed 2002 Kft., 2005. 22.

A korrigált empirikus szórás az alábbi összefüggés alapján számítható:<sup>48</sup>

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0,4137 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

A középérték közepes hibája:<sup>49</sup>

$$SEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \frac{SD}{\sqrt{n}} = 0,1068 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

Student-féle t-eloszlással vizsgálva a hibahatár 95%-os valószínűséggel:<sup>50</sup>

$$\Delta_{95} = t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n-1)} \cdot SEM = t_{0,975}^{(14)} \cdot 0,1068 = 2,14 \cdot 0,1068 = 0,2286 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

Az átbocsátóképeség várható értékének  $p = 95\%$ -os megbízhatóságú konfidencia-intervalluma:

$$\mu(95) \in [\bar{x} - \Delta_{95}; \bar{x} + \Delta_{95}] = [1,625 - 0,2286; 1,625 + 0,2286] = [1,3964; 1,8536]$$

A hibahatár, valamint a várható érték konfidenciaintervallumának meghatározása  $p = 99\%$ -os megbízhatósággal:

$$\Delta_{99} = t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n-1)} \cdot SEM = t_{0,995}^{(14)} \cdot 0,1068 = 2,98 \cdot 0,1068 = 0,3183 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

A fentiekből látszik, hogy a mérés szerint a jelen kutatásban vizsgált általános iskolai populáció átlagos menekülőképesége alapján az ajtók átbocsátóképesége 95%-os, illetve 99%-os megbízhatósággal az alábbi konfidenciaintervallum szerint alakul:

$$\mu(95) = \bar{x} \pm \Delta_{95} = 1,625 \pm 0,2286 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}} = 97,5 \pm 13,72 \frac{\text{fő}}{\text{min}\cdot\text{m}}$$

$$\mu(99) = \bar{x} \pm \Delta_{99} = 1,625 \pm 0,3183 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}} = 97,5 \pm 19,1 \frac{\text{fő}}{\text{min}\cdot\text{m}}$$

<sup>48</sup> Nagy (2005): i. m. 22.

<sup>49</sup> Nagy (2005): i. m. 22.

<sup>50</sup> Kenyeres Erika: Statisztikai becslések. In Korpás Attiláné (szerk.): *Általános statisztika II.* Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1997. 36.

### 3.2. Nyolc évfolyamos gimnáziumban végzett megfigyelés és mérés

A kutatás során vizsgált nyolc évfolyamos gimnázium (C jelű épület) kiürítési gyakorlatánál végzett mérés adatait a 3. táblázat tartalmazza. Az átbocsátóképesség normális eloszlását itt is feltételezzük.

3. táblázat

A nyolc évfolyamos gimnázium kiürítési gyakorlatainál végzett mérés adatai

Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Épület jele	Kiürítési gyakorlat száma	Idő (s)	Áthaladó személyek száma (fő)	Kijárat szélessége (m)	Átbocsátás	
					(fő/[m·s])	(fő/[m·min])
C	5	25	50	1,47	1,361	81,63
C	5	28	50	1,47	1,215	72,89
C	5	23	50	1,47	1,479	88,73
C	5	24	50	1,47	1,417	85,03
C	5	22	50	1,47	1,546	92,76
C	5	24	50	1,47	1,417	85,03
C	5	26	50	1,47	1,308	78,49
C	5	26	50	1,47	1,308	78,49
C	6	20	50	1,47	1,701	102,04
C	6	23	50	1,47	1,479	88,73
C	6	24	50	1,47	1,417	85,03
C	6	22	50	1,47	1,546	92,76
C	6	15	35	1,47	1,587	95,24

A részt vevő gyermekek, és fiatalok életkora a nyolc évfolyamos gimnázium esetében 10–18 év között volt. A C épületnél mért átbocsátás mediánja 1,417 fő/(m·s), a további számított értékeket az alábbiakban részletezzük.

Az átlag számítása:<sup>51</sup>

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 1,445 \frac{\text{fő}}{\text{s} \cdot \text{m}}$$

<sup>51</sup> Nagy (2005): i. m. 22.

A korrigált empirikus szórás az alábbi összefüggés alapján számítható:<sup>52</sup>

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0,1317 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

A középérték közepes hibája:<sup>53</sup>

$$SEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \frac{SD}{\sqrt{n}} = 0,03653 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

Student-féle t-eloszlással vizsgálva a hibahatár 95%-os valószínűséggel:<sup>54</sup>

$$\Delta_{95} = t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n-1)} \cdot SEM = t_{0,975}^{(12)} \cdot 0,03653 = 2,18 \cdot 0,03653 = 0,07964 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

Az átbozsátóképesség várható értékének  $p = 95\%$ -os megbízhatóságú konfidencia-intervalluma:

$$\mu(95) \in [\bar{x} - \Delta_{95}; \bar{x} + \Delta_{95}] = [1,445 - 0,07964; 1,445 + 0,07964] = [1,3654; 1,5246]$$

A hibahatár, valamint a várható érték konfidenciaintervallumának meghatározása  $p = 99\%$ -os megbízhatósággal:

$$\Delta_{99} = t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n-1)} \cdot SEM = t_{0,995}^{(12)} \cdot 0,03653 = 3,05 \cdot 0,03653 = 0,1114 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}}$$

$$\mu(99) \in [\bar{x} - \Delta_{99}; \bar{x} + \Delta_{99}] = [1,445 - 0,1114; 1,445 + 0,1114] = [1,3336; 1,5564]$$

A fentiekből látszik, hogy a mérés szerint a jelen kutatásban vizsgált 10–18 éves populáció átlagos menekülőképessége alapján az ajtók átbozsátóképessége 95%-os, illetve 99%-os megbízhatósággal az alábbi konfidenciaintervallum szerint alakul:

$$\mu(95) = \bar{x} \pm \Delta_{95} = 1,445 \pm 0,07964 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}} = 86,7 \pm 4,778 \frac{\text{fő}}{\text{min}\cdot\text{m}}$$

$$\mu(99) = \bar{x} \pm \Delta_{99} = 1,445 \pm 0,1114 \frac{\text{fő}}{\text{s}\cdot\text{m}} = 86,7 \pm 6,684 \frac{\text{fő}}{\text{min}\cdot\text{m}}$$

<sup>52</sup> Nagy (2005): i. m. 22.

<sup>53</sup> Nagy (2005): i. m. 22.

<sup>54</sup> Kenyeres (1997): i. m. 36.

### 3.3. Az értékek összevetése

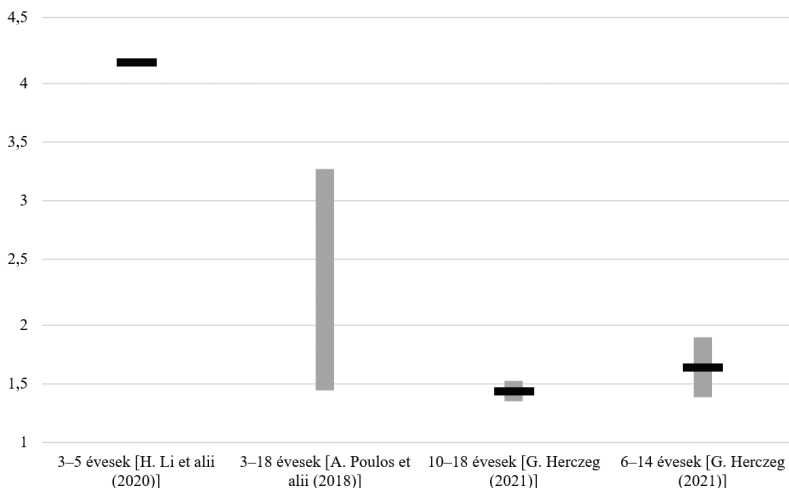
A mérések alapján 95%-os valószínűséggel megállapítható, hogy kisebb testméretekkel rendelkező fiatalabb gyermekek esetében nagyobb a szűkítések átlagos átbocsátóképessége, mint a nagyobb testméretekkel rendelkező idősebb gyermekek, illetve fiatalok esetén.

A nyolc évfolyamos gimnáziumban végzett mérés értékeiből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az  $n = 13$  elemszám mellett kellően pontos adatokat kaphatunk a jelen kutatásban vizsgált 10–18 éves populáció átlagos menekülőképességére vonatkozóan. Jelen kutatás a gyermekekre és fiatalokra fókuszál, így a felnőttek aránya a megfigyelés során alacsony, 5–10% közötti maradt.

Az  $n = 15$  elemszámmal vizsgált általános iskolai populáció mérési adataiból számított szórás csökkenthető további kutatások során, amennyiben nagyobb elemszám vizsgálatára nyílik lehetőség. Ez igaz a nyolc évfolyamos gimnáziumi populáción mért adatokra is. A jelen kutatásban meghatározott értékekből mégis arra lehet következtetni, hogy a fiatalabb gyermekek nagyobb átbocsátást tudnak elérni szűkítésen való áthaladásakor, idősebb társaikhoz képest.

Az értékeket a gyakorlatban elegendő optimálisan 95%-os megbízhatósággal megállapítani Student-féle t-eloszlással, így  $86,7 \pm 5,5\%$  fő/(min·m) érték adódik a szűkítések átbocsátóképességére a 10–18 éves korosztálynál, és  $97,5 \pm 14\%$  fő/(min·m) érték a 6–14 éves korosztálynál, amelyek közül az alacsonyabb érték is több mint kétszerese a jelenleg alkalmazott  $41,7$  fő/(min·m) értéknek.

A megállapított átbocsátóképesség-értékek akként lettek differenciálva életkor szerint, hogy külön értéket határoztunk meg a 10–18 éves korosztályra és szintén külön értéket a 6–14 éves korosztályra.



3. ábra

*A kifejezetten gyermekekkel, illetve fiatalokkal mért átbocsátóképesség különböző források szerinti értékeinek összehasonlítása a jelen kutatásban meghatározott intervallumokkal [fő/(s·m)]*

Forrás: a szerzők szerkesztése



Az átlagos értékeken felül az is látszik a mérési eredményekből, hogy a gyakorlati átbocsátóképesség maximuma a 6–14 éves korosztály esetében legalább 156,25 fő/(min·m), illetve a 10–18 éves korosztály esetében legalább 102,04 fő/(min·m).

A szerzők által meghatározott érték beleillik a szakirodalomban fellelhető értékek sorába, amit a 4. táblázat mutat be.

4. táblázat

*Az átbocsátóképesség átlagainak összehasonlítása jelen mérés eredményével*

Forrás: a szerzők szerkesztése

Adat forrása	Az átbocsátóképesség átlaga (fő/[m·s])
P. Thompson et al. (2015)	0,850
S. M. V. Gwynne et al. (2009)	0,920
P. J. DiNenno et al. (2012)	1,300
<i>G. Herczeg – L. Bérczi (2021): 10–18 éves gyermekek és fiatalok</i>	1,445
A. Seyfried et al. (2009)	1,610
<i>G. Herczeg – L. Bérczi (2021): 6–14 éves gyermekek</i>	1,625
A. Nicolas – S. Bouzat – M. N. Kuperman (2017)	1,710
T. Kretz et al. (2006)	1,740
K. Fuji – T. Sano (2014)	1,760
R. Fernandez – A. Valencia – S. Seriani (2015)	1,942
A. Poulos et al. (2018)	2,345
J. M. Pastor et al. (2015)	2,530
M. Haghani – M. Sarvi (2019)	2,800
X. Shi et al. (2019)	2,925
S. Huang et al. (2018)	3,395
A. Garcimartín et al. (2016)	3,700

A szerzők által meghatározott értékek az értékek növekvő sorában az alsó és középső harmad határán helyezkednek el, ami a szerzők által meghatározott értékeknek az elmúlt 15 évben publikált mérési adatokkal történő összevetésével megállapítható.

A legtöbb fellelhető átbocsátóképességi értéket kísérletek során állapították meg. A kísérletek összehasonlíthatóságának feltétele az azonos kísérleti körülmények megléte. A fellelt források több esetben tartalmazzák ugyan a kísérlet körülményeinek részletes leírását (például személyek életkori megoszlása, ruházat, minta nagysága stb.), azonban vannak olyan publikációk, ahol a szerzők az előbb felsorolt tényezőkről nem tesznek említést annak ellenére, hogy azok befolyásolhatták a kísérletek eredményeit.

A szakirodalomban fellelt átbocsátóképességi értékeket a szerzők ennek ellenére azért szerepeltetik, mivel az előzőekben felsorolt fenntartásokkal ugyan, de alkalmasak az összevetésre a szerzők által végrehajtott mérések eredményével és az átbocsátóképesség Magyarországon alkalmazott értékével. Az összevetés során, a korábbi kísérletek körülményeire vonatkozó adatok ismeretének hiányában is megállapítható, hogy az átbocsátóképesség kiürítési számítás során Magyarországon alkalmazott értéke minden más kutató által eredményül kapott értéknél alacsonyabb, akár gyermekekkel, akár felnőttekkel végezték a méréseket.

#### 4. Összefoglalás

Jelenleg nincs Magyarországon olyan előírás vagy iránymutatás, amely a felnőttektől eltérően a gyermekek és fiatalok vonatkozásában külön átbocsátóképesség-értéket adna meg. Ilyen érték csak önállóan menekülni képes, 10 évesnél idősebb személyekre létezik. Az épületek kiürítése során a szűkítések átbocsátóképességének gyermekekre és fiatalokra vonatkozó adatainak meghatározása lehetőséget ad arra, hogy a kiürítési számítás során külön érték lehessen alkalmazható akkor, ha ez indokolt. Lehetőséget ad továbbá arra is, hogy a populáció egyes csoportjai menekülőképességének ezen aspektusát jobban megismerjük.

E cikkben a szerzők a menekülőképesség több tényezője közül csak az átbocsátóképességet vizsgálták.

Az épületek kiürítésének ellenőrzésére szolgál a kiürítési számítás, amelynek része a szűkítések átbocsátóképességének figyelembevételével annak megállapítása, hogy a szűkítések lehetővé teszik-e a biztonságos menekülést. A kiürítési számítás során a szűkítések átbocsátóképességére Magyarországon alkalmazott érték  $41,7 \text{ fő}/(\text{min}\cdot\text{m})$ , amely önállóan menekülni képes, 10 évesnél idősebb személyekre alkalmazható.

Elemezték a szerzők e cikkben a nemzetközi szakirodalomban található – szűkítésen keresztüli gyalogosáramlásra vonatkozó – adatokat, amelyek a szűkítések átbocsátóképességére vonatkoztak. A fellelt értékeket a szerzők grafikonon ábrázták. Az egyes források eltérően határozták meg az összefüggést a gyalogosáram erőssége és a szűkítés szélessége között: konstans, lineáris és négyzetes összefüggés is előfordult. Nem volt a szerzők célja a gyalogosáramlás erőssége és a szűkítés szélessége közötti összefüggés megállapítása. A cél az volt, hogy gyermekekre és fiatalokra vonatkozó átlagos átbocsátóképesség-értéket határozzanak meg, amely könnyen beilleszthető a jelenlegi kiürítési számítási módszerbe és az önállóan menekülni képes gyermekek és fiatalok átlagos menekülőképességét jól reprezentálja.

A jelenleg alkalmazott átbocsátóképesség-érték fogalmának, arányának publikálásakor, 1938-ban nem ismertették, hogy az értéket milyen életkori eloszlású személyeken mérték, ezen személyek közül használtak-e a gyalogos közlekedéshez segédeszközöket, és azt sem, hogy milyen ruházatot viseltek.

A szerzők által megállapított átbocsátóképesség értéke a 6–18 éves magyar populáció átlagos tulajdonságain alapul. Számos tényező, mint a ruházat, az életkor, a segédeszközzel közlekedők aránya befolyásolhatja a menekülőképességet,

és ezáltal a szűkítések átbocsátóképességét. A szerzők által megállapított érték a jelenleg alkalmazotthoz hasonlóan egységesítésre alkalmas átlagérték, amely a vizsgált korcsoport átlagos menekülőképességén alapul. Az átbocsátóképességen kívül a bejárt útvonal hossza, a haladási sebesség, az épület tűzvédelmi jellemzői (például tűzszakasz mérete, tűzjelző berendezés stb.) szintén befolyásolják az épületben tartózkodók biztonságát.

Ebben a cikkben megállapították a szerzők az épületekből való menekülés során bejárt útvonalon elhelyezkedő szűkítések átbocsátóképességét 6–18 éves gyermekek és fiatalok vonatkozásában. Ezen értéket általános iskolák és egy nyolc évfolyamos gimnázium kiürítési gyakorlatainak megfigyelésével és áramlásra jellemző mennyiségek mérésével állapították meg egy  $n = 15$  és egy  $n = 13$  elemszámú mintán. A vizsgálatban részt vevő személyek összlétszáma 1269 fő volt.

A szerzők a megfigyelést azért kiürítési gyakorlatok alkalmával végezték, mivel az egyirányú gyalogosáramlást megnyugtató pontossággal csak ilyenkor lehet könnyen vizsgálni. A megfigyelt kijárat meghatározásához a szerzők figyelembe vették az elmúlt nyolc évben általuk lebonyolított több mint 100 kiürítési gyakorlat tapasztalatait. A szerzők kidolgozták a mérés módszertanát, valamint meghatározták a mérés gyakorlati végrehajtásához szükséges feltételeket. A mérést a szerzők végezték, a mérés helyszíneiről rajzot mutattak be, amelyen jelölték a méréshez figyelembe vett kijáratokat.

A mérés eredményét a szerzők statisztikai módszerekkel elemezték, megállapították 95%-os és 99%-os megbízhatósággal a szűkítések gyermekekre vonatkozó átbocsátóképességének mértékét, valamint az átlagértéket összehasonlították a más szerzők által meghatározottakkal.

A szerzők javasolják a szűkítések 6–18 éves korosztályra vonatkozó átbocsátóképességének kiürítési számítása során figyelembe vehető értékét 10–18 éves populáció alacsonyabb mért értéke 95%-os megbízhatóságú konfidenciaintervalluma alsó határa szerint (kerekítve) 80 fő/(min·m) értékben megállapítani. Ehhez a kiürítésről szóló tűzvédelmi műszaki irányelv módosítása szükséges. A kiürítés meglévő komplex rendszerébe az új érték akként is adaptálható, ha eltérő értékben határozzák meg a 10–18 éves és a felnőtt populáció vonatkozásában a szűkítések átbocsátóképességét.

A 6–18 éves intervallum nehezen hasonlítható össze az életkori sajátosságok eltérése miatt, ezért az egységes érték megállapításakor – a biztonság javára – az átbocsátóképesség értékét a 10–18 éves populáció alacsonyabb mért értéke alapján határoztuk meg.

Az ebben a cikkben közölt érték konfidenciaintervalluma tovább pontosítható a minta elemszámának növelésével.

Jelentős szórás figyelhető meg a különböző források szerinti átbocsátóképességi értékekben. Ennek különféle okai lehetnek, ami egyben rávilágít arra, hogy nincs jelenleg egységesen elfogadott módszer az átbocsátóképesség meghatározására. További kutatások során lehetőség nyílik a szűkítésen keresztül történő gyalogosáramlás jobb megismerésére és a kiürítési számítás további fejlesztésére.

## Felhasznált irodalom

- Beljajev, Sz. V.: *Evakuacija zdanyij masszovovo naznacsenyija*. Moszkva, Izdatyelsztvo Vseszojuznoj Akagyemii Arhityekturi, 1938.
- Daamen, W. – S. P. Hoogendorn: Emergency Door Capacity: Influence of Door Width, Population Composition and Stress Level. *Fire Technology*, 48. (2012), 1. 55–71. Online: <https://doi.org/10.1007/s10694-010-0202-9>
- DiNunno, Philip J. – Dougal Drysdale – Craig L. Beyler – Douglas W. Walton – Richard L. P. Custer: *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, National Fire Protection Association, 2002.
- Fernández, Rodrigo – Alejandra Valencia – Sebastian Seriani: On Passenger Saturation Flow in Public Transport Doors. *Transportation Research Part A*, 78. (2015), 102–112. Online: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.05.001>
- Fujii, Kosuke – Tomonori Sano: Experimental Study on Crowd Flow Passing Through Ticket Gates in Railway Stations. *Transportation Research Procedia*, 2. (2014), 630–635. Online: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.105>
- Garcimartín, Angel – D. R. Parisi – J. M. Pastor – C. Martín-Gómez – I. Zuriguel: Flow of Pedestrians through Narrow Doors with Different Competitiveness. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, (2016), 4. 043402. Online: <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2016/04/043402>
- Gwynne, S. M. V. – E. D. Kuligowski – J. Kratchman – J. A. Milke: Questioning the Linear Relationship between Doorway Width and Achievable Flow Rate. *Fire Safety Journal*, 44. (2009), 1. 80–87. Online: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.03.010>
- Haghani, Milad – Majid Sarvi: Simulating Pedestrian Flow through Narrow Exits. *Physics Letters A*, 383. (2019), 2–3. 110–120. Online: <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2018.10.029>
- Hamilton, Glenn N. – Patrick F. Lennon – John O’Raw: Toward Fire Safe Schools: Analysis of Modelling Speed and Specific Flow of Children During Evacuation Drills. *Fire Technology*, 56. (2020), 605–638. Online: <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00893-x>
- Herczeg Gergely – Bérczi László: Közösségi rendeltetésű épületek kiürítési gyakorlatainak tapasztalatai. *Védelem Tudomány*, 4. (2019), 2. 84–103. Online: <http://vedelemtudomany.hu/articles/04-herczeg-berczi.pdf>  
[http://vigimodell.hu/kep/jelleg/wgc\\_media/photos/Alstom.jpg](http://vigimodell.hu/kep/jelleg/wgc_media/photos/Alstom.jpg)
- Huang, Shenshi – Shouxiang Lu – Siuming Lo – Changhai Li – Yafei Guo: Experimental Study on Occupant Evacuation in Narrow Seat Aisle. In *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 502. (2018), 506–517. Online: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.02.032>
- Kenyeres Erika: Statisztikai becslések. In Korpás Attiláné (szerk.): *Általános statisztika II*. Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1997. 30–69.
- Kretz, Tobias – Anna Grünebohm – Michael Schreckenberg: Experimental Study of Pedestrian Flow through a Bottleneck. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, (2006), 10. P10014. Online: <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2006/10/P10014>

- Li, Hongliu Jun Zhang – Libing Yang – Weiguo Song – Kwok Kit Richard Yuen: A Comparative Study on the Bottleneck Flow between Preschool children and Adults under Different Movement Motivations. *Safety Science*, 121. (2020), 30–41. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.09.002>
- Nagy Péter: Leíró statisztika: a populáció és a minta jellemzése. In Fidy Judit – Makara Gábor (szerk.): *Biostatistika*. Budapest, Informed 2002 Kft., 2005. 20–41.
- NFPA 130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems. 5.3.7.1. Online: [www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=130](http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=130)
- Nicolas, Alexandre – Sebastián Bouzat – Marcelo N. Kuperman: Pedestrian Flows through a Narrow Doorway. Effect of Individual Behaviours on the Global Flow and Microscopic Dynamics. *Transportation Research Part B: Methodological*, 99. (2017), 30–43. Online: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.01.008>
- Pastor, José M. – Angel Garcimartín – Paula A. Gago – Juan P. Peralta – César Martín-Gómez – Luis M. Ferrer – Diego Maza – Daniel R. Parisi – Luis A. Pugnaloni – Iker Zuriguel: Experimental Proof of Faster-is-slower in Systems of Frictional Particles Flowing through Constrictions. *Physics Rev. E*, 92. (2015), 6. 062817. Online: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.92.062817>
- Poulos, Alan – Felipe Tocornal – Juan Carlos de la Llera – Judith Mitrani-Reiser: Validation of an agent-based building evacuation model with a school drill. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 97. (2018), 82–95. Online: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.10.010>
- Predtechenskii V. – A. I. Milinskii: *Planning for Foot Traffic Flow in Buildings*. Washington D.C., National Bureau of Standards, US Department of Commerce, and the National Science Foundation, 1978.
- Ren, Xiangxia – Jun Zhang – Weiguo Song: Flows of Walking and Running Pedestrians in a Corridor through Exits of Different Widths. *Safety Science*, 133. (2021), 105040. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.105040>
- Restás Ágoston: Pszichológia a tűz frontvonalában. *Védelem Tudomány*, 1. (2016), 3. 46–56. Online: [www.vedelemtudomany.hu/articles/04-restas.pdf](http://www.vedelemtudomany.hu/articles/04-restas.pdf)
- Restás Ágoston: Tűzoltók szemtől szemben az érintettekkel. Viselkedésformák tűz- és káreseteknél. *Bolyai Szemle*, 13. (2014), 3. 25–35. Online: <https://tinyurl.hu/5LGK/>
- Seyfried, Armin – Bernhard Steffen – Andreas Winkens – Tobias Rupprecht – Maik Boltes – Wolfram Klingsch: Empirical Data for Pedestrian Flow through Bottlenecks. *Traffic and Granular Flow'07*. Berlin, Springer, 2009. 189–199. Online: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-77074-9\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-540-77074-9_17)
- Shi, Xiaomeng – ZhiruiYe – Nirajan Shiwakoti – Dounan Tang – Junkai Lin: Examining Effect of Architectural Adjustment on Pedestrian Crowd Flow at Bottleneck. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 522. (2019), 350–364. Online: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.01.086>
- Thompson, Peter – Daniel Nilsson – Karen Boyce – Denise McGrath: Evacuation Models are Running Out of Time. *Fire Safety Journal*, 78. (2015), 251–261. Online: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.09.004>
- TvMI 2.3:2020.01.22. *Tűzvédelmi Műszaki Irányelv – Kiűrités*

- Wang, Shuai – Hao Yue – Binya Zhang – Juan Li: Setting the Width of Emergency Exit in Pedestrian Walking Facilities. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 138. (2014), 233–240. Online: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.200>
- Yao, Yishu – Wei Lu: Children's Evacuation. Behavioural Data of Drills and Simulation of the Horizontal Plane in Kindergarten. *Safety Science*, 133. (2021), 105037. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.105037>
- Zhang, Teng – Xuelin Zhang – Shenshi Huang – Changhai Li – Shouxiang Lu: Collective Behavior of Mice Passing Through an exit under Panic. *Physica A. Statistical Mechanics and its Applications*, 496. (2018), 233–242. Online: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.12.055>

## Jogi forrás

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