



# **BIM ALKALMAZÁSA A TŰZVÉDELEMBEN**

TDK DOLGOZAT



## **KÉSZÍTETTE:**

JOÓ DÁNIEL LÁSZLÓ

ÉPÍTŐMÉRNÖK HALLGATÓ – MSC

## **KONZULENSEK:**

DR. MAJOROSNÉ DR. LUBLÓY ÉVA – EGYETEMI DOCENS

BME ÉPÍTŐANYAGOK ÉS MAGASÉPÍTÉS TANSZÉK

---

## Tartalomjegyzék

<b>Összefoglaló.....</b>	<b>3</b>
<b>Előszó.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Bevezetés .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Szakirodalmi áttekintés .....</b>	<b>6</b>
<b>3. BIM ismertetése .....</b>	<b>11</b>
<b>4. Tűzvédelem.....</b>	<b>13</b>
4.1. Hatályos előírások.....	13
4.2. Kiürítés útvonalának geometriáján alapuló módszer [10] .....	14
4.3. Az össznépeség átlagos menekülő képességén alapuló számítási módszer [10] .	16
4.3.1. Épület,építmény kiürítés időtartama az útszakaszok hossza alapján.....	16
4.3.2. Épület kiürítés időtartama a kiürítési útvonal szabad szélességének átbotcsátóképessége alapján.....	16
4.3.3. Épület kiürítés időtartama a kiürítés során számításba vett biztonságos térbe vezető nyílászárók átbotcsátóképessége alapján .....	17
4.3.4. Számítógépes szimuláció [11] .....	17
4.4. Módszerek összegzése .....	18
<b>5. Kiürítés szimulációk .....</b>	<b>19</b>
5.1. Alkalmazott program bemutatása .....	19
5.2. Alkalmazott program verifikációja és validációja .....	19
5.3. Ipari épület vizsgálata .....	23
5.4. Óvoda épületének vizsgálata.....	28
<b>6. Összefoglalás.....</b>	<b>34</b>
<b>7. Jövőbeni tervek .....</b>	<b>35</b>
<b>Hivatkozások.....</b>	<b>36</b>

---

## Összefoglaló

Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján 2006 és 2017 között 252.133 tüzeset történt Magyarországon, melyek nagyrészt lakóházban, és személyi ingatlanban okoztak kárt.

Tovább vizsgálódva láthatjuk, hogy sűrűbben lakott országok esetében ez a szám jelentősen nagyobb is lehet, ami aggasztó, ugyanis a XXI. század embere számára az egészség, és biztonság kulcsfontosságú igényné lépett elő. A civilizáció jelenlegi életformájának fenntartása, és folyamatos fejlődése érdekében ugyancsak elengedhetetlen a biztonság tudatos megvalósítása, amiben a tűzvédelem az általános biztonság terén mindig is kiemelt helyet foglalt el.

Ennek ellenére a világ szinte minden országában a tűzvédelemi előírások építészeti jogszabályokon alapulnak, azonban ezek a tűz biztonság-becslési módszerek, kockázati elemzések nem fedik le egy-egy épület teljes életciklusát, és komplex tűzvédelmét sem.

A nem komplex tűzvédelem miatt, úgynevezett kritikus helyek és időtartamok alakulhatnak ki, melyek emberi életet veszélyeztetnek. Ezen jelenség csak egyre jobban növekszik napjainkban, az épületeink nagyfokú variabilitásának köszönhetően, ugyanis gyakran változnak a belső terek igényei, kialakításai.

Megoldást az utóbbi években megjelenő, és rohamosan fejlődő épület információs modellezés (BIM), vagy ahogyan szokás még nevezni menedzsment jelentheti a probléma kezelésére. Ezen 3D szoftverek alkalmazása dinamikus használatra történő tervezést tesz lehetővé, így különböző szereplők (tervezők, hatóságok, üzemeltetők) egyszerre vehetnek részt egy-egy épület életciklusában, a digitális térben, mellyel nagyfokú valós biztonság érhető el.

Jelen dolgozatban számítógépes szimulációs eredményeket egy kísérletsorozat keretében összehasonlítom a hatályos OTSZ által előírt számításokkal, ezután az általam épített épületinformációs modellen mért eredmények (számítások, szimulációk, tűzteszt) validálását hajtom végre, ami hosszú távú megoldásokat biztosíthat a tűzvédelem tudományában. [1]

A tervezett kutatás célja a rohamosan fejlődő BIM, és szimulációs eljárások, adaptációja, integrálása a tűzbiztonság tervezés bonyolult folyamatába, annak hatékonyságának növelése érdekében.

---

## Előszó

A dolgozatban bemutatott munka az Új Nemzeti Kiválóság Program támogatásával valósult meg. A szerző köszönetét fejezi ki az Emberi Erőforrások Minisztériumának az általuk nyújtott támogatásért. Az elnyert ösztöndíj 2020. szeptembere és 2021. júniusa közötti időszakra szól. A kutatási tervben vállaltaknak megfelelően az elért eredmények a támogatási időszakon belül TDK konferencián kerülnek bemutatásra. Azonban a támogatási időszakon belül csak egy TDK konferencia kerül megrendezésre, amit az egyetem a 10 hónapos kutatási időszak második hónapjában szervez meg. Emiatt a TDK dolgozat csak egyfajta előkészítése a kutatási munkának. Jelen dolgozatban igyekeztem bemutatni építményeink tűzvédelmi kialakításának napjainkban alkalmazott megoldásait, illetve aktuális irodalmak segítségével a jövőképet. Bemutattam az egyes szimulációs programoknak milyen előnyei vannak, és hogyan áll validációjuk, verifikációjuk. Továbbá teszteket is végeztem el, amikhez viszont valós eredmények sajnos nem társultak viszonyítási alapként. Kutatási munkámat következő hónapban ezzel szeretném folytatni.

AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-20-2 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.



---

## 1. Bevezetés

A tűz, mint egy fajta veszély forrás egészen az ókor óta jelen van társadalmunkban, a történelem során olykor házakban, várakban tett kárt, de egyes esetekben teljes városokat tett egyenlővé a semmivel. A folyamatos fejlődés folyamán megtanultuk kezelni, és minimalizálni a tűzkárokat, hogy emberéleteket mentünk, gazdasági értékeket óvjunk meg. Napjainkban azonban, ha tanulmányozzuk az elmúlt évek számaikat világ szinten, láthatjuk, egyre több és több a tüzesetek száma, amire magyarázatot ad az, hogy egyre nagyobb a városok beépítettsége, a toronyházak egyes városokban szinte összeérnek, és mindemellett rengeteg funkciót töltenek be.

Mivel a modernizáció egyik alappillére a biztonság megteremtése, így szinte érthetetlen, hogy a mai technológiai fejlettség mellett is, tűzbiztonságban, csak jogszabályi előírásokon alapuló képleteket használnak, melyek nem fedik le az épületek teljes életciklusát, azaz a tervezés fázisában megalkotott tűzvédelmi koncepció nem követi le a dinamikusan változó körülményeket, sem az ember, sem a tűz szempontjából. Továbbá nem foglalkozunk speciálisan tűzvédelemmel, ami számos, úgynevezett tűzvédelmi fehér foltot eredményez.

Az utóbbi évtizedben rohamos fejlődésnek indult BIM, azaz Building Information Modell/Management, amely számtalan lehetőséget biztosít, és könnyen lehet, hogy a megoldást is itt találjuk. Ezen 3D szoftverek alkalmazása dinamikus használatra történő tervezést tesz lehetővé, így különböző szereplők (tervezők, hatóságok, üzemeltetők) egyszerre vehetnek részt egy-egy épület életciklusában a digitális térben, mellyel nagyfokú valós biztonság érhető el, nem beszélve arról, hogy ezek későbbiekben kiegészíthetők érzékelőkkel, felhő alapú rendszerekkel, melyek akár a helyszínrre érkező tűzoltó egységek munkáját is tudják támogatni.

A lépték növelésével az okos város elvén alapuló infrastruktúrában olyan új biztonság hozható létre, amely hosszútávon védelmet nyújt [1.].

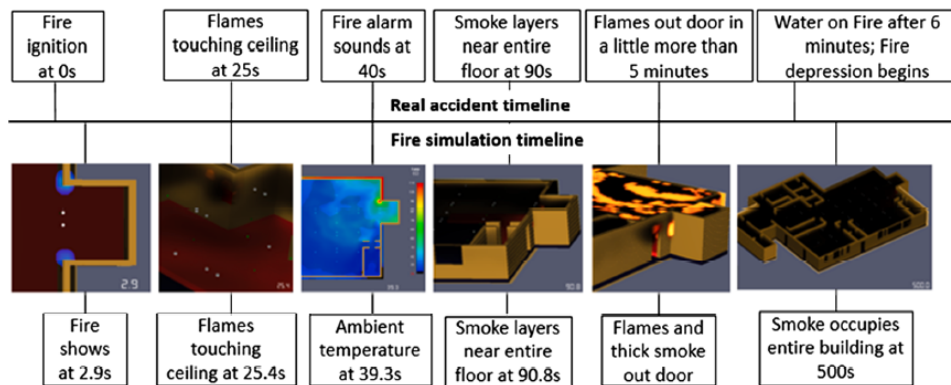
Arra következtetésre juthatunk a biztonság növelése érdekében, hogy szükséges lenne egy új innovatív mérnöki megoldás kidolgozása, mellyel az OTSZ szerinti követelményeket adaptálhatjuk a BIM alapú tervezésbe, validált eljárások segítségével.

---

## 2. Szakirodalmi áttekintés

Qi Sun és Yelda Turkan [2] Oregon állami egyetemén felfigyeltek arra, hogy az Egyesült Államok Tűzoltósága (USFA) jelentése szerint az elmúlt években folyamatosan nőnek a tüzesetek számai. Céljuk az volt, hogy olyan eljárást dolgozzanak ki, ami megtalálja az egyensúlyt a biztonság és gazdasági szempont között, ugyanis manapság az építészetben minden felületet igyekszünk a legjobban kihasználni, és ezzel a legnagyobb hasznot elérni. Munkájukban egy 2003-ban megtörtént, és jól dokumentált szórakozóhely tüzesetét vizsgálták meg, ami mai napig a negyedik legtöbb halálos áldozatot követelte Amerika történelmében. Dokumentációból kiderül, hogy a legtöbb emberéletet az követelte, hogy mindenki a főbejárat irányába akart távozni a három oldalsó vészkijáratot figyelmen kívül hagyva.

Munkájuk során az épület három dimenziós modelljén végeztek tűz szimulációkat, melyeket a valós történésekkel validáltak. Eredményeik alapján három fajta ASET értéket határoztak meg a füst sűrűsége, és a tűz elterjedése alapján. Az első rész 180 másodpercig tart, amikor sérülés mentesen tudtak még távozni az épületből. A második 300 másodpercnél ér véget, ahol sérülten, de életben el lehet hagyni az épületet, végül az utolsó fázis határát 380 másodpercben állapították meg, amikor is esély sincsen túlélni a tüzesetet.



1. ábra – Valós és szimulált tűz terjedésének idővonalala [2]

Ezzel szemben létrehoztak egy RSET elnevezésű mérőszámot, mely lineáris regressziós modellt hoz létre az épület építészeti adataiból:

$$RSET = aX + bY + cZ + d \quad (1)$$

ahol  $a, b, c$  állítható paraméterek,  
 $X$  kijáratok száma [db],  
 $Y$  ajtók szélessége [m],  
 $Z$  befogadó kapacitás [fő].

Szimulációk során  $a, b, c$  paraméterek segítségével vizsgálták meg, egyes összetevőknek milyen kihatása van a teljes rendszerre.

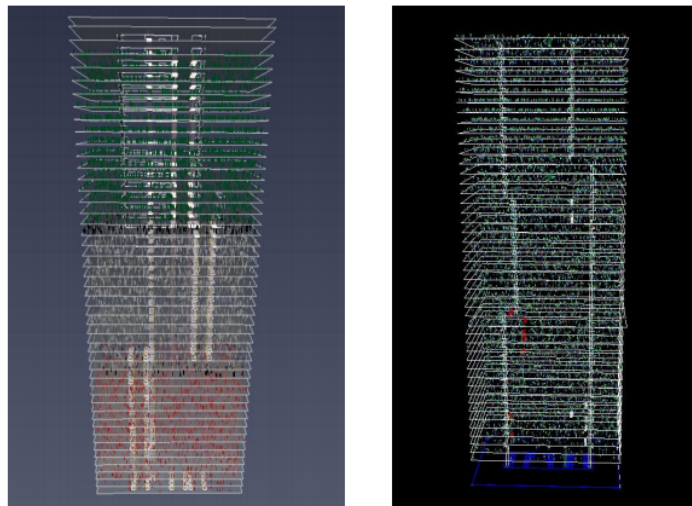
Categories	Number of exits (n)	Doorway width (m)	Occupant capacity (n)	RSET	ASET (for living)	RSET $\leq$ ASET?
Original design	4	1	462	517	380	No
Alternative#1	4	1	323	380	380	Yes
Alternative#2	8	1	462	378	380	Yes
Alternative#3	4	4	462	369	380	Yes

### 2. ábra – Vizsgálati eredmények [2]

A 2. ábrán látható, hogy egyes építészeti értékek kismértékű változtatása is könnyen dönthet emberéletekről. Végezetül összefoglalóként megemlítik, hogy a szimulációk gyorsan, hasznos eredményeket tudnak biztosítani egyes épület koncepciókhoz, már a tervezési szakaszban.

Eredményeikből látható, hogy könnyen vizsgálható, és igazolható értékekkel szerették volna bemutatni a kísérleteket, azonban nagyfokú számítási kapacitással, amivel személyi számítógépeink rendelkeznek manapság, sokkal kifinomultabb megoldások is léteznek a probléma megoldására. Nem elhanyagolható még az a tény, miszerint modelljük sokkal kevesebb sérülést és halálesetet jósol, mint az valóságban történt, ami a biztonság kárára történő tévedést eredményez.

Enrico Ronchi és Daniel Nilsson [3] kifinomult célprogrammal vizsgáltak kiürítési lehetőségeket magas épületek esetén. Modelljükben hol csak a lépcsőket, hol csak a lifteket, hol ezeket vegyesen engedték használni. Plusz lehetőségként megvizsgálták ég-hidak kialakításának lehetőségét is két torony között.

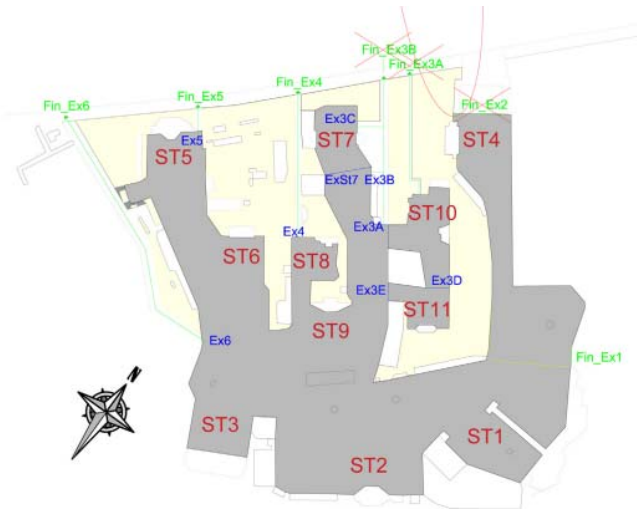


### 3. ábra – Vizsgálati modell [3]

Enrico Ronchi és társai [4] az előbb említett munkához hasonlóan célprogrammal vizsgáldtak, azonban most egy zenei fesztivált vettek szemügyre kiürítési szempontból. Három lehetséges forgatókönyvet vizsgáltak, egyik esetben egy hajón kirobbant tűz miatt 65.000 főből 15ezret

---

evakuálnak, második esetben teljes kiürítést modelleznek, harmadik esetben pedig egy lépcsőzetes teljes kiürítést.



**4. ábra** – Vizsgált fesztivál terület [4]

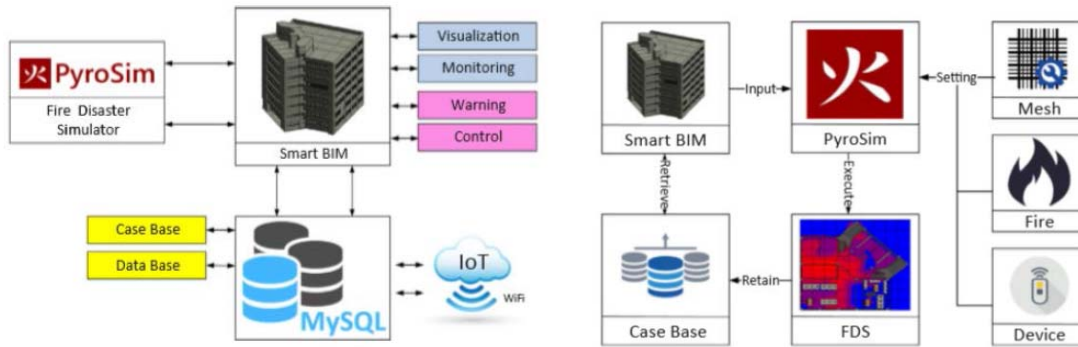
Mindkét kutatás eredményeként azt kapták a kutatók, hogy a szimulált evakuációs forgatókönyvek vizuális elemzéssel párosítva lehetővé teszik a kiürítési folyamatokat befolyásoló fő tényezők azonosítását, mint például az egyes kijáratok túlszűfolttségává válását. Ezen eredmények pedig a jövőben javítani tudják az egyes intézkedések biztonságosságát.

Azonban mindkét kutatás esetében elmondható, hogy valós kísérlet, mellyel validálva lennének az eredmények, nem történtek. Célszerű lenne minden egyes épület típushoz legalább egy ellenőrző valós kísérlet elvégzése, a megbízhatóság igazolásához.

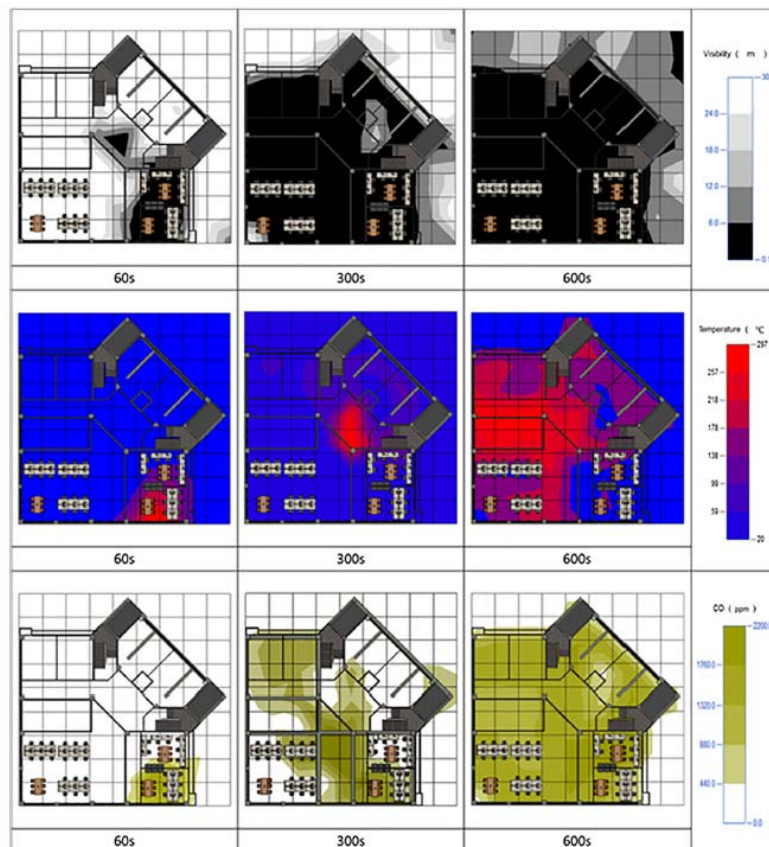
Xiu-Shan Chen és társai [5] egészen más irányban indultak el munkájukban. Tűz szimulációs eredményeket nem a tervezés állapotában szerették volna felhasználni, hanem egy meglévő épület esetleges tüzesete közben, úgy hogy a BIM rendszer nyújtotta megjelenítő rendszerbe integrálják azokat. Két részre osztható az integráció, az első részben az FDS (Fire Dynamics Simulation) és a BIM egymásba építése történik meg, ahol is az FDS által lefutott különböző paraméterű vizsgálatok egy adatbázisban tárolódnak, így a tűzoltók egy bejelentés alkalmával, gyorsan ki tudják keresni az esethez legjobban hasonlító eredményt, melyet a BIM segítségével meg is tudnak jeleníteni szöveg formátumban, 2D, vagy 3D nézetben.

Második részben az érzékelőkből adódó adatokat integráljuk az okos épületi tájékoztatókkal, így vész esetén a bent tartózkodóknak az okos tájékoztató eszközök azonnal tudják mutatni az optimális menekülési utat. Ezen technikákkal egyaránt a mentési, és a kiürítési sebesség is növelhető.



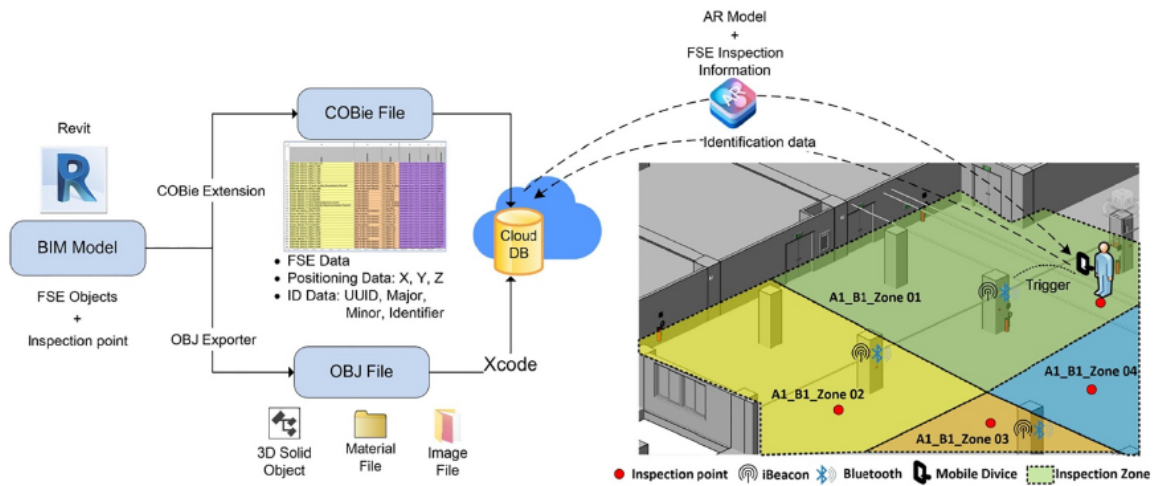


5. ábra – Elsődleges (balra) és másodlagos (jobbra) integráció [5]



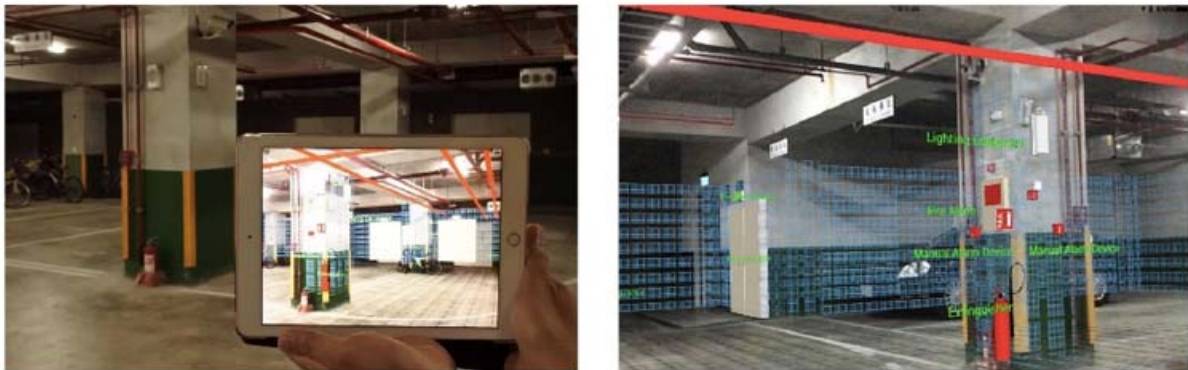
6. ábra – BIM Modellben megjelenített tűz szimulációs eredmények [5]

Yi-Jao Chen, Yong-Shan Lai, Yen-Han Lin [6] munkájukban a tűzvédelemnek egy fontos elemével foglalkoztak, az ellenőrzéssel, és a karbantartással, melyet szintén a BIM rendszerbe integráltak. A gyakran nagyon időigényesen átvizsgálható papíralapú információkat egyes tűz védelmi eszközökhöz rendelték a virtuális térben.



7. ábra – Integrált rendszer felépítése [6]

A létrehozott adatbázis egyrészt gyors átvizsgálhatóságot jelent, másrészt modern AR technológiával párosították, így az épületben körbejárva egy mobil eszközzel minden jelzőrendszert gyorsan megtalálhatunk és ellenőrizhetünk.



8. ábra – Rendszer működés közben [6]

Ebben a fejezetben láthattuk, hogy a modern szimulációknak, és a BIM felhasználása együttesen számtalan lehetőséget tartogat, mellyel a valós biztonságot fokozottan tudjuk növelni létesítményeinkben, rendezvényeinkben, vagy egy nagyon kiépült rendszer esetén akár városainkban.

---

### 3. BIM ismertetése

A BIM jelentése 1975 óta folyamatosan változik. Kezdetben az volt az elképzelés, hogy egy olyan modell készüljön, amiből egyszerűen, különös utómunka nélkül ki lehessen venni minden szükséges tervet, és a modell változtatásával minden terven a módosítások automatikusan átvezetésre kerüljenek [7].

Ma már leginkább BIM alatt azt értjük, hogy egy olyan CAD-alapú tervezésmódszertani folyamatok és irányelvek alkalmazásának összessége, amely lehetővé teszi az építmények létrehozásában és üzemeltetésében érdekelt szereplők (építetők, tervezők, kivitelezők, üzemeltetők) számára a valóságnak megfelelő virtuális térben történő együttműködést és információátadást, illetve a releváns adatok gyors és hatékony megjelenítését [8].

A BIM modellezés folyamatát optimális esetben minden projektszereplőnek ismernie kell a saját feladataira vonatkoztatva, azaz ismernie kell többek között a modellezési szintet is, ami megadja, hogy egyes elemek geometriai és attribútum tekintetében milyen részletességet kell elérjenek. Ezen fenti képességek összessége rendezi egy virtuális térbe, és egy időbe a világ akár bármely pontján elhelyezkedő, esetünkben tűzvédelmi szereplőket [8].

Napjainkban a BIM kifejezés kapcsán 4D-s, 5D-s, vagy akár 6D-s modellekről szoktak beszélni. Az első három dimenziót természetesen maga az épület szerkezeti elemeinek három irányú kiterjedése (geometriája) adja meg. BIM-ről onnantól beszélünk általában, ha ezekhez az objektumokhoz valamiféle többletinformációt társítunk. Negyedik dimenziós BIM-modell esetében a korábbi adatokhoz az épületelem kivitelezési ideje, ütemezése szokott társulni. 4D BIM-szoftverrel akár animáció is készíthető a kivitelezésről előre, a jobb szervezés, könnyebb érthetőség érdekében. Ötödik dimenziós BIM-modelleknél további információként jelennek meg az egyes építési költségek. Használatával költségbecslések, vagy akár pontos pénzügyi ütemezések készíthetőek. Hatodik dimenziós BIM-modellnél csatolásra kerülnek egyes energetikai, épületfizikai tulajdonságok, így az épület energiafelhasználása és fenntarthatósága optimalizálhatóvá válik. Napjaink legfejlettebb szintje a hetedik dimenziós BIM-modell, ahol egyes elemekhez felhasználói leírásokat, specifikációkat, garanciákat csatolhatunk, ezzel az épület használati fázisában létesítménygazdálkodási folyamatokat és az azokat kiszolgáló rendszereket támogathatunk.

---

Dimenzió	Tulajdonságok
2D (CAD)	2D síkokra vetített vektorgrafikus módszer
3D (CAD)	Térbeli geometria
3D BIM	Térbeli geometria csatolt információval
4D BIM	A 3D BIM-en túl időbeli ütemezhetőség
5D BIM	A 4D BIM-en túl költségek
6D BIM	Az 5D BIM-en túl épületfizikai, energetikai
7D BIM	A 6D BIM-en túl a fenntartható használathoz szükséges információk

***1. táblázat – BIM Dimenziók***

Fontos megemlíteni, hogy jelenleg nincsen mindenki által elfogadott BIM szabvány, és folyamatosan folyik a fejlesztése, így egyes megnevezések, fogalmak definiálása országok között napjainkban még néha igencsak nehézkes.

## 4. Tűzvédelem

### 4.1. Hatályos előírások

Első lépésben a tűzvédelmi tervezés építészeti oldalon történik, kezdetben az épület kategóriába sorolják, magas, középmagas és többszintes lehetőségek közül. Következő lépésben tűzállósági fokozat meghatározása és az épületszerkezetekre vonatkozó tűzvédelmi követelmények kigyűjtése történik. Majd nettó összesített szintterület, valamint funkció és a tűzállósági fokozat alapján meghatározzák a tűzszakaszok számát, diszpozícióját, határokat, és azok helyét. Végül egyéb tűzvédelmi kérdésekkel foglalkoznak [9].

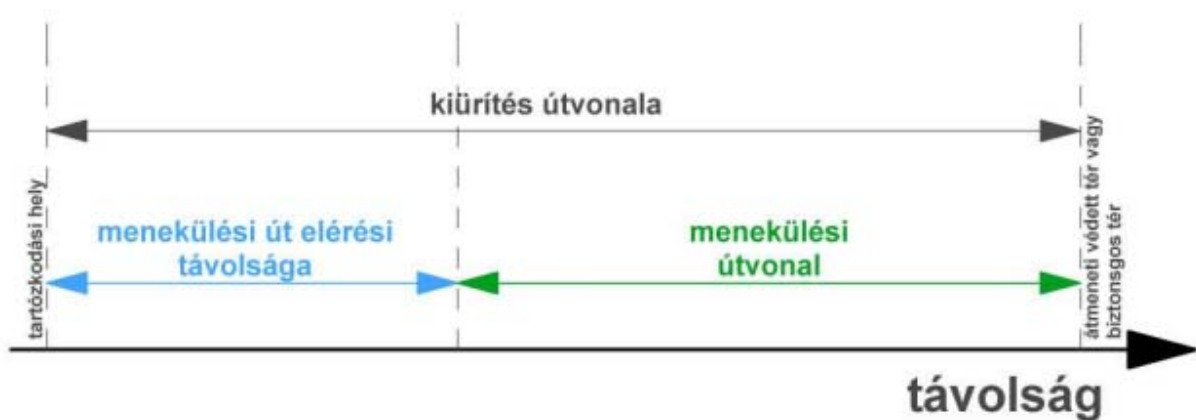
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	<b>Mértékadó kockázati osztály</b>		NAK	NAK	NAK	AK	AK	AK	KK	KK	KK	MK	MK	MK
2	Épület, önálló épületrész szintszáma [a 12. § (4) bekezdése alapján]		1-2 Ipari, mezőgazdasági, tárolási alaprend. esetén	3 Ipari, mezőgazdasági, tárolási alaprend. esetén	4	1-2	3	4-7	1-2	3-6	7-15	1-2	3-15	>15
			1-3 lakó alaprend. esetén	1-3 Közöségi alaprend. esetén										
3	Építményszerkezet	Kritérium	Elvárt tűzállósági teljesítmény és tűzvédelmi osztály											
4	Teherhordó építményszerkezetek, a födémek és a legfelső szint lefedését biztosító szerkezet kivételével - a tűzterjedésgátlásban szerepet játszó falakra EI kritérium is vonatkozik - a pincszinti szerkezetek tűzvédelmi osztálykövetelménye legalább A2, tűzállósági teljesítménykövetelménye legalább R30	R	15 D	30 D	60 D	30 D	30 C	60 A2	30 A2	60 A2	90 A2	60 A2	90 A2	120 A2
5	Pincszint feletti, emeletközi, tetőtér alatti és padlásfödémek - a tűzterjedésgátlásban szerepet játszó födémekre EI kritérium is vonatkozik - a pincszint feletti szerkezetek tűzvédelmi osztálykövetelménye legalább A2, tűzállósági teljesítménykövetelménye legalább R30	R	15 D	30 D	60 D	30 D	30 C	60 A2	30 A2	60 A2	90 A2	60 A2	90 A2	90 A2
6	Tetőfödémek és a legfelső szint lefedését biztosító teherhordó szerkezetek - a szerkezetre vonatkozó EI kritériumtól el lehet tekinteni, ha a szerkezet megnyílása, átmelegedése a szerkezet környezetét nem veszélyezteti és a szerkezet vagy valamelyik részének meggyulladás nem jár a tűz jelentős tetőfelületre való kiterjedésének veszélyével	REI	15 D	15 D	30 D	15 D	15 D	30 A2	30 D	30 A2	60 A2	30 A2	60 A2	60 A2

### 2. táblázat - Építményszerkezetek tűzvédelmi osztályára és tűzállósági teljesítményére vonatkozó követelmények [9]

A meghatározott tűzvédelmi osztállyal, és tűzállósági követelményekkel statikus tervezők dolgoznak tovább, kik a szerkezeti elemeket, szerkezetet, épületet az adott időtartamra méretezik. Számukra kettő lehetőség van a tervezésben, első sorban a hagyományos normatív módszer, ahol az OTSZ által előírt tűzállósági időnél nagyobb tűzállósági határérték teljesítményt kell igazolni minősítések vagy laborkísérletek alapján. Hagományos eljárások hátrányai, hogy laborkísérletek, csak egy adott esetre szólnak, kiterjesztésük pedig csak korlátozott mértékben engedélyezett, illetve a kísérletek rendkívül költségesek. Másik lehetőség a mérnöki módszerek alkalmazása, ahol az OTSZ által előírt tűzállósági határértéket hasonlítjuk össze egy az Eurocode szerinti számított tűzállósági határérték teljesítménnyel. Ezek lehetnek táblázatos adatok (beton, vasbeton, öszvér), egyszerű számítási módszerek, vagy

részletes számítási módszerek (acél, öszvér, beton, vasbeton, fa). Ezen módszerek szabványosítva vannak, és nagyszámú laborkísérlettel igazolt számítási eljárások, amiket az OTSZ laborkísérlettel egyenrangúan megengedi.

Láthatjuk, hogy tartószerkezeti szempontból igen sok munkával előállított méretezés eljárások állnak rendelkezésünkre egy-egy szerkezet tervezésekor, melyekből szinte minden esetben a számítógépes igazolt kísérleteket alkalmazzuk. Azonban ha azt kezdjük el vizsgálni, hogy a meghatározott tervezési idő alatt ki tudnak-e menekülni a bent tartózkodók, akkor lehetőségeink még nem ennyire kiforrottak. A kiürítési útvonalat, háromféleképpen vizsgálhatjuk:



9. ábra – Kiürítési útvonal felépítése [10]

- Kiürítés útvonalának geometriáján alapuló módszer
- Az össznépeség átlagos menekülőképességén alapuló számítási módszer
- Számítógépes szimulációk OTSZ szabályok alapján

#### 4.2. Kiürítés útvonalának geometriáján alapuló módszer [10]

A kiürítés első szakaszának vizsgálatakor a helyiség vagy helyiségcsoport kiürítése során a kiürítési útvonal, lépcső, ajtó vagy szűkület legkisebb szabad szélessége a 3. táblázatban foglaltaknál kisebb nem lehet.

Helyiségből kiürítendő vagy a kiürítési útvonalon áthaladó létszám (fő)	kiürítési útvonal szabad szélessége [m]	Lépcsőkar szabad szélessége (lépcsőkorlát nélkül) [m]	beépített ajtó legkisebb szabad szélessége [m]
0-10 fő	0,60	0,60	0,60
11-50	1,1	1,1	0,80
50 fő felett	10 mm x a kiürítendő létszám, de minimum 1,1 m	12 mm x a kiürítendő létszám, de minimum 1,1 m	12 mm x a kiürítendő létszám (egyetlen ajtó szabad belmérete sem lehet kisebb 0,80 m-nél)

3. táblázat – Legkisebb szabad szélességek [10]

Továbbá a lakáson belül a kiürítés útvonalának szabad szélességét nem szükséges vizsgálni, kivéve az OTÉK, a lépcső legkisebb szabad szélességére vonatkozó előírását. Helyiségen belül a kiürítés vízszintes útvonalának első 15 m-nek szabad szélességét akkor kell vizsgálni, amennyiben az azon keresztül kiürítendő létszám az 50 főt meghaladja. Az első szakasz kiürítése a biztonságos vagy védett térbe, esetleg menekülési útvonalra nyíló ajtó, lépcső szabad szélességének ellenőrzésével ér véget.

A kiürítés második szakaszánál a menekülési útvonalon haladás során a menekülési útvonal, lépcső, ajtó, vagy szűkület legkisebb szabad szélességét kell ellenőriznünk a harmadik táblázat alapján. Ezen értékeknél kisebb nem lehet.

Helyiségből kiürítendő vagy a kiürítési útvonalon áthaladó létszám (fő)	kiürítési útvonal szabad szélessége (m)	Lépcsőkar szabad szélessége (m)	beépített ajtó legkisebb szabad szélessége (m)
0-50	1,10	1,10	0,80
50 fő felett	5 mm x a kiürítendő létszám, de minimum 1,10 m	8 mm x a kiürítendő létszám, de minimum 1,10 m	5 mm x a kiürítendő létszám (egyetlen ajtó szabad belmérete sem lehet kisebb 0,80 m-nél)
Segítséggel menekülők esetén	10 mm x a kiürítendő létszám, de minimum 1,20 m	16 mm x a kiürítendő létszám, de minimum 1,20 m	10 mm x a kiürítendő létszám, de minimum 1,20 m
Önállóan menekülni nem képes személye esetén	10 mm x a kiürítendő létszám, de minimum 1,80 m	16 mm x a kiürítendő létszám, de minimum 1,50 m	10 mm x a kiürítendő létszám, de minimum 1,80 m

#### 4. táblázat – Legkisebb szabad szélességek [10]

Amennyiben az épület szakaszos kiürítési koncepcióval tervezett (pince szintek kivételével), a lépcsőkarok szélességét a két legnagyobb létszámot adó és szomszédosan elhelyezkedő kiürítési egységének (egymás feletti tűszakaszainak, vagy egyidejűleg kiürítendő területeinek) maximális létszámára kell méretezni, de nem lehet kevesebb a minimálisan megadott szélességeknél. Amennyiben az épület egyidejű kiürítési koncepcióval tervezett, vagy a lépcsőházak pinceszint(ek)et szolgálnak ki, a lépcsőkarok minimális összes szélessége az 5. táblázat alapján határozandó meg.

A lépcsőkar minimális szélessége, személyenként, az összes szint számának függvényében [mm/fő]										
1 szint	2 szint	3 szint	4 szint	5 szint	6 szint	7 szint	8 szint	9 szint	10 szint	10+ szint
8,0	7,6	7,2	6,8	6,4	6,0	5,6	5,2	4,8	4,4	4,0
De nem lehet kevesebb 1,10 m vagy önállóan nem menekülők esetében 1,5 m										

#### 5. táblázat – Lépcsőkarok minimális szélessége [10]

A lépcsőházból kivezető kiürítésre szolgáló ajtó(k) összesített szabad szélessége a lépcsőkar méretezés alapján szükséges szabad szélességénél kisebb nem lehet.

#### 4.3. Az össznépeség átlagos menekülő képességén alapuló számítási módszer [10]

##### 4.3.1. Épület, építmény kiürítés időtartama az útszakaszok hossza alapján

$$t_{3a} = \sum_{i=1}^n \frac{S_{3i}}{v_i} \quad (2)$$

ahol	$t_{1a}$	legkedvezőtlenebb útvonalból és a haladási sebességből meghatározott idő percben [min],
	$S_{3i}$	helyiségcsoportnak a legtávolabbi kijáratától a biztonságos térbe vezető kijáratig vett útvonalainak meghatározott együttes hossza, amely együttesen a legnagyobb [m],
	$v_i$	létszámsűrűségtől függő haladási sebességek [m/min].

##### 4.3.2. Épület kiürítés időtartama a kiürítési útvonal szabad szélességének átbecsátóképessége alapján

$$t_{3b} = t_{y2} + \frac{N_3}{k \sum_{i=1}^n l_{3szi}} + \sum_{i=1}^n \frac{S_{3i}}{v_i} \quad (3)$$

ahol	$t_{3b}$	vizsgált építmény a kiürítési időtartama a kiürítési útvonal szabad szélességének átbecsátóképessége alapján percben [min],
	$t_{y2}$	legsűkebb keresztmetszet eléréséhez szükséges idő, a kiürítésnél számításba vett, hozzá legközelebb eső helyiség legközelebbi ajtajától mérve, az útszakaszok alapján, percben [min],
	$N_3$	útvonalon számításba vett szűkítésen menekülő személyek száma [fő],
	$k$	kiürítési útvonal szabad szélességének átlagos átbecsátóképessége $41.7 \frac{f\ddot{o}}{m \ min} = \frac{50f\ddot{o}}{1,20m \ 1min}$ ,
	$l_{3szi}$	építmény útvonalának meghatározott számításba vett legsűkebb keresztmetszetet adó szabad szélessége [m],
	$S_{3i}$	helyiségcsoportnak a legtávolabbi kijáratától a biztonságos térbe vezető kijáratig vett útvonalainak meghatározott együttes



---

$v_i$  hossza, amely együttesen a legnagyobb [m],  
létszámsűrűségtől függő haladási sebességek [m/min].

#### 4.3.3. Épület kiürítés időtartama a kiürítés során számításba vett biztonságos térbe vezető nyílászárók átbecsátóképessége alapján

$$t_{3c} = t_{y3} + \frac{N_3}{k \sum_{i=1}^n l_{3szi}} \quad (4)$$

ahol  $t_{3c}$  a vizsgált épület, építmény kiürítési időtartama a biztonságos térbe vezető nyílászárók, falnyílások átbecsátóképessége alapján, percben [min],

$t_{y3}$  biztonságos térbe vezető nyílászárók, falnyílások eléréséhez szükséges idő [min],

$N_3$  épületből menekülők száma [fő],

$k$  kiürítési útvonal szabad szélességének átlagos átbecsátóképessége  $41.7 \frac{f\ddot{o}}{m \text{ min}} = \frac{50f\ddot{o}}{1,20m \text{ min}}$ ,

$l_{3szi}$  a biztonságos térbe vezető nyílászárók, falnyílások szabad nyílás-szélessége, méterben [m],

#### 4.3.4. Számítógépes szimuláció [11]

A kiürítés várható időtartama vizsgálható számítógépes szimuláció segítségével is. Lehetőségünk van vizsgálni a kiürítési időt (traveltime), amikor az épület fizikai kiüríthetőségét vizsgáljuk meg, illetve menekülési időt is vizsgálhatunk, ekkor a menekülésre rendelkezésre álló időt (ASET) és a biztonságos meneküléshez szükséges időtartamot (RSET) vetjük össze. Ennek során alkalmazni kell a késleltetésre vonatkozó lehetőségeket és a tűz, füstterjedési szimuláció eredményeit.

A szimuláció megfelelőnek tekinthető, ha a kiürítési normaidőn vagy a tűz- és füstterjedési szimuláció során meghatározott időn belül a helyiség, tűzszakasz, épület, építmény, szabadter kiüríthető.

A Tűzvédelmi Műszaki Irányelv [11] javaslatokat is tesz az alkalmazható programokra.

Program megnevezése	Fejlesztő országa	Rövid leírás
Building EXODUS	UK	Komplett viselkedési modell
FDS EVAC	USA	Áramlási alapon működő mozgási modell
PATHFINDER	USA	Mozgási modell
STEPS	UK	Mozgási modell torlódások vizsgálatához

**6. táblázat** – Alkalmazható kiürítést vizsgáló programok [11]

#### 4.4. Módszerek összegzése

Láthattuk, hogy a kiürítésre vonatkozó vizsgálatok, többnyire csak építészeti jogszabályokon, és egyszerű képleteken alapulnak, melyeknek alkalmazása sokszor nem is teljesen egyértelmű. Főként napjainkban, ahol épületeink a növekvő funkciók egybesűritése miatt egyre bonyolultabbá válnak. Ezek a tűz biztonság-becslési módszerek, kockázati elemzések nem fedik le egy-egy épület teljes életciklusát, és komplex tűzvédelmét sem. A nem komplex tűzvédelem miatt, úgynevezett kritikus helyek és időtartamok alakulhatnak ki, melyek emberi életet veszélyeztetnek. Megoldást a még nem elterjedten alkalmazott szoftveres kiürítési vizsgálatok jelenthetik. Ezen 3D szoftverek alkalmazása dinamikus használatra történő tervezést tesznek lehetővé, így különböző szereplők (tervezők, hatóságok, üzemeltetők) egyszerre vehetnek részt egy-egy épület életciklusában a digitális térben, mellyel nagyfokú valós biztonság érhető el. Céлом a következő fejezetben bemutatni ezen modern megoldás alkalmazhatóságának lehetőségét, és szükségességét.

---

## 5. Kiürítés szimulációk

### 5.1. Alkalmazott program bemutatása

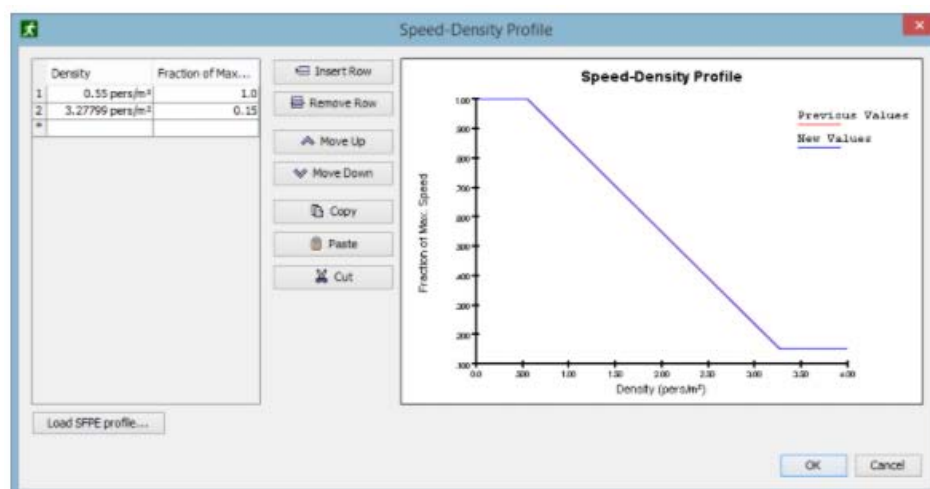
Munkám során a Tűzvédelmi Műszaki Irányelv [11] szerint javasolt Pathfinder elnevezésű, amerikai fejlesztésű programot használtam, mely egy mozgás szimulátor, amely grafikus felületet biztosít szimuláció tervezéséhez, kivitelezéséhez, és az eredmények megjelenítéséhez. A szoftver két fajta módot tartalmaz, a „Steering” eljárás az inverz viselkedés gondolatán alapszik. Ez a fajta magatartás elsőnek Craig Reynolds [12] munkájában jelent meg, majd később Ben Amor [13] cikkében finomítottak rajta. Ez a mód lehetővé teszi bonyolultabb viselkedések természetes megjelenítését, ahol az egyes alanyok egymással interakcióba léphetnek, így nincsen szükség sűrűsegelemzésre.

Második mód megvalósítja a SFPE Tűzvédelmi Mérnöki Kézikönyv [14] koncepcióit. Ez egy áramlási modell, ahol a járási sebességet az egyes helyiségekben tartózkodók sűrűsége határozza meg, és az ajtókon történő áramlást az ajtó szélessége szabályozza.

### 5.2. Alkalmazott program verifikációja és validációja

A program fejlesztői számtalan kialakulható szituációra vizsgálták meg a szoftvert. A verifikációban azt vizsgálták, hogy az eredmény egyezik-e azzal az értékkel, amit a program műszaki referenciájában megadtak, míg validáció során valós kísérleteket hajtottak végre, ezzel igazolva a program helyességét. A következőkben egy ilyen folyamat kerül bemutatásra.

Elsőnek alapvető diagram teszttel verifikálták a programot, ebben az esetben egy séta sebesség-ember sűrűség diagramot állítottak elő, ami látszódik a 10. ábrán.

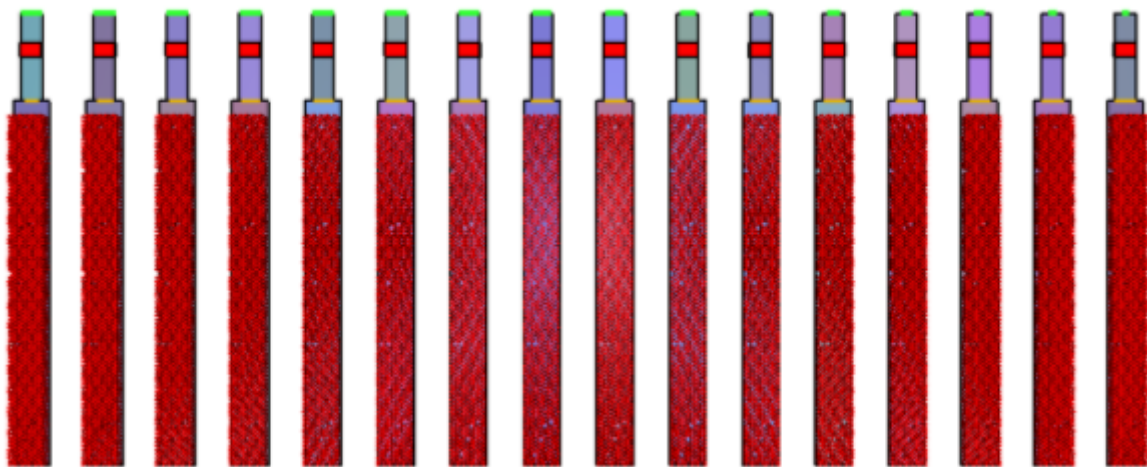


10. ábra – Sebesség-sűrűség diagram [15]

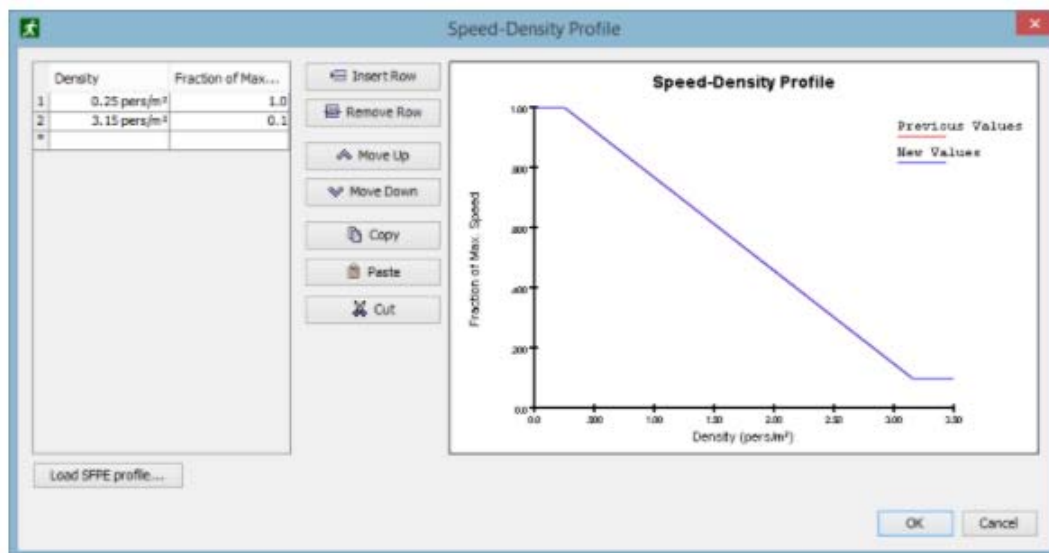
---

A normalizált sebesség-sűrűség profil korreál az SFPE [16] által definiált diagramhoz, annyi módosítással, hogy a sebesség itt nem csökken le teljesen nullára.

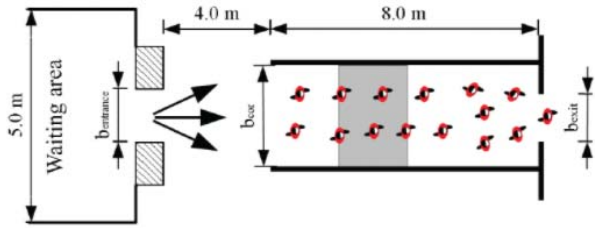
J. Zhang és társai [17] egy kísérlettel validálták munkájukban a program által szolgáltatott adatokat az egy és kétirányú ember áramlásának sebességére vonatkoztatva. Szimulációk során hat esetben alkalmaztak alacsony sűrűségű felépítést, ahol a bejárat szélessége 2-3m között változott, majd tíz esetben magas sűrűségű eseteket vizsgáltak, ahol az ajtó szélességet 3-1m között változtatták. Az egyensúlyi eredmények biztosítása érdekében minden szimuláció során ezer embert alkalmaztak.



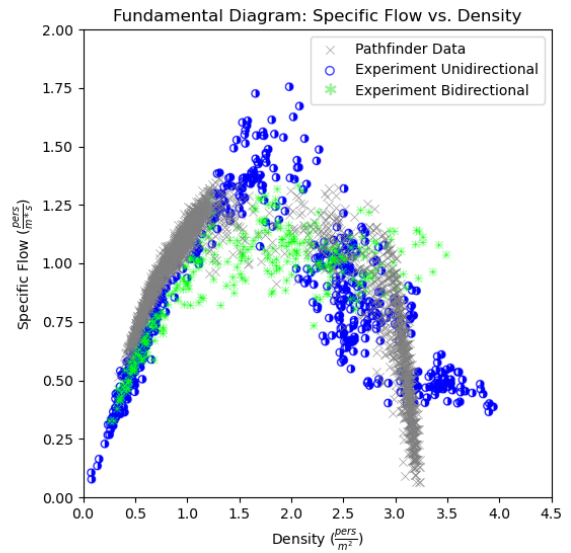
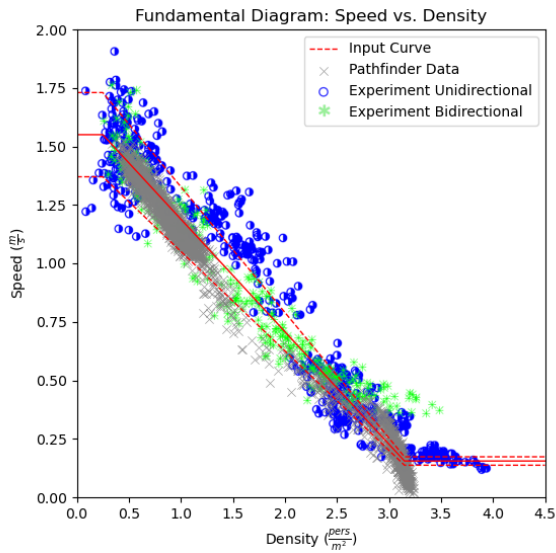
*11. ábra – Pathfinder modell [17]*



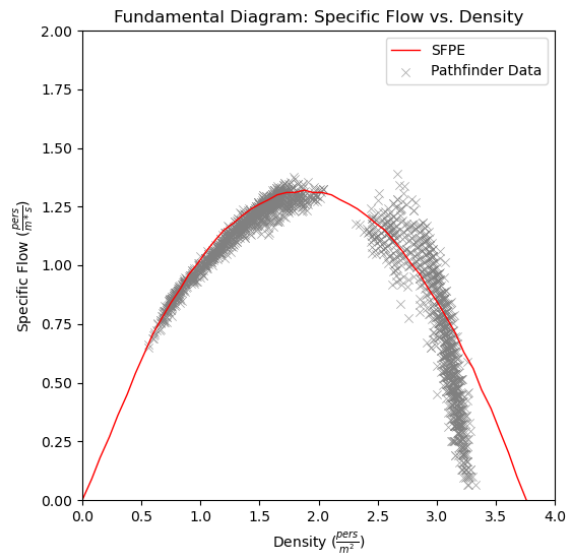
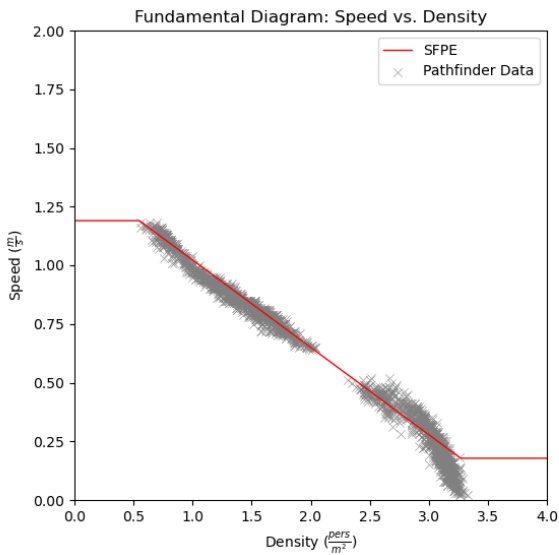
*12. ábra – Alkalmazott sebesség-sűrűség diagram [17]*



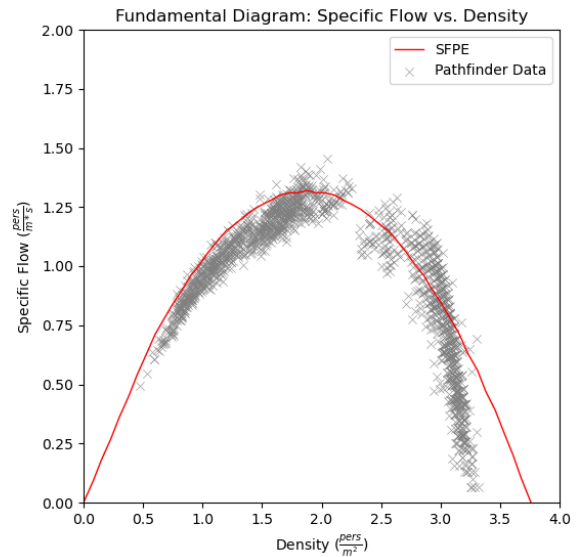
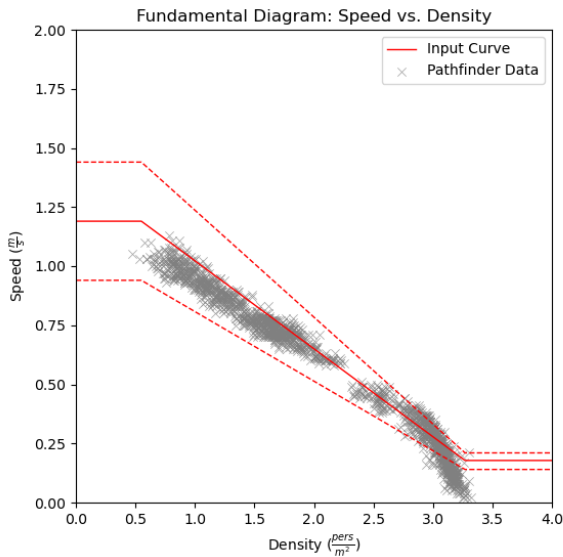
13. ábra – Modell felépítése (balra), Valós kísérlet (jobbra) [17]



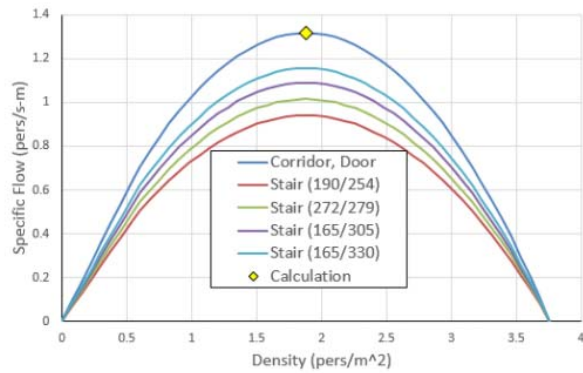
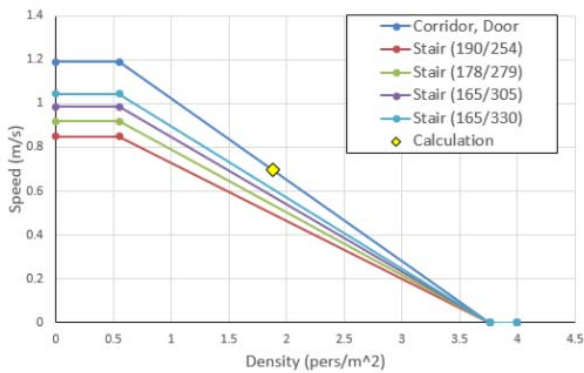
14. ábra – Egy és kétirányú gyalogos áramlás diagramjai [17]



15. ábra – Sebesség-sűrűség diagramok [17]



16. ábra – Sebesség-sűrűség diagramok [17]



17. ábra – SFPE [16] által definiált diagramok [17]

Eredményeikben a SFPE [16]-hez képest magasabb sebesség értéket kaptak a menekülni próbáló emberekhez, illetve szignifikánsan nagyobb értéket a fajlagos áramlásra, bár a tanulmány nagy változásokat jegyez meg a kísérlet kismértékű megváltoztatása esetén is.

Összegzésül elmondható, hogy modell megismétli a bemeneti sebesség-sűrűség görbét, a kiszámított pontok kis mértékben a bemeneti görbék alatt vannak, így az eredmények kicsit konzervatívák. A fajlagos áramlási számítások megegyeznek a várt eredményekkel, ez azt mutatja, hogy a program helyesen használja a bemeneti (SFPE [16]-ben előírt) sebesség-sűrűség görbét a számításokban.

---

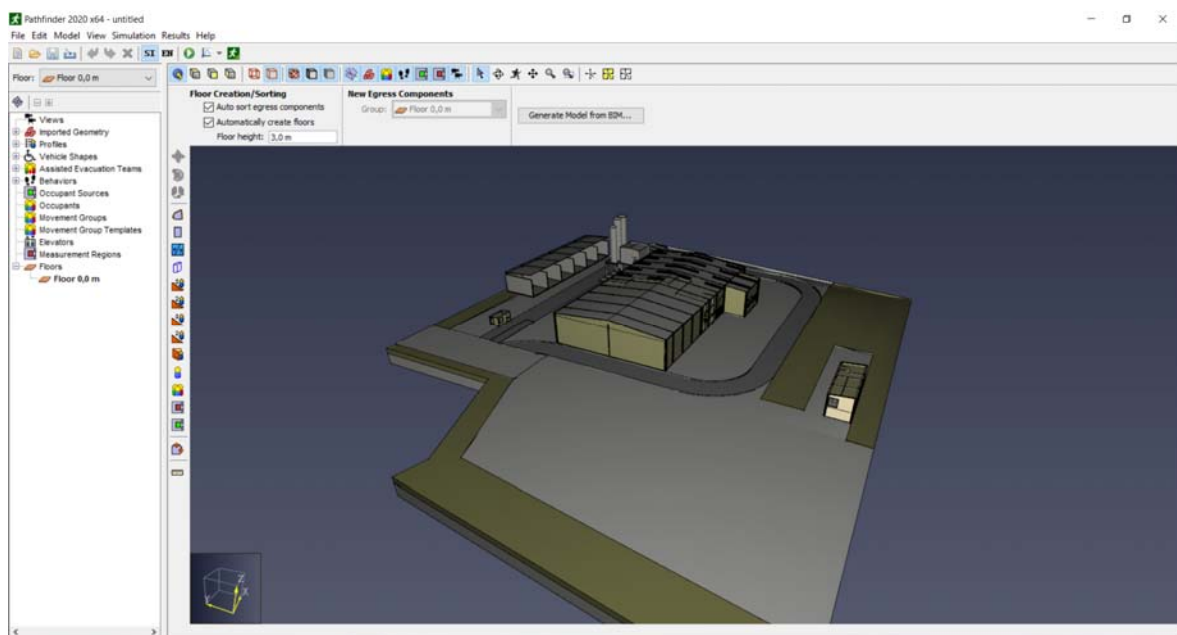
### 5.3. Ipari épület vizsgálata

Elsőnek vizsgált épületem egy acél szerkezetű ipari csarnok, mely belseje ketté van osztva egy hátsó gépesített automata raktárra, az eleje pedig a termelést végzi egy kis kiszolgáló résszel.

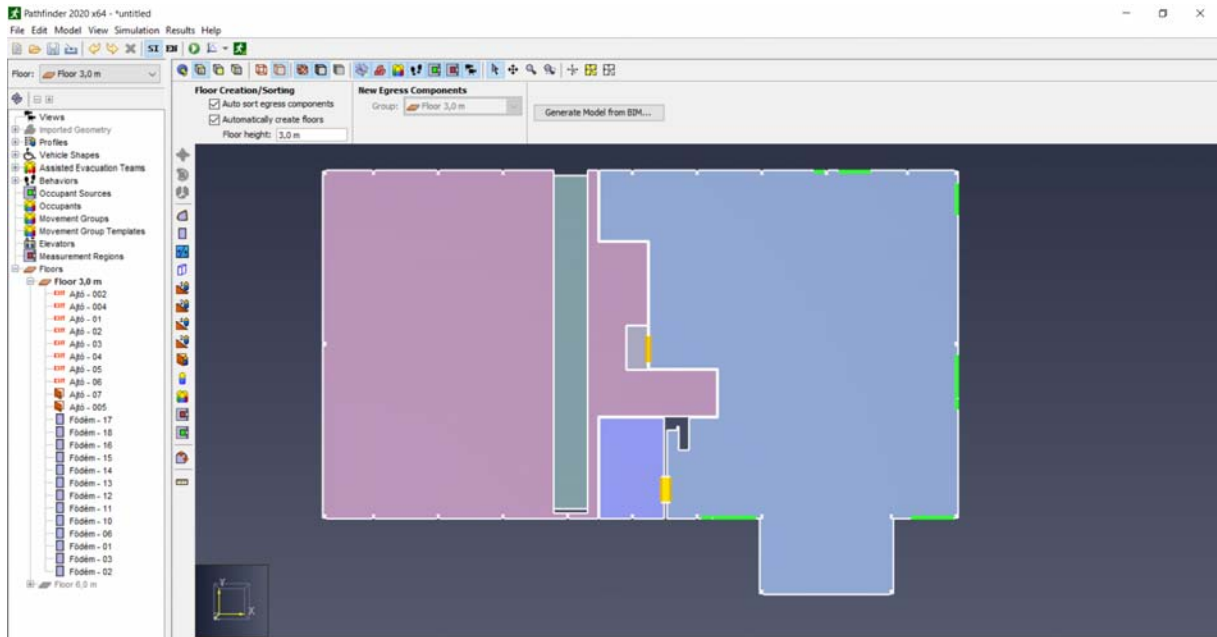


**18. ábra** – Ipari épület IFC nézete

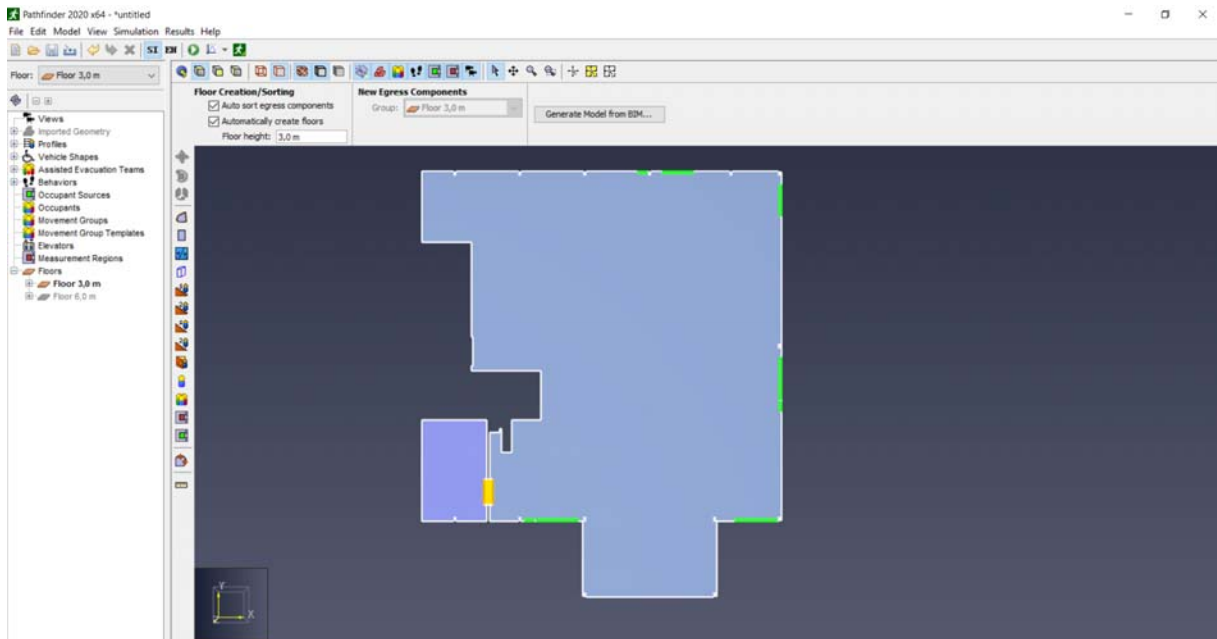
A Pathfinder program lehetőséget nyújt arra, hogy elkészült modellünk elemeit IFC formában beolvassuk, és ebből készítsük el a kiürítés vizsgálatához szükséges modellt. Az IFC formátum egy független és nyílt 3D-objektum-alapú szabvány és fájlformátum, amely a különböző fejlesztőktől származó építőipari CAD szoftverek közötti információátadást teszi lehetővé azáltal, hogy képes leírni az építőiparban használt, grafikus és nem grafikus adatokkal ellátott térbeli épületelemeket [8].



**19. ábra** – Pathfinderbe importált modell



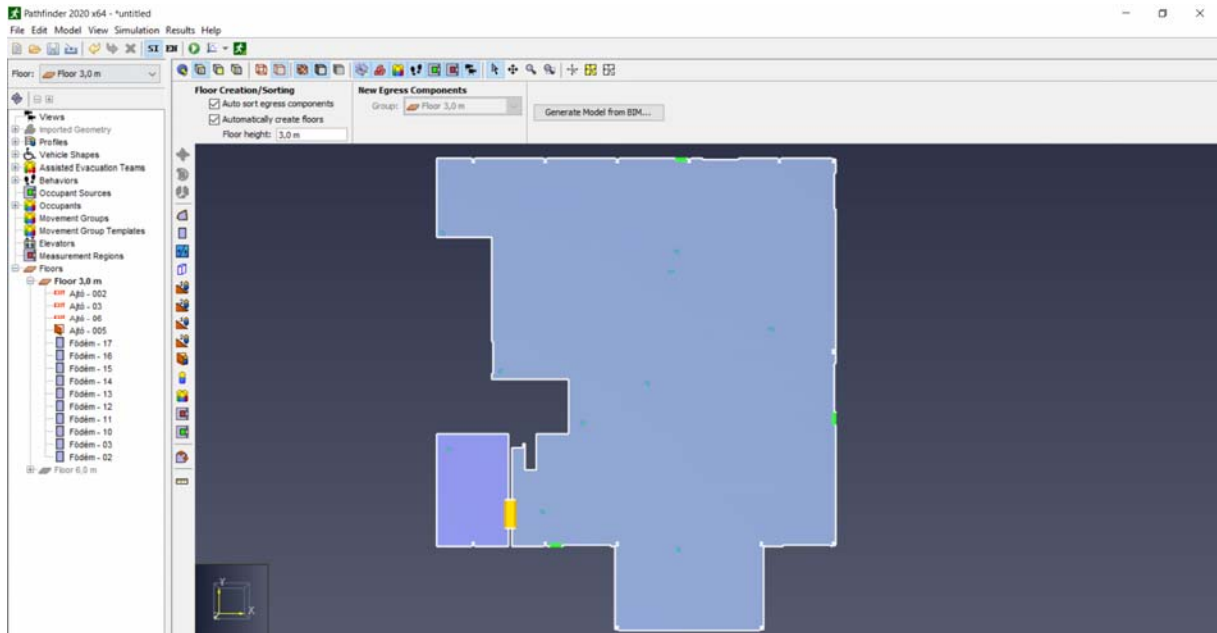
20. ábra – Csarnok alaprajzi nézete felülről



21. ábra – A vizsgálni kívánt belső termelő terület

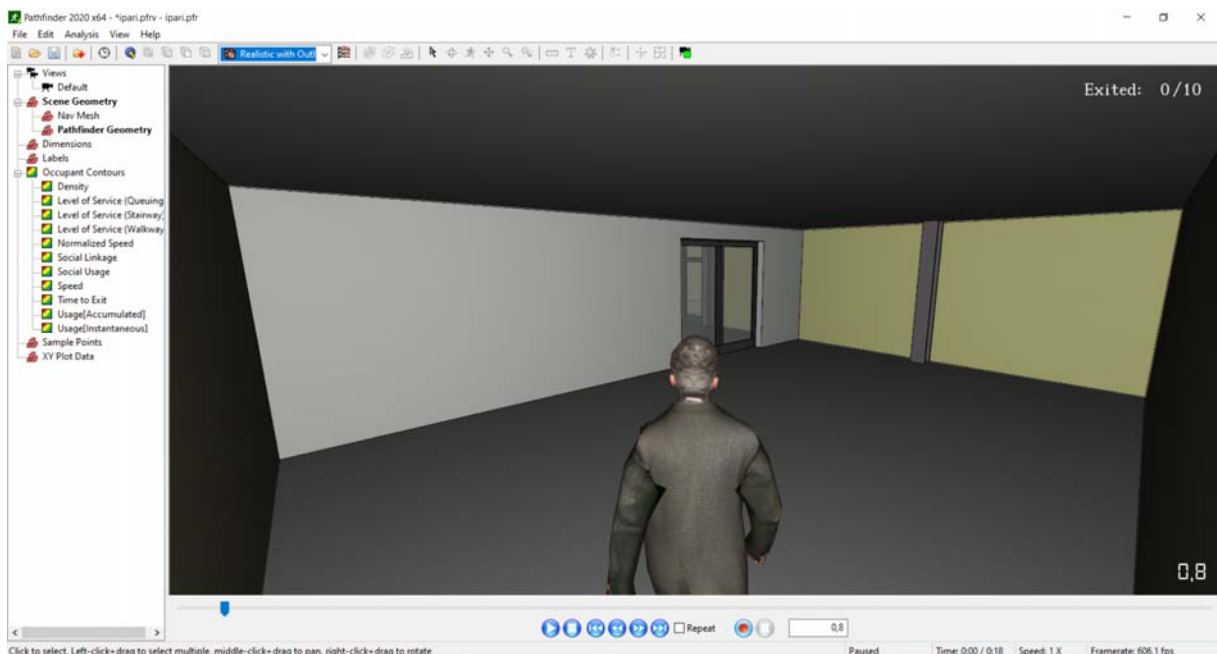
A 22. ábrán láthatjuk a vizsgálni tervezett alaprajzi területet, továbbá a belső terekben átjutást biztosító ajtó sárgával került jelölésre, zölddel pedig a kiürítés első szakaszával véget érő védett térbe kerülési helyeket láthatjuk, azaz a külvilágba vezető ajtókat/kapukat.





*22. ábra – Elhelyezett emberek*

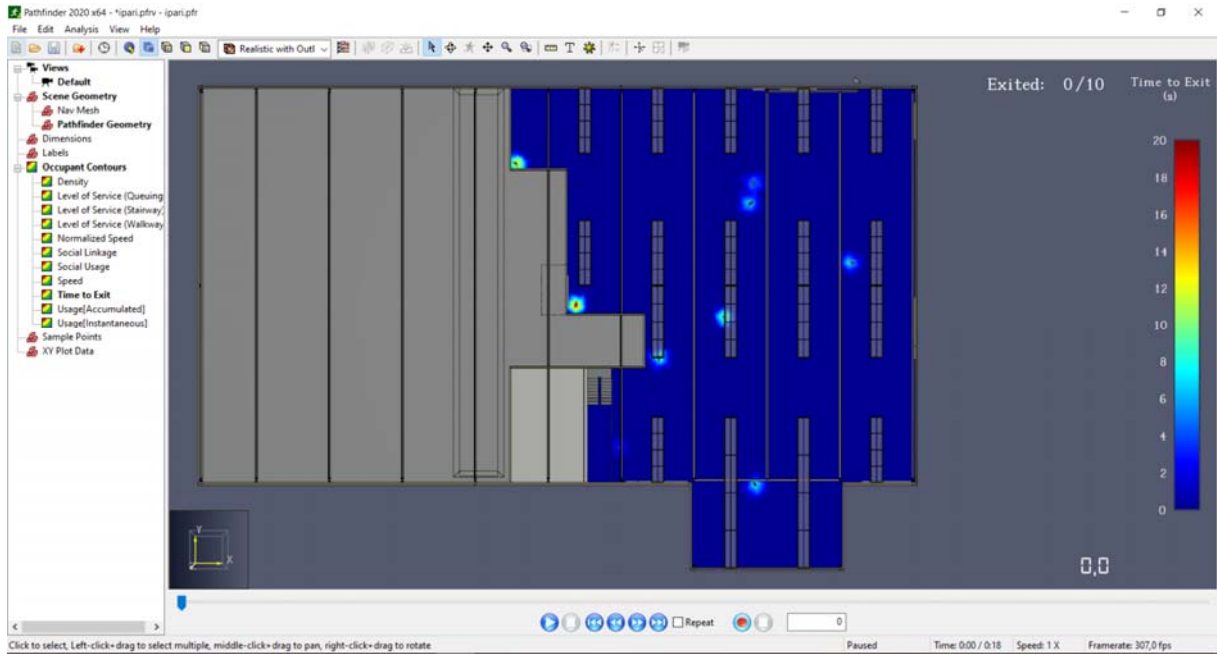
A menekülési szimulációban az ipari kapuk tüzesetben történő lassú nyithatóságuk miatt eltávolításra kerültek. A modellhez hagyományosan viselkedő tíz felnőtt ember került hozzáadásra, akik a kijáratok irányába indulnak el azonnal. A vizsgálat során a SFPE [16] által definiált sebesség-sűrűség görbét használtam, és maximális sebességnek 1.19m/s-ot állítottam be. A korábban ismertetett „Steering” módszerrel végeztem el a szimulációkat.



*23. ábra – Belső közösségi térben tartózkodó személy szemszögéből a kiürítés kezdete*

Leghosszabb idő [s]	Legrövidebb idő [s]	Átlag idő [s]	Leghosszabb út [m]	Legrövidebb út [m]	Átlag táv [m]
18.30	3.00	10.80	20.90	2.90	12.00

7. táblázat – Vizsgálati eredmények



24. ábra – Kijúthoz szükséges idő elhelyezkedés alapján

Az OTSZ követelményei szerint, a vonatkozó TvMI alapján a szükséges kiürítési idő az útszakaszok hossza alapján a következőkből adódik össze.



25. ábra – Legtávolabbi pont méterben

A helyiségben, vagy a veszélyeztetett területen áthaladók létszámsűrűsége		Vízszintes haladási sebesség m/min [m/s]	Haladás lépcsőn, m/min [m/s]	
(fő/m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /fő)		lefelé	fölfelé
0,5 alatt	2 fölött	40,00 [0,67]	32,00 [0,53]	30,00 [0,25]
0,5-től 1-ig	2-től 1-ig	37,00 [0,62]	30,00 [0,53]	28,00 [0,46]
1-től 2-ig	1-től 0,5-ig	29,00 [0,48]	23,00 [0,38]	21,00 [0,36]
2-től 3-ig	0,5-től 0,33-ig	17,00 [0,28]	14,00 [0,23]	13,00 [0,21]
3 felett	0,33 alatt	6,00 [0,10]	5,00 [0,08]	4,00 [0,07]

**8. táblázat** – Haladási sebességek létszámsűrűségtől függően [10]

Az alkalmazott leghosszabbnak választott táv látszódik a 25. ábrán, ez 21.91m-re adódott, mely távolság kisebb, mint az OTSZ által maximálisan meghatározott 45 méter, így megfelelő. Létszámsűrűségtől függő haladási sebességnek 37.00 m/min-t választottam a kevés ajtónál kialakuló esetleges tömörülés miatt.

Legtávolabbi pont a kijárattól [m]	Létszámsűrűségtől függő haladási sebesség [m/min]	Építmény kiürítés időtartama az útszakaszok hossza alapján [s]
21.91	37.00	35.53

**9. táblázat** – Kiürítéshez szükséges idő útszakaszok hossza alapján (2.) egyenlettel számolva  
Másik lehetséges módszer, amit meg kell vizsgálnunk az építmény kiürítési időtartama a kiürítési útvonal szabad szélességének átbocsátóképessége alapján. A szűkítésen menekülők számánál három embert vettem figyelembe, ugyanis a tíz fő, nem mind egy ajtón át távozik.

Legszűkebb keresztmetszet eléréséhez szükséges idő [min]	Útvonalon számításba vett szűkítésen menekülő személyek száma [fő]	Kiürítési útvonal szabad szélességének átlagos átbocsátóképessége [fő/m min]	Építmény útvonalának meghatározott számításba vett legszűkebb keresztmetszetet adó szabad szélessége [m]
0.08	3	41.7	0.9

**10. táblázat** – A (3.) egyenlet alapján szükséges további paraméterek a kiürítés időtartama, a kiürítési útvonal szabad szélességének átbocsátóképessége alapján történő meghatározásához

Vizsgált építmény a kiürítési időtartama a kiürítési útvonal szabad szélességének átbocsátóképessége alapján [s]
45.12

**11. táblázat** – Szabad szélesség átbocsátóképessége alapján meghatározott kiürítési idő (3.) egyenlet alapján

Vizsgált építmény a kiürítési időtartama a számításba vett biztonságos térbe vezető nyílászárók átbocsátóképessége alapján [s]

9.60

**12. táblázat** – Kiürítési idő a számításba vett biztonságos térbe vezető nyílászárók átbocsátóképessége alapján a (4.) egyenlettel számolva

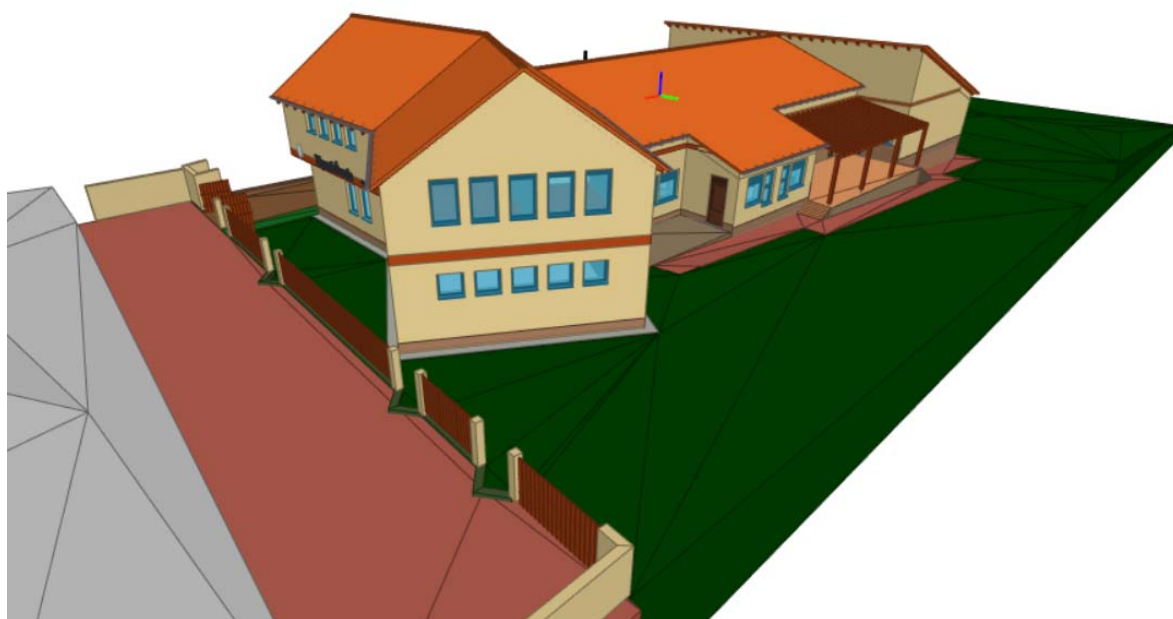
Vizsgált építmény a kiürítési időtartama a számításba vett biztonságos térbe vezető nyílászárók átbocsátóképessége alapján [s]	Építmény kiürítés időtartama az útszakaszok hossza alapján [s]	Vizsgált építmény a kiürítési időtartama a kiürítési útvonal szabad szélességének átbocsátóképessége alapján [s]
9.60	35.53	45.12

**13. táblázat** – Hatályos OTSZ vonatkozó TvMI-je alapján számolt kiürítési idők összesítve

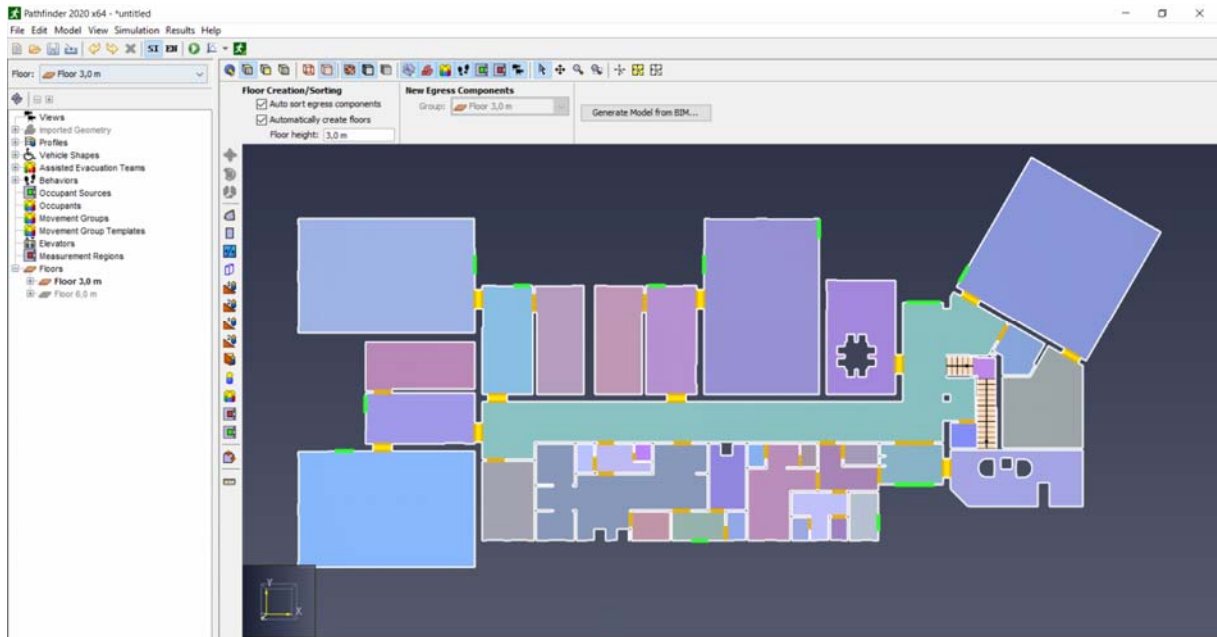
Megfigyelhetjük, hogy a hatályos OTSZ alapján számolt értékekben is igen nagy különbségek adódhatnak, és hogy két esetben nagyobb értéket kaptunk a szimulációnál, egy esetben pedig kisebbet.

#### 5.4. Óvoda épületének vizsgálata

Másodikként egy óvoda épületének kiürítés vizsgálatát végeztem el. Jelen szimulációban fontos volt figyelembe venni azt, hogy két fajta mesterséges intelligenciával rendelkező menekülő csoportot definiáljak. Az egyik csoportba tartoznak a nevelők, akik maguk mentésén túl a gyerekek irányításával is foglalkoznak, másik csoportba a gyerekek tartoznak, akik egy ilyen esetben zavarodottabbak és irányítást igényelnek.



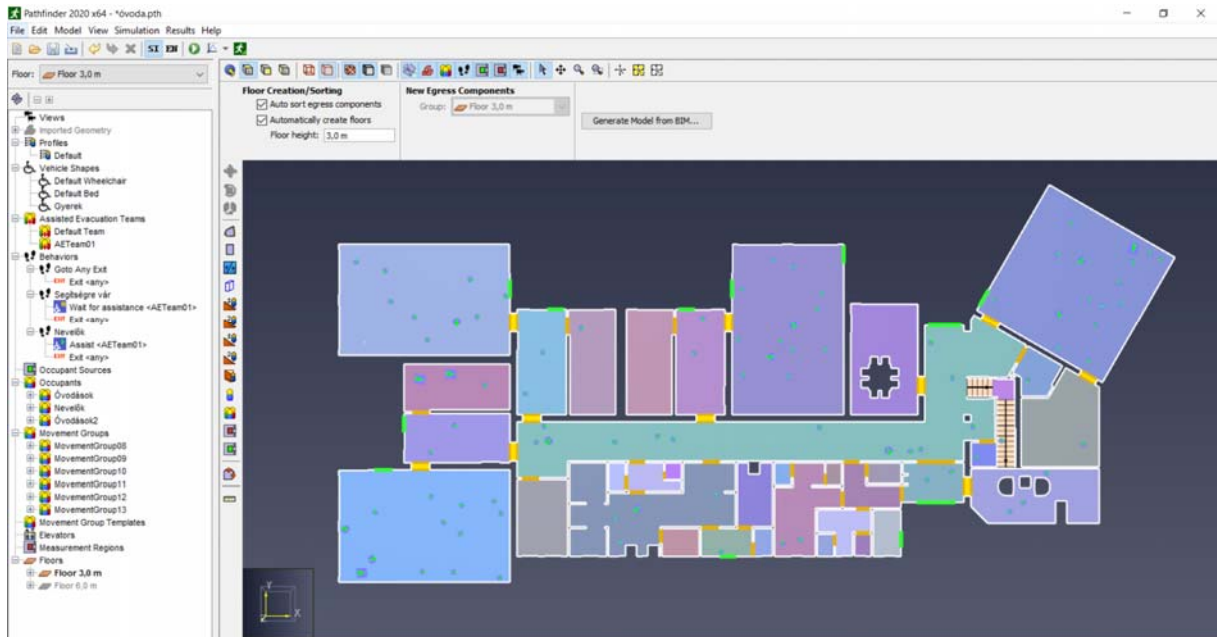
**26. ábra** – Óvoda IFC Modellje



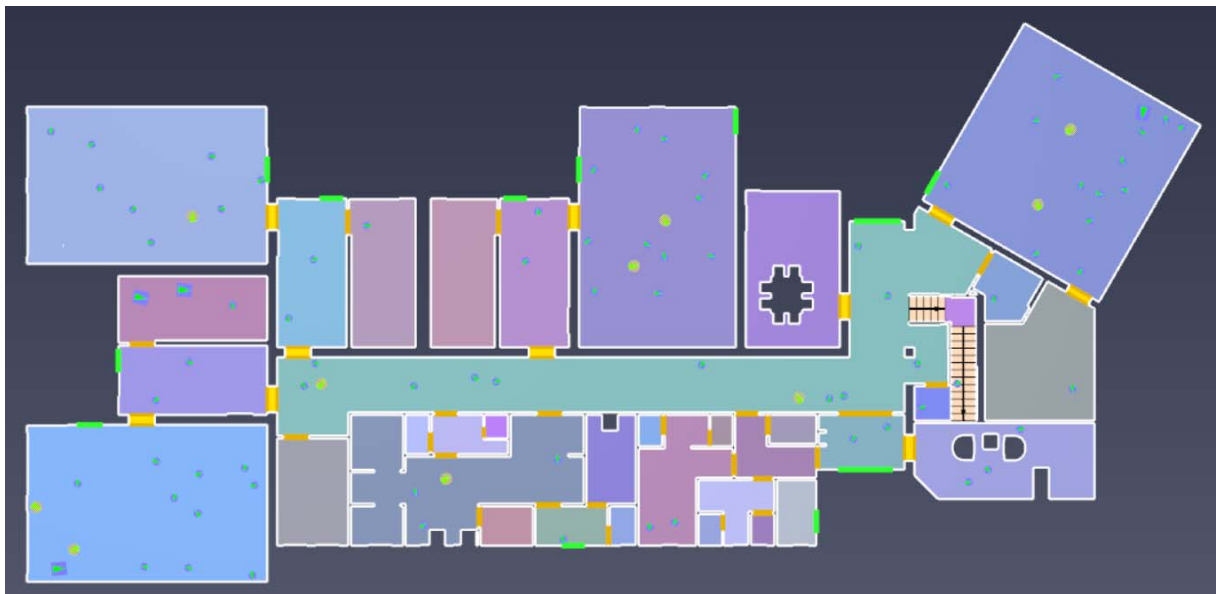
**27. ábra** – Vizsgált alaprajzi kialakítás

Óvodások csoportjába, mivel az épületben négy nagy terem került kialakításra, négyszer húsz fő, azaz nyolcvan fő került definiálásra, nevelőnek pedig tíz fő került alkalmazásra. Minden foglalkoztató teremben tartózkodó gyerekek, és nevelők külön egy-egy csoportba lettek beosztva. Minden ilyen kisebb csoportnak, egy nevelő a vezetője, aki elvégzi a gyerekek összegyűjtését, majd kikísérését. Szimulálva az ijedséget, esetleges pánikot keltő gyerek egy kis teremben, és további egy az egyik nagy teremben maradnak, és várják, hogy segítség érkezzon értük. Egyes csoportokból ennek megoldására lettek beállítva nevelők, akik a hozzájuk legközelebbi bent rekedt gyerek mentését kezdik meg elsőnek, úgy hogy érte mennek, és az ajtóhoz kísérik őket. Amint a bent rekedt gyerekeket is épségben kimenekítették, ők ketten is elhagyják az épületet. Ez a teljes felépítés, viselkedési formák kialakítása, csoportosítások a 28. ábra bal oldalán látszódik.

A szimuláció során ez esetben is a SFPE [16] által definiált sebesség-sűrűség görbét használtam, és az ismertetett „Steering” módszert.



28. ábra – Modell felépítése



29. ábra – Nevelők helyzete  $t=0$ s időpillanatban

Leghosszabb idő [s]	Legrövidebb idő [s]	Átlag idő [s]	Leghosszabb út [m]	Legrövidebb út [m]	Átlag táv [m]
31.70	0.70	11.20	28.80	0.30	7.70

14. táblázat – Szimulációs eredmények



**30. ábra** – Szimuláció eredménye  $t=0s$  időpillanatban

A következő, 31. ábrán jól látható, hogy  $t=4s$  időpillanatban a nevelők elvégzik a szokásos rendnek megfelelő csoport összegyűjtését, és megkezdik velük együtt az épület elhagyását. Kék kockával jelölt gyerekek, pedig várják a segítséget.



**31. ábra** - Szimuláció eredménye  $t=4s$  időpillanatban

A 32. ábrán megfigyelhetjük, hogy  $t=10s$  időpillanatban már harmincnyolcan elhagyták az épületet, azonban egyes ajtóknál tömörülések alakultak ki, és a bajba esett gyerekek közül hárman továbbra is a segítségre várnak, negyedik társukat egyik nevelő kíséri ki éppen.



32. *ábra* - Szimuláció eredménye  $t=10s$  időpillanatban

A 33. ábrán  $t=20s$ -nál már csak a három bent rekedt gyerek, és az őket mentő két nevelő tartózkodik az épületben, akik egyesével az ajtóhoz kísérik/viszik őket.



33. *ábra* - Szimuláció eredménye  $t=20s$  időpillanatban

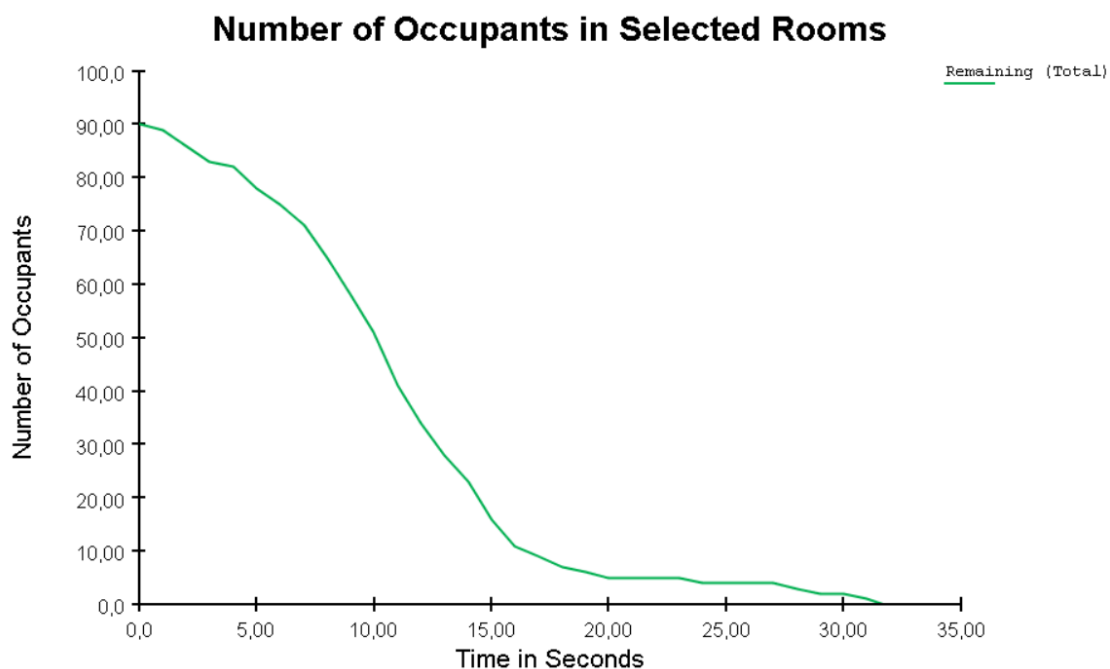
Utolsó fázisban már csak az utolsó bajba esett gyerek mentését végzi a nevelőnő. Az épület jobb oldalában mentést végzett nevelő a hozzá közel eső utolsó gyerekkel is elhagyta az épületet  $t=29s$  időpillanatban.





34. ábra - Szimuláció eredménye  $t=29s$  időpillanatban

A kiürítés  $t=31.70s$  időpillanatban fejeződik be teljesen. Ahogyan a korábbi ábrákon is jól látható volt, a bent tartózkodók többsége már jóval korábban  $t=20s$  környékén elhagyta az épületet. További tíz másodperc szinte teljes egészében a bent rekedtek menekítésével telt el.



35. ábra – Bent lévő emberek - idő diagram

Ezen egyszerű példán bemutatva érezhetjük, hogy egy bölcsőde, óvoda, általános iskola, kórház kiürítése esetenként egészen bonyolult folyamat is lehet, ahol a maguktól mozgásképtelen bent rekedtek időben nagyon elnyújthatják a folyamatot. Ennek tekintetében érdekes, hogy a hatályos OTSZ TvMI-jében, ilyen esetekre ugyanazt a fajta kiürítési vizsgálat elvégzését engedi

---

meg, amit a korábbi ipari épületnél is elvégeztünk. Továbbá javasol két irányú kiürítést alkalmazni, és olyan kiürítési stratégiát, amely lehetővé teszi a benntartózkodók átmeneti védett térbe helyezését a külső biztonságos tér időjárási és hőmérsékleti viszonyaitól függetlenül.

A korábban bemutatott módon végeztem el ennek az épületnek is az OTSZ által lehetséges kiürítés számításait, ami eredményeit a 15. táblázat foglalja össze.

Vizsgált építmény a kiürítési időtartama a számításba vett biztonságos térbe vezető nyílászárók átbocsátóképessége alapján [s]	Építmény kiürítés időtartama az útszakaszok hossza alapján [s]	Vizsgált építmény a kiürítési időtartama a kiürítési útvonal szabad szélességének átbocsátóképessége alapján [s]
28.78	18.30	47.59

*15. táblázat - Hatályos OTSZ vonatkozó TvMI-je alapján számolt kiürítési idők összesítve*

A számított értékek között nagymértékű szórást vehetünk észre, míg az útszakaszok hossza alapján becsült idő több, mint tíz másodperccel alábecsüli a szimulációs eredményeket, addig a szabad-szélességek átbocsátóképessége alapján kapott érték majdnem húsz másodperccel többet ad eredményül a kiürítés elvégzésére.

## 6. Összefoglalás

Jelen dolgozatban bemutattam építményeink tűzvédelmi kialakításának napjainkban alkalmazott OTSZ által előírt megoldásait, illetve aktuális irodalmak segítségével betekintést nyerhettünk a BIM nyújtotta számtalan lehetőségre, ami jelenleg a tudományág a jövőképét képi. Ismertettem az alkalmazható szimulációs programokat, és azok működését, validálását, verifikációját, előnyeit. Ezek után saját modelleken tesztek is végeztem kiürítés időtartamára. Láthattuk, eredményeink mindkét példánál igen nagy szórást mutattak, amik feltételezhetően bonyolultabb épület esetén tovább növekednének. Foglalkoztam azzal a problémakörrel is, hogy egyes mozgásképtelen bent rekedt személyek mentése milyen mértékben tudja elnyújtani a kiürítés folyamatát.

Ezen eredmények tudatában fontosnak tartanám, hogy a ma hatályos tűzvédelmi, kiürítési előírásokat felülvizsgálják, ugyanis épületeink egyre összetettebbek, amiket építészeti jogszabályokon alapuló becslő képletekkel már nem feltétlen lehet pontosan lekövetni.

---

## 7. Jövőbeni tervek

Pályázati időszakom további hónapjaiban, amennyiben lesz lehetőségem, valós kiürítési adatokat szeretnék gyűjteni olyan épületekhez, melyeknek elérhető BIM modellje, vagy modellezéssel létrehozható. Ezen adatok birtokában szeretnék javaslatot tenni egy fajta késleltetés beépítésére a jelenlegi képletekbe, ugyanis minden, a dolgozatban bemutatott eredmény arra épít, hogy a jelzés után azonnal megkezdődik a kiürítés. Továbbá szeretném összevetni ezen mért valós adatokat a szimulációs, és a számított eredményekkel, így saját esettel tudnám elvégezni a program, és modellem validációját.

---

## Hivatkozások

- [1] M. K. –. P. R. –. O. K., „Fire Model Validation, Fire Safety Science proceedings of eleventh international symposium,” INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR FIRE SAFETY SCIENCE/ DOI: 10.3801, 2014, pp. pp. 958-968.
- [2] Qi Sun és Yelda Turkan, „A BIM-based simulation framework for fire safety management and investigation of the critical factors affecting human evacuation performance,” *Advanced Engineering Informatics*, 2020.
- [3] Enrico Ronchi és Daniel Nilsson, „Assessment of Total Evacuation Systems for Tall Buildings,” *THE FIRE PROTECTION RESEARCH FOUNDATION USA*, 2013.
- [4] E Ronchia, F. Nieto Uriz, X. Criel és P. Reilly, „Modelling large-scale evacuation of music festivals,” *Case Studies in Fire Safety*.
- [5] Xiu-Shan Chen, Chi-Chang Liu és I-Chen Wu, „A BIM-based visualization and warning system for fire rescue,” *Advanced Engineering Informatics*, 2018.
- [6] Yi-Jao Chen, Yong-Shan Lai és Yen-Han Lin, „BIM-based augmented reality inspection and maintenance of fire safety equipment,” *Automation in Construction*, 2020.
- [7] Eastman C. , Teicholz P., Sacks R. és Liston K., „BIM Handbook, A Guide to Building Information Modelling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Constructors,” *John Wiley & Sons*, p. 490, 2008.
- [8] Zagorecz Márk és Szabó Beatrix, BIM Kézikönyv - Bevezetés az épületinformációs modellezésbe, Budapest: Lechner Nonprofit Kft., 2018.
- [9] Országos Tűzvédelmi Szolgáltató Kft., „54/2014. (XII. 5.) BM rendelet Országos Tűzvédelmi Szabályzat,” 2020.
- [10] Belügyminisztérium, „Tűzvédelmi Műszaki Irányelv - Kiürítés,” 2020.

- 
- [11] Belügyminisztérium, „Tűzvédelmi Műszaki Irányelv - Számítógépes tűz- és füstterjedési, valamint menekülési szimuláció,” 2020.
- [12] Craig W. Reynolds, „Steering Behaviors For Autonomous Characters,” *Computer Science*, 1999.
- [13] Heni Ben Amor, „Inverse Steering Behaviors for Physical Autonomous Agents,” *Fachberichte Informatik*, 2003.
- [14] Hurley M.J., Gottuk D.T., Hall Jr. J.R., Harada K., Kuligowski E.D., Puchovsky M., Torero J.L., Watts Jr. J.M. és Wieczorek C.J., „SFPE Handbook of Fire Protection Engineering,” *Springer*, 2016.
- [15] Pathfinder, „Pathfinder Verification and Validation,” 2020.
- [16] SFPE Group, „SFPE Guide to Human Behavior in Fire,” 2019.
- [17] Zhang J. és Seyfried A., „Empirical Characteristics of Different Types of Pedestrian Streams,” *Procedia Engineering*, 2013.