

# VÉDELEM

## Tudomány

A KATASZTRÓFAVÉDELEM ONLINE SZAKMAI, TUDOMÁNYOS FOLYÓIRATA

10. ÉVFOLYAM 1. SZÁM (2025)



**Szerkesztőbizottság:**

**Dr. Berki Imre**

Katasztrófavédelem Központi Múzeum  
igazgató

**Dr. Bognár Balázs tő. dandártábornok**

Katasztrófavédelmi Tudományos Tanács  
elnök

**Dr. Hábermayer Tamás tő. ezredes**

Katasztrófavédelmi Tudományos Tanács  
alelnök

**Dr. Jackovics Péter tő. ezredes**

Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság  
Veszélyhelyzet-kezelési Főosztály főosztályvezető

**Dr. Kanyó Ferenc tő. ezredes**

Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság  
tűoltósági főfelügyelő

**Dr. Mógor Judit tő. vezérőrnagy**

Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság  
hatósági főigazgató-helyettes

**Prof. Dr. Pátzay György**

Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Katasztrófavédelmi Intézet Iparbiztonsági Tanszék  
professor emeritus

**Dr. Tóth András tő. alezredes**

Zala Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság  
polgári védelmi főfelügyelő

**Szerkesztőség:**

Főszerkesztő:

Dr. Hábermayer Tamás tő. ezredes

Olvasószerkesztő:

Dr. Ackermann Zsuzsanna tő. alezredes

Takács Gergely tő. főhadnagy

Technikai szerkesztő:

Dr. Tóth András tő. alezredes

Dr. Győző-Molnár Árpád tő. alezredes

ISSN:

ISSN 2498-6194 (Online) 10. évfolyam

Felelős kiadó:

Dr. Góra Zoltán tő. altábornagy főigazgató

Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi  
Főigazgatóság, 1043 Budapest, Mogyoródi u. 43.

## Tartalomjegyzék

|                                                                                                                                                                                                                    |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Podholiczki Erik</b>                                                                                                                                                                                            | 1-30    |
| Mesterséges intelligencia alkalmazási lehetőségei a katasztrófavédelemben I. rész                                                                                                                                  |         |
| <b>Hózer Benjámin, Dr. Berki Imre</b>                                                                                                                                                                              | 31-50   |
| A BUBIV porrobbanás hősi halottai - 1984                                                                                                                                                                           |         |
| <b>Karsa Róbert</b>                                                                                                                                                                                                | 51-64   |
| Szénmonoxid szivárgással járó események előrejelzése                                                                                                                                                               |         |
| <b>Barta-Vámos László</b>                                                                                                                                                                                          | 65-71   |
| Idősek tűzbiztos viselkedésének hollandiai tapasztalatai                                                                                                                                                           |         |
| <b>Dsupin Gyula</b>                                                                                                                                                                                                | 72-81   |
| Rendkívüli események kezelését célzó külföldi projektek és informatikai fejlesztések bemutatása<br>I. rész: Az FSX Magnitude határokon átnyúló gyakorlat<br>(2024. október 24-27., Baden-Württemberg, Németország) |         |
| <b>Takács Gergely, Dr. Muhoray Árpád</b>                                                                                                                                                                           | 82-92   |
| Examination and Possible Directions of the European Union's Civil Protection Policy Part II.<br>Az Európai Unió katasztrófavédelmi politikájának elemzése és lehetséges irányai II. rész                           |         |
| <b>Bencsik Dániel</b>                                                                                                                                                                                              | 93-108  |
| Illékony szerves vegyületek eltávolításának környezetbiztonsági aspektusai                                                                                                                                         |         |
| <b>Papp Tamás</b>                                                                                                                                                                                                  | 109-116 |
| A ködgyűjtő rendszerek szerepe és alkalmazhatósága a vízellátásban, árvízi helyzetek megelőzésében                                                                                                                 |         |

# Mesterséges intelligencia alkalmazási lehetőségei a katasztrófavédelemben

## I. rész

## Application possibilities of artificial intelligence in disaster management Part I.

---

Podholiczki Erik tű. alezredes  
Nógrád Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság  
Balassagyarmati Katasztrófavédelmi Kirendeltség  
iparbiztonsági felügyelő  
poterik91@gmail.com  
ORCID: 0009-0007-0850-4341 

---

### Absztrakt:

Jelen tanulmány célja, hogy bemutassa a mesterséges intelligencia alkalmazási lehetőségeit a katasztrófavédelem szervezeti rendszerében, szakterületenként. Célja továbbá, hogy az állomány megismerje a mesterséges intelligencia adta lehetőségeket és azok felhasználási módjait, az ne legyen egy ismeretlen, sötét folt számukra. A tanulmány elemzi a külföldön és belföldön alkalmazott mesterséges intelligencia megoldásokat, technológiákat, jogszabályokat, valamint az ezzel kapcsolatos tapasztalatokat. A témával kapcsolatos szakirodalom, kutatási beszámolók alapján a tanulmány sorra veszi és értékeli az egyes szakterületek esetében alkalmazható technológiai megoldásokat, azoknak hátrányaival és előnyeivel együtt.

A közigazgatásban és így a katasztrófavédelemben a jobb és gyorsabb ügyintézés, valamint a tűzoltóságon belül a hatékonyabb beavatkozások érdekében a jövőben egyre szélesebb körben kell majd alkalmazni ezt a technológiát. Ehhez meg kell kezdeni a megfelelő adatbázisok felépítését, amelyhez ez a tanulmány egy támpontot ad.

Kulcsszavak: mesterséges intelligencia, katasztrófavédelem, okos technológiák, adatbázis építés

### Abstract:

This study aims to present the potential applications of artificial intelligence (AI) within the organizational system of disaster management, broken down by specialized areas. It further aims to ensure that personnel become familiar with the opportunities AI offers and the ways in which it can be utilized so that it is not an unfamiliar or obscure concept to them. The study analyzes AI solutions, technologies, regulations, and related experiences implemented domestically and abroad. To this end, it reviews and evaluates technological solutions applicable to various specialized fields based on relevant literature and research reports, discussing their advantages and disadvantages.

In public administration, and consequently in disaster management, AI will need to be applied more widely in the future to ensure more efficient and faster administration and more effective interventions within fire departments. To achieve this, it will be essential to begin building appropriate databases, for which this study provides a framework.

Keywords: artificial intelligence, disaster management, innovative technologies, database construction

## 1. BEVEZETÉS

Ennek a tanulmánynak a célja, hogy egy alapot szolgáltatson, arra, milyen módon lehet megteremteni a hátterét, adaptálni, majd használni a mesterséges intelligenciát a katasztrófavédelem hatósági és tűzoltási, műszaki mentési feladatai során. A tanulmányban többek között bemutatom, hogy az iparbiztonság, a polgári védelem, a tűz megelőzés és a tűzoltói beavatkozások területén milyen lehetőségek rejlenek a mesterséges intelligenciában (MI), az hogyan teheti hatékonyabbá, korszerűbbé a 21. században előforduló kihívások vonatkozásában a katasztrófavédelmet. Megvizsgálom, hogy a rendelkezésre álló tanulmányok alapján, mi a civil lakosság, valamint hivatásos állomány véleménye és milyen a hozzáállása a mesterséges intelligenciához. Minden előnye mellett a mesterséges intelligencia hátrányaira is fel akarom hívni a figyelmet. A közigazgatásban a mesterséges intelligencia segítségével a kormányzat jobb szabályzókat tervezhet. Jobb döntéseket hozhat, amelyek javíthatják a kommunikációt, valamint az állampolgárokkal és a lakosokkal való kapcsolattartás is egyszerűbbé válhat. Javulhat továbbá a közszolgáltatások sebessége és a minősége is. Noha az MI potenciális előnyei jelentősek, ezeknek az előnyöknek az elérése, valamint a hátrányok kiküszöbölése nem könnyű feladat. Ezt a lehetőséget csak akkor tudjuk igazán kihasználni, ha az ezekhez a technológiákhoz szükséges szakembereknek, programozóknak magas színvonalú képzést biztosítunk. A katasztrófavédelem feladata pedig, hogy vonzó állás- és karrierlehetőséget biztosítsanak ezeknek a szakembereknek, így alapozva meg a folyamatos fejlesztési és alkalmazási lehetőségeit a technológiai újításoknak.

## 2. A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ALAPJAI

Először is fontos a megértés miatt a mesterséges intelligencia (angol nyelven: artificial intelligence vagyis AI) fogalmának, tárgykörének tisztázása, mivel ennek jelenleg nincsen egységes, tudományos definíciója. Az ezzel foglalkozó tudósok és intézmények sokféle definíciót használnak a leírására, amely az idő előre haladásával is folyamatos változáson megy keresztül, mint maga a technológia. Pontosan mit értünk a mesterséges intelligencia fogalma alatt, ha még maga az intelligencia kifejezés is nehezen definiálható?

Íme, az egyik összefoglaló leírása az MI-nek:

A MI a gépek emberhez hasonló képességeit jelenti, mint például az érvelés, a tanulás, a tervezés és a kreativitás. Lehetővé teszi a technika számára, hogy érzékelje környezetét, foglalkozzon azzal, amit észlel, problémákat oldjon meg, és konkrét cél elérése érdekében tervezze meg lépéseit. A számítógép nemcsak adatokat fogad (már előkészített vagy összegyűjtött adatokat érzékelőin, például kameráján keresztül), hanem fel is dolgozza azokat és reagál rájuk. Ezek a rendszerek képesek viselkedésük bizonyos fokú módosítására is, a korábbi lépéseik hatásainak elemzésével és önálló munkával. Összefoglalva az MI rendszerek nagy adathalmazok intelligens feldolgozó algoritmusokkal való kombinálásával működnek, hogy tanuljanak az általuk elemzett adatok mintáiból és jellemzőiből. Minden alkalommal, amikor egy mesterséges intelligencia egy adatfeldolgozási kört futtat, teszteli és méri saját teljesítményét, és további tudást fejleszt ki.

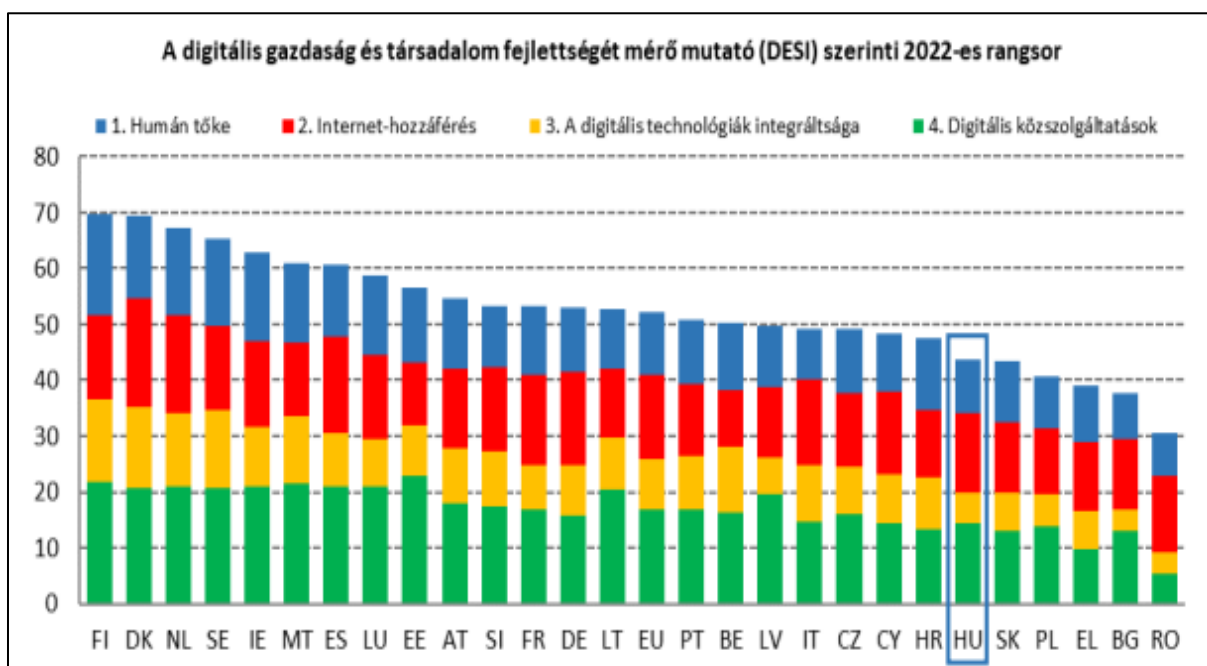
Az MI két főbb típusra osztható:

- Szoftveralapú: virtuális asszisztensek, képelemző szoftverek, keresők, beszéd- és arcfelismerő rendszerek.
- Fizikai: robotok, önvezető autók, drónok, a dolgok internete.

A katasztrófavédelem esetében az MI fizikai (pl.: drónok beavatkozások segítésére, életfunkciókat követő berendezések) és szoftveres (pl.: nyilvántartások, más hatóságok nyilvántartásai, szimulációk, elemző szoftverek) alapú technológiáit is széles körben tudjuk adaptálni, ha megvan hozzá a megfelelő informatikai és adatbeviteli háttér. A legtöbb MI projektben az adatok kritikus pontként szerepelnek.

Ez különösen igaz a gépi tanulási projektekre, ahol a cél az, hogy az MI tanuljon az adatokból. Azonban nem minden adat ugyanolyan fontosságú, ezért meg kell tenni mindent annak érdekében, hogy az MI által felhasznált adatok pontosak, megbízhatók és megfelelőek legyenek az adott feladathoz. Még akkor is, ha a mesterséges intelligencia megoldást jelenthet a kormányzati problémákra, az alapvető adatkezelési irányelvek hiánya korlátozhatja a benne rejlő lehetőségeket. A mesterséges intelligencia iránt érdeklődő közalkalmazottaknak tudniuk kell, milyen típusú adatok használhatók fel, milyen adatokra van szüksége a mesterséges intelligenciának, és hogyan ellenőrizhetik, hogy adataik készen állnak-e az MI-be való bevitelre.

Magyarország élen jár a legalább 1 Gbps sebességű széles sávú előfizetések elterjedtsége tekintetében. Az ország eredményei a vezetékes széles sávú előfizetések, az 5G spektrum és a nagyon nagy kapacitású vezetékes hálózati (VHCN) lefedettség tekintetében is meghaladják az uniós átlagot. A magyar vállalkozások többsége nem használja ki a digitális technológiák kínálta lehetőségeket. A polgároknak és vállalkozásoknak nyújtott szolgáltatások minősége és teljessége azonban továbbra is viszonylag alacsony fokú. A digitális szakpolitikák tekintetében a nemzeti digitalizációs stratégia biztosítja a 2021–2030-as időszakra szóló stratégiai szakpolitikai keretet. Magyarország ambiciózus és kihívást jelentő célja, hogy az évtized közepére a digitális fejlődés tekintetében meghaladja az uniós átlagot, és 2030-ra a digitalizáció terén a 10 vezető uniós gazdaság egyike legyen.



1. ábra: A digitális gazdaság és társadalom fejlettségét mérő 2022. évi mutató (DESI) (Forrás: ld. [1])

Az Európai Parlament COM/2021/206 [2] számú javaslata már konkrétan a mesterséges intelligencia szabályozásával foglalkozik. Célja a belső piac működésének javítása azáltal, hogy egységes jogi keretet állapít meg különösen a mesterséges intelligencia uniós értékekkel összhangban történő fejlesztésére, forgalmazására és használatára vonatkozóan. Ez a rendelet számos közérdeken alapuló kényszerítő indok miatt született meg, amilyen például az egészség, a biztonság és az alapvető jogok magas szintű védelme, és biztosítja a mesterséges intelligencián alapuló áruk és szolgáltatások határokon átnyúló szabad mozgását, így megakadályozza a tagállamokat abban, hogy korlátozásokat vezessenek be az MI-rendszerek fejlesztésére, forgalmazására és használatára vonatkozóan, kivéve, ha e rendelet kifejezetten engedélyezi azt.

A rendelet meghatározza és kiemelt hangsúlyt fektet a nagy kockázatú MI-rendszerekre melyek között szerepelnek a katasztrófavédelem feladatközébe tartozó rendszerek is:

- A kritikus infrastruktúra irányítása és működtetése: a közúti forgalom irányításában és működtetésében, valamint a víz-, gáz-, fűtési és villamosenergia-szolgáltatás során biztonsági alkatrészként használt MI-rendszerek.
- Az alapvető magánszolgáltatásokhoz, valamint a közszolgáltatásokhoz és előnyökhöz való hozzáférés és ezek igénybevétele: olyan MI-rendszerek, amelyeket a vészhelyzeti első reagálási szolgáltatások – többek között tűzoltók és orvosi segítségnyújtás – biztosítására vagy a kiküldésük elsőbbségének megállapítására használnak.

A tervezet részletesen szabályozza ezen MI rendszerekkel kapcsolatos követelményeket: kockázatkezelési rendszer, adatok és adatkormányzás, műszaki dokumentáció, nyilvántartás, átláthatóság és a felhasználók tájékoztatása, emberi felügyelet, pontosság, stabilitás és kiberbiztonság. A rendelet többek között a szolgáltatókra és felhasználókra vonatkozó kötelezettségeket is részletesen szabályozza.

## 2.1. A mesterséges intelligencia típusai, tanulási formái

A mesterséges intelligencia több szintjéről és formájáról is beszélhetünk. Nem kell azonnal bonyolult dolgokra gondolni. Ma már egy sima, minden háztartásban jelen lévő okostelefon vagy egy okos hangszóró is rendelkezik mesterséges intelligenciával. A mindennapi életben önvezető autók, egészségügyi elemző szoftverek vagy okos otthon eszközök formájában bárhol összefuthatunk vele, és azok összetettségétől függően fejlettségi szintjük is különbözik. Szűk mesterséges intelligencia (Szűk MI): A szűk mesterséges intelligencia, melyet „gyenge MI-nek” is neveznek, a számítógépes rendszer azon képességét jelenti, hogy az embernél hatékonyabban el tud végezni egy szűken meghatározott feladatot. A szűk MI a legmagasabb MI szint, amelyet az emberiség máig elért, és minden olyan MI, mellyel a való világban találkozunk, ebbe a kategóriába tartozik, ideértve az önvezető járműveket és a személyi digitális asszisztenseket is. Még ha úgy is tűnik, hogy az MI önállóan és valós időben gondolkodik, ilyenkor az valójában több, szűkre szabott folyamatot hangol össze, és előre meghatározott keretek között hoz döntéseket. A mesterséges intelligencia „gondolkodásából” hiányzik a tudatosság és az érzelem.



2. ábra: A mesterséges intelligencia használata a mindennapokban (Forrás: ld. [3])

Általános mesterséges intelligencia (Általános MI): Az általános mesterséges intelligencia, melyet olykor „erős MI-nek” is neveznek, a számítógép azon képességét jelenti, amellyel képes meghaladni az emberi eredményeket bármilyen intellektuális feladatban. Ha egy számítógép eléri az általános MI szintjét, akkor az elméletileg képes lenne megoldani rendkívül bonyolult problémákat, döntéseket tudna hozni bizonytalan helyzetekben is, és alkalmazni tudná a korábbi tudását az éppen aktuális döntéshozatalnál. Rendelkezne emberi szintű kreativitással és képzelettel, és a szűk mesterséges intelligenciánál sokkal szélesebb körű feladatok megoldására is képes lenne.

Mesterséges szuperintelligencia (ASI): Egy szuperintelligenciával rendelkező számítógép képes lenne az embert csaknem minden területen túlszárnyalni, többek között a tudományos kreativitásban, az általános bölcsességben és a társadalmi készségekben is.

Az MI fő motorja az adat és az ebből kinyert információ. Az MI-ket folyamatosan adatokkal kell ellátni, hogy azzal szinten tudja tartani a „tudását”. A tanulási módszereket az alábbiak szerint lehet osztályozni:

Gépi tanulás: A gépi tanulás az a folyamat, amelyet a számítógépes rendszerek használnak a mesterséges intelligencia eléréséhez. Algoritmusokkal azonosít mintákat az adatokban, amelyekkel ezután adatmodellt készítenek, és előrejelzéseket végez. A gépi tanulási modelleket adatok részhalmazain tanítják be. Ha a modell betanításához használt adatok pontosan képviselik az elemzésre váró teljes adatkészletet, akkor az algoritmus pontosabb eredményeket produkál. Ha az MI elég jól van betanítva ahhoz, hogy gyorsan és pontosan elvégezze a feladatát, akkor elérte a szűk MI szintjét.

Mély tanulás: A mély tanulás a gépi tanulás egy fejlett típusa, amely az emberi agy szerkezete által ihletett algoritmus hálózatokat, úgynevezett neurális hálózatokat használ. Egy mély neurális hálózat beágyazott neurális csomópontokból áll, és minden megválaszolt kérdés újabb kapcsolódó kérdésekhez vezet. A mély tanulás betanításához általában nagyméretű adathalmazok szükségesek. A mély tanuláshoz használt betanítási készletek általában több millió adatpontból állnak. Ha a mély neurális hálózatot betanították ezekkel a nagyméretű adathalmazokkal, akkor az a kisebb hálózatoknál jelentősen komplexebb feladatokat is képes kezelni. Ez kiváltképp hasznos például képfelismeréshez, ahol a mesterséges intelligenciának meg kell találnia az alakzatok széleit ahhoz, hogy azonosítani tudja a kép tartalmát. Mély tanulással tanítják be azt a típusú mesterséges intelligenciát is, amely képes meghaladni az emberi készségeket olyan összetett játékoknál, mint a sakk.

Egy tanuló algoritmus akkor jó, ha a tanulási folyamat során olyan feltételezéseket hoz létre, amelyek jól jósolják meg az általuk korábban nem látott példák esetén követendő cselekvéseket. A gép predikcióját ellenőrizni is kell, amelyet a már ismert eredmények alapján tehetünk meg. Ezt egy teszhalmaznak nevezett mintahalmaz segítségével végezhetjük el.

Ha az összes rendelkezésünkre álló példát tanításra használjuk, akkor továbbiakat kell gyűjtenünk a teszteléshez. Ezért a tanuló algoritmusok fejlesztői a leggyakrabban a következők szerint járnak el:

1. Gyűjtenek egy nagy példahalmazt.
2. Ezt két különálló részre osztják: a tanító halmazzra és a teszhalmazzra.
3. A tanító algoritmust a tanító halmazon alkalmazzák, vagyis az algoritmus elé tárják a tanító halmaz elemeit és a helyesnek minősített döntést, így hozzák létre a hipotézist.
4. Ezután megméri a teszhalmazon (ahol szintén ismerjük a helyes választ, de azt már nem mutatjuk meg a gépnek), hogy a hipotézis a halmaz hány százalékára ad helyes döntést. [4, pp. 10]

Fentiekből is látszik, hogy nem egyszerű megtanítani az MI-t és azt sem egyszerű eldönteni, hogy milyen adatokat adjunk meg a részére, főleg egy olyan komplex dolog esetében, mint például a tüzesetek.

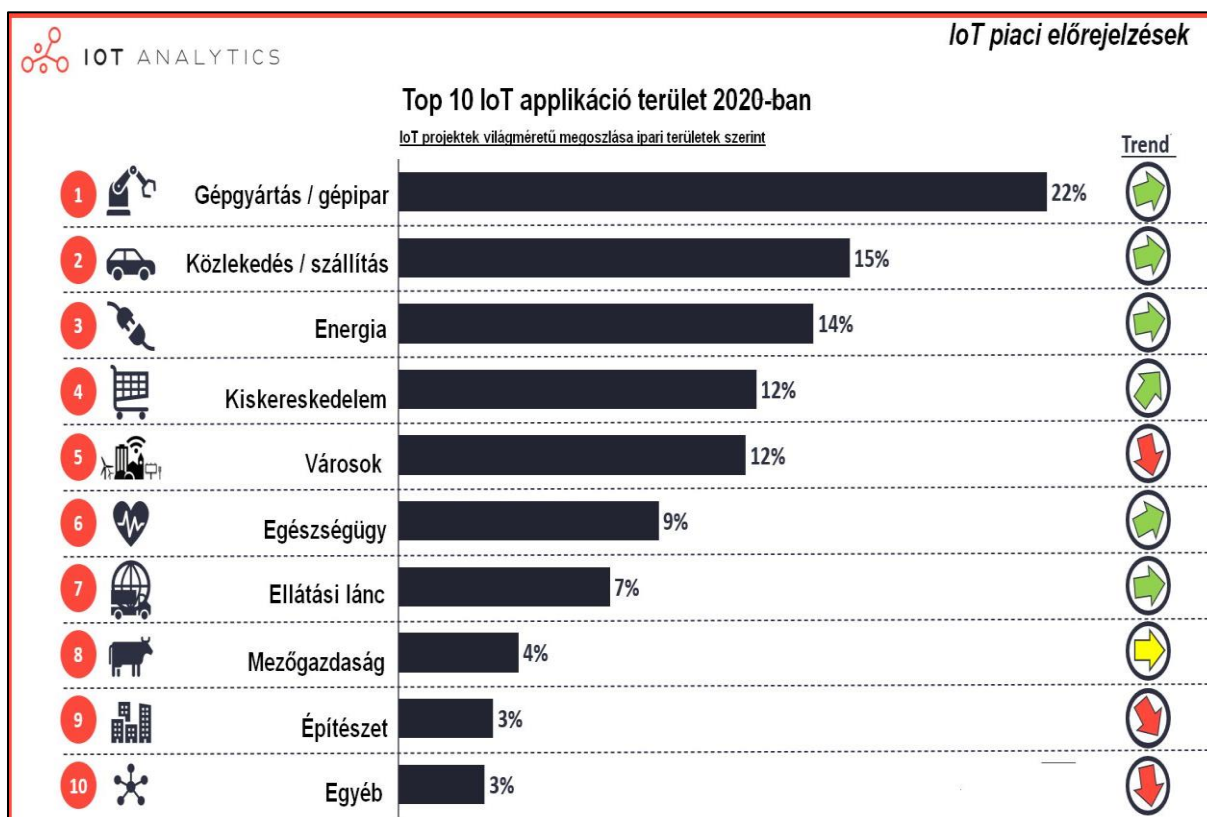
## 2.2. Internet of Things (IoT), a dolgok Internete

A dolgok internete (angolul: Internet of Things, rövidítve: IoT) lényegében olyan különböző, egyértelműen azonosítható elektronikai eszközöket jelent, amelyek képesek felismerni valamilyen lényegi információt, és azt egy internet alapú hálózaton egy másik eszközzel megosztani. A fogalom más szavakkal hálózatra kötött „intelligens” eszközöket takar, amelyek a beépített érzékelőknek és szenzoroknak köszönhetően képesek adatokat gyűjteni. Az IoT fogalma alatt érhető például „... egy társadalmi-technológiai keretkonceptió, ami azt írja le, hogy termékek, tárgyak, eszközök online összekapcsolódnak, egymással kommunikálnak, feladatokat hajtanak végre, anélkül, hogy ehhez feltétlenül felhasználói kezelőfelület csatlakozna. Technikailag olyan természetes, vagy ember által megalkotott objektumok sokaságát írjuk így le, amik IP-címmel rendelkeznek és képesek az internetes hálózaton keresztül adatot forgalmazni...” [5, pp. 11.]

A dolgok internete egyik gyakorlati alkalmazása az egymással és a működtető személlyel hálózati kapcsolatban álló, egyes fizikai tárgyakba és eszközökbe beágyazott elektronika gyűjtőfogalma, amelyet szoftverek és érzékelők (szenzorok) tesznek lehetővé.

Az ilyen eszközök állandó internetkapcsolattal rendelkeznek, és valós időben kaphatnak információt más eszközöktől például a forgalmi helyzetről vagy az időjárásról.

Vegyünk egy példát az egyik elsőként háztartásokban használt okos eszközzel. A Nest termosztát megfigyeli, hogyan használják, mikor hogyan módosítják a hőmérsékletet, és egy idő után a felhasználó viselkedését utánozva magától képes beállítani a megfelelő értékeket a megfelelő időpontban, a megfelelő helységben.



3. ábra: IOT piaci eloszlása 2022-ben (Forrás: ld. [6])

Ha mesterséges intelligencia-megoldásokkal ruházzuk fel “Dolgok Internete”, vagyis “okos” eszközöket, akkor azok megosztják egymással az információkat és a közös információhalmaz valós idejű elemzésével tudnak döntéseket hozni. Például amikor hazaindulok a munkából (amit a telefon érzékel, és közli az otthoni rendszerekkel), akkor, a fűtés úgy időzít, hogy a hazaérés pillanatára már optimális legyen a hőmérséklet, a lámpák pedig mindig ott világítanak, ahol éppen tartózkodok.

Nagyon ígéretes az ipari felhasználás is (angolul Industrial Internet of Things, IIoT). Az iparban sokkal nagyobb adattömeget kell feldolgozni és jellemző a Big data, a gépi tanulás (machine learning) és a felhőalapú számítástechnika (cloud computing). Magyarországon is foglalkoznak már a vállalatok IIoT-vel. Ilyen például a MOL Magyar Olaj- és Gázipari Nyrt., amely víz-, áram-, gáz- és hőmennyiség-mérésre alkalmas mérőóráit kapcsolja hálózatba a fogyasztás monitorozása, szabályozása érdekében.

Összefoglalva elmondható, hogy ennek a területnek a szabályozása még nem kiforrott, de ennek ellenére minél előbb el kell kezdeni a felkészülést, hogy adott esetben könnyebben tudjuk majd adaptálni a szervezetbe ezeket a technológiákat.

Az MI-t az IOT-vel társítva határtalan lehetőség nyílik meg az emberiség számára, mivel adatokat folyamatosan tudunk betáplálni és már most is hatalmas mennyiségű adat áll rendelkezésre ahhoz, hogy az MI saját maga tanulva egyszerűbbé tegye munkánkat és ezzel az állampolgárok életét.

### **2.3. Részüsszegzés**

Elmondhatjuk, hogy több adatforrással és gépi tanulási technikák használatával tud hatékonyan tanulni az MI. Azonosíthatják a mintákat, amelyeket az emberek esetleg figyelmen kívül hagynak. Ez pontosabb és idősebb előre jelzésekhez vezethet, lehetővé téve a természeti katasztrófákra való jobb felkészülést és reagálást. Bármilyen MI rendszert is alakítunk ki vagy alkalmazunk a jövőben, a rendszernek csatlakoznia kell majd a személyi védőfelszereléseken található érzékelőkre és a dolgok internete által biztosított információkkal is rendelkeznie kell ahhoz, hogy a megfelelő tanulási folyamatokat végre tudja hajtani. A katasztrófavédelem és az MI kapcsolódása az utóbbi években egyre növekvő figyelmet kap. Az MI technológiák számos módon járulhatnak hozzá a katasztrófavédelem hatékonyságának növeléséhez és a válságkezelési folyamatok javításához. Az egyik legfontosabb terület, ahol az MI jelentős előrelépést eredményezhet a katasztrófavédelemben, az adat- és a prediktív elemzés. Az MI algoritmusok segítségével lehetséges előre jelezni például az időjárási viszonyokat és természeti katasztrófák bekövetkezésének valószínűségét. Ez lehetővé teszi a hatóságoknak, hogy előre felkészüljenek, és megelőző intézkedéseket hozzanak a katasztrófák hatékonyabb kezelése érdekében.

Az MI továbbá segíthet a katasztrófák során bekövetkező helyzetek gyorsabb és hatékonyabb értékelésében. Például képes lehet azonnal elemzéseket végezni, mérések, valamint műholdas és légifelvétel alapján, és segíteni a döntéshozóknak a kezelési stratégiák kidolgozásában. Az MI technológiák alkalmazása azonban nem csupán a katasztrófák megelőzésére és kezelésére korlátozódik. Az okosvárosok és az okoskatasztrófavédelem (smart disaster management) koncepciói is előtérbe kerülnek, amelyekben az MI segíthet az infrastruktúra és a kommunikációs hálózatok intelligens kezelésében és a válságokkal szembeni ellenállóbbá tételében. Az MI alkalmazása azonban számos kihívással is járhat a katasztrófavédelemben. Ezek közé tartozik az adatbiztonság és adatvédelem kérdése, az etikai megfontolások, valamint az MI-alapú döntéshozatal átláthatósága és felelősségre vonhatósága. Az MI potenciálisan forradalmi változásokat hozhat a katasztrófavédelemben, lehetővé téve a hatóságoknak, hogy hatékonyabban reagáljanak a katasztrófákra és minimalizálják azok hatásait. Azonban az MI technológiák felelős és fenntartható módon történő alkalmazása elengedhetetlen az optimális eredmények eléréséhez.

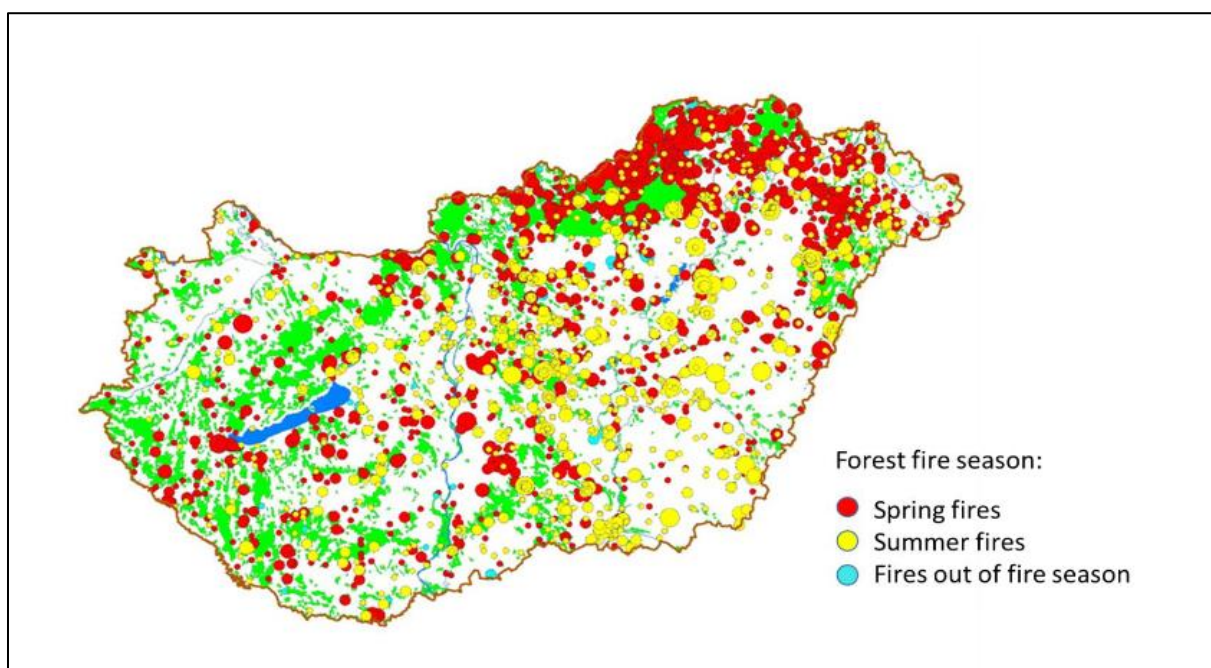
Az MI kapcsolódási pontjai a katasztrófavédelemmel igen széleskörűek, a lehetséges kapcsolódási pontok közül a tűzmelegzésre, a mentő tűzvédelemre, az iparbiztonságra valamint az állomány MI-t fogadó hozzáállására fogok nagy hangsúlyt fektetni a következőkben.

### 3. MESTERSÉGES INTELLIGENCIA A TŰZMEGELŐZÉSBEN

A mai világban egyre több beruházás történik, aminél egyre több új technológiát (okos eszközök, kamerák, szenzorok stb.) használnak. Ezek megfelelő alapot szolgáltathatnak egy mesterséges intelligencia adatszükségletéhez. De nem csak az épületek tűzbiztonságával kell foglalkozni. Az extrém időjárási körülmények miatt egyre több a nagy kiterjedésű tüzeset és műszaki mentés. A megfelelően betáplált adatokkal az MI meg tudja határozni, hogy egy ilyen extrém időjárási esemény során mi lehet nagyobb kockázati helyszín, hol kell nagyobb figyelmet fordítani a megelőzésre. Ezekre a lehetőségekre mutatok néhány példát a következő fejezetekben.

#### 3.1. Szabadtéri tüzek kockázatának csökkentése

Az extrém szárazság és az folyamatosan jelenlévő emberi gondatlanság miatt egyre nagyobb kihívást okoznak mindennapjainkban a szabadtéri tüzek. Az erdőtüzek általában kicsiben kezdődnek, de gyorsan terjednek, és mindent elpusztítanak, ami útjukba kerül, beleértve az otthonokat és a környezetet is, és az életet is veszélyeztetik.



4. ábra: A szabadtéri tüzek kialakulása évszakok szerint (Forrás: ld. [7, pp. 37.])

| Év   | <u>Szabadtéri</u><br><u>tüzek száma</u><br><u>összesen</u> | <u>Erdőtüzek</u> |                                           | <u>Egyéb területeket érintő</u><br><u>szabadtéri tüzek</u> |
|------|------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|      |                                                            | <u>Darabszám</u> | <u>Leégett terület</u><br><u>(hektár)</u> | <u>Darabszám</u>                                           |
| 2013 | 4602                                                       | 761              | 1955                                      | 3841                                                       |
| 2014 | 5783                                                       | 1042             | 4454                                      | 4741                                                       |
| 2015 | 5318                                                       | 1069             | 4730                                      | 4249                                                       |
| 2016 | 2677                                                       | 452              | 974                                       | 2225                                                       |
| 2017 | 7122                                                       | 1454             | 4933                                      | 5668                                                       |
| 2018 | 2981                                                       | 530              | 906                                       | 2451                                                       |
| 2019 | 7296                                                       | 2088             | 6541                                      | 5208                                                       |
| 2020 | 4339                                                       | 1239             | 2895                                      | 3100                                                       |
| 2021 | 4350                                                       | 1154             | 2413                                      | 3196                                                       |
| 2022 | 8687                                                       | 2731             | 20947                                     | 5956                                                       |

1. táblázat: A szabadtéri tüzek alakulása Magyarországon: (Forrás: ld. [7, pp. 35.])

Fentiekből látható, hogy nem lehet egyértelmű tendenciákra következtetni a szabadtéri tüzek esetén. Azok sokban függenek az időjárási körülményektől (száraz vagy csapadékos) és az évszakoktól, különösen a tüzek száma és kiterjedése kapcsán. Az viszont biztosra vehető, hogy egyre szélsőségesebb körülményekkel fogunk találkozni a jövőben. Amiben tudunk javítani az a gyorsabb észlelés vagy a jobb megelőzés. Ez az, ahol a dolgok internete (IoT) és az MI segíthet. A továbbiakban bemutatott rendszereknek egy sarkalatos pontja a vezeték nélküli adattovábbítás, amihez az 5G (vagy már bizonyos helyeken 6G) hálózatok nyújthatnak segítséget a jövőben. A szabadtéri tüzekkel kapcsolatban véleményem szerint két megközelítési módot is tudunk alkalmazni a gyors észleléshez.

Képalapú megközelítésben a folyamat magában foglalja az adatkészlet előkészítését, az adatkészlet megjegyzésekkel való ellátását, a modell betanítását és a modell tesztelését. A mélytanulási modellt általában drónokon alkalmazhatnánk, amelyeket megfigyelési célokra használnak az erdőtüzek jelenlétének észlelésére. A feladat nagyon hasonlít egy objektumészlelési modell feladatához. Miután a modell megtanulta a tüzek jellemzőit az adatokból és a megjegyzésekből, felhasználható az észlelési célra. A drónok észlelik ezeket a tüzeket, és figyelmeztetik az illetékes hatóságokat a szükséges intézkedések megtételére. Ily módon a mély tanulást a katasztrófa szélsőségeségének mérséklésére használják. Érzékelő-alapú megközelítésben, az erdőben jelen lévő különféle érzékelők kumulatív előrejelzést adnak az erdőtüzek előfordulására vonatkozóan. Érzékelőket használnak a légkörben lévő szén-dioxid, hidrogén-szulfid, szén-monoxid és oxigén mennyiségének mérésére. Ezeket az adatokat a környező hőmérséklet változásaival és a páratartalom változásával párosulva használják fel az erdőtüzek észlelésére, hasonlóan, mint egy időjárás állomás. Amikor az érzékelők anomáliát észlelnek, riasztást adnak az illetékes hatóságok felé. Ugyanennek a koncepciónak a fejlett alkalmazása az esetlegesen bekövetkező erdőtüzek előrejelzése lenne. Ezt a lehetőséget csak több rendszer összevonásával lehetne megvalósítani, például meteorológiai, hidrometeorológiai adatok, valamint korábban bekövetkezett tüzesetek adatainak egybeolvasztásával. A szenzorok azonban egyszerűen adatokat szolgáltatnak. A kérdés az hogyan dolgozzuk fel ezt a hatalmas mennyiségű információt, amiben segíthet nekünk a mesterséges intelligencia. Vegyünk például egy drónt, amely egy autópályán és kempingekben járőr feladatot végez, és keresi a nem megfelelően eldobott cigaretták vagy a nem megfelelően eloltott tábortüzek hőjelzéseit. Az MI felhasználható arra, hogy a hatóságok számára térképet készítsen az aktív tábortüzekről, és mérje a veszélyességet előzetes betáplált statisztikai adatok alapján. De nem csak drónok hanem a földön szétszórta, vagy esetleg a fákon elhelyezett érzékelők is segíthetik a megelőzést, a veszélyeztetett területek felmérését, az észlelést - ezért fontos hol helyezik el őket.

Ezen túl fontos az is, hogy olcsó, környezetbarát érzékelők hozzunk létre, amelyek akár légi úton ledobhatók hatalmas területekre és távolról konfigurálhatók a körülmények megfigyelésére. Az ilyen érzékelők létrehozásával kapcsolatos kihívások, hogy ellenálljanak az ütéseknek, a nedvességnek, olcsók és minimális energiaigényűek legyenek, illetve ne okozzanak kárt a vadvilágban (pl.: lenyelés útján). A már meglévő technológiát alapul véve a legnagyobb tűzvédelmi cég, a Rosenbauer együttműködési megállapodást kötött a műholdalapú erdőtüzes megfigyelésekre és adatelemzésre szakosodott német céggel, az OroraTech-el. A Rosenbauer egyik szolgáltatása, az EMEREC, alapvető információkat szolgáltat a kárhelyen tartózkodók számára. Térképek, tűzoltási és riasztási tervek, vízellátási információk, időjárási előrejelzés. A műholdban lévő hőkamera képeit gyűjti össze és dolgozza fel a GPU-val felszerelt modul, amely a mesterséges intelligencia segítségével képes felfedezni az erdőtüzeket azok korai szakaszában. [8]

A megelőzést már az is segítené, ha egy tüzeset során a beavatkozó állomány GPS modullal lenne ellátva így pontosabban körbe lehetne határolni területileg a tüzesetet. A GPS adatokat kinyerve, ezeket földhivatali nyilvántartásokkal összevetve meg lehetne tudni a terület művelési ágát, és hogy azt az előírtaknak megfelelően karbantartották –e azt. Az adatokból dolgozva egy modell rajzolódhatna ki, hol és milyen körülmények között fordul elő több tüzeset szabadterén.

Az MI ezeket az adatokat feldolgozva rá tudna mutatni a nagyobb kockázattal rendelkező területekre (figyelembe véve az időjárási modelleket, szárazabb vagy vízhiányos időszakokat, valamint figyelembe venné, hogy adott területen vagy adott művelési ágban milyen gyakorisággal fordul elő tüzeset) így az illetékes hatóságok felhívhatnák az adott tulajdonos figyelmét, hogy fokozott figyelmet fordítson a terület karbantartására, mert ott magasabb a tűz keletkezésének kockázata. Megoldás lehet a tüzek megelőzésére, hogy a fent leírt elemzések alapján meghatározott kockázati helyszíneken, a száraz vegetáció érzékelésére alkalmas MI által vezérelt szenzorrendszereket helyezünk el, az alábbiak szerint:



1. nedves



2. száraz



3. éghető

5. ábra: Az aljnövényzet típusok nedvességtartalom alapján (készítette a szerző)

1. lépés: Először is saját magunk által végzett mérések útján (nedvességtartalom, éghetőség) megvizsgáljuk a vegetációt. Az adatokat címkézzük (tanító halmazt és teszhalmazt különválasztva) majd gépi tanulás útján (pl.: Tensorflow Google nyílt forráskódú gépi tanulási eszköze) elemezhetjük a száraz aljnövényzetről készült képeket, és megbecsülhetjük azok nedvességtartalmát és méretét, hogy meghatározzuk, mi minősül fokozottan tűzveszélyes vegetációnak. Az osztályozást kockázati helyszíneken készített fényképekkel lehetne megkezdeni és 3 vagy akár több kategóriára osztani ezeket nedvességtartalmuk alapján. A jobb gépi tanulás érdekében minél több képre van szükség a különböző kategóriákról. A tanításhoz például használhatjuk a Python-alapú Keras alkalmazásprogramozási felület mély tanulási könyvtárát, amit ezután a Tensorflow-ba is tudunk importálni.

2. lépés A betanítás után lehetne tesztelni egy nagyfelbontású, minél nagyobb területet belátó kamerával az elkészített modellt (fontos szempont nagy hatótávolságú, alacsony fogyasztású adatátvitel) és ez osztályozhatja az új bejövő képeket. A kamerának nem szükséges a folyamatos működés, elég, ha például naponta párszor készít képet, ezzel is növelve az üzemidőt. A készülék számos egyéb adatot is gyűjthet, (szélsebesség, szélirány, páratartalom, hőmérsékletet) és az adatok alapján meghatározza, hogy az adott terület mennyire tűzveszélyes. A tüzek gyorsabb érzékelése érdekében füstreszcsekék és gázok észlelésére is alkalmassá lehet tenni, valamint hőkameraként is funkcionálhat.

Fent leírt módszer nagyon nagy vonalakban vázolja a lehetőségeket, de amennyiben van rá megfelelő informatikai háttér és a programozásra kiképzett humán erőforrás, akkor véleményem szerint a módszer akár használható is lehet a tüzek megelőzésére vagy esetlegesen gyors észlelésére.

### 3.2. Épülettüzek kockázatának csökkentése

A tűzvédelmi hatóságok világszerte igyekeznek szigorítani a szabályokat és javítani a biztonságot mivel egyre több és újabb kihívással kell szembenézni a technológiai fejlődés léptéke miatt. Az épületek, amelyeket meg kell védeni, szintén rohamléptékben fejlődnek, ezen belül az intelligens épületek piaca is. A növekedés fő hajtóereje a karbonlábnyom csökkentésére és az energiahatékonyabb épületek kialakítására irányuló erőfeszítések lehetnek. Ahogy az intelligens épületek száma nő, úgy kell megvédeni ezeket a tüzek jelentette kockázatoktól, felhasználva a modern érzékelőket, például a füst- és hőérzékelőket, valamint a kamerák által már közvetített adatokat.

Fontos, hogy az adatok, az épületekkel kapcsolatban a tervezéstől kezdődően a folyamatos használatig nyomon követhető módon, digitálisan folyamatosan rendelkezésre álljanak a megfelelő egységes formátumban.

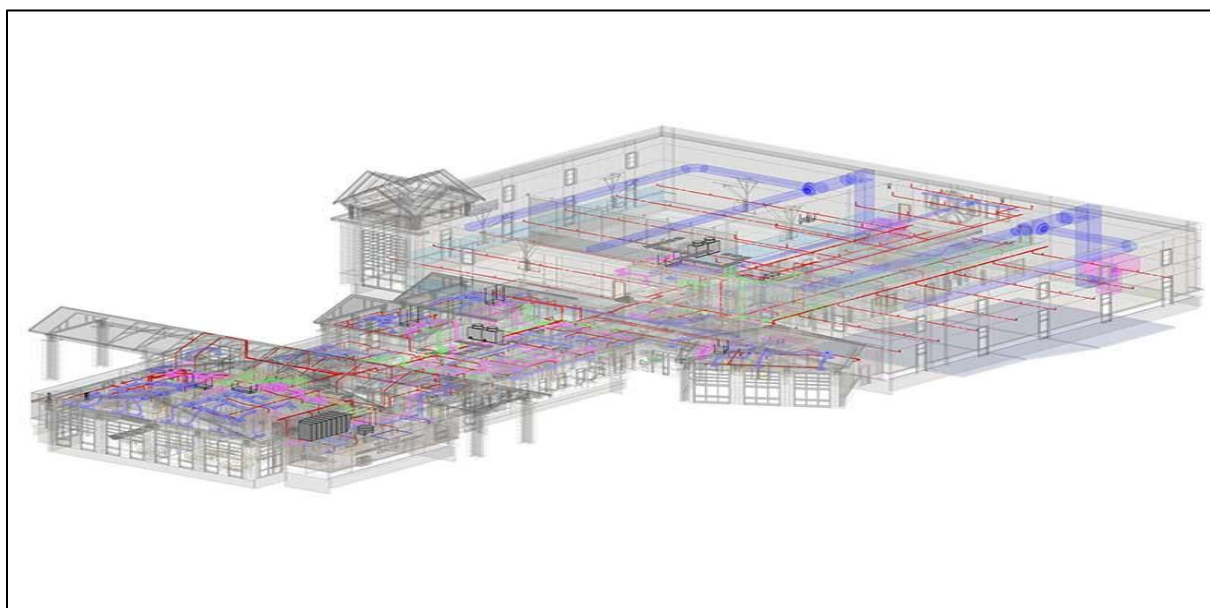
Erre szolgálhat megoldással a Building Information Modeling (BIM, magyarul: épületinformációs modellezés) amely az épületek tervezési és építési folyamatainak átfogó digitális modellek segítségével történő szimulálását és optimalizálását jelenti egy intelligens tervezési folyamaton keresztül. Az épületek üzemeltetése szempontjából, azok teljes életciklusát tekintve, a BIM jelentős előnyöket kínál a hagyományos tervezési módszerekkel szemben, mivel általa bármikor részletes információkhoz juthatunk az épület bármely alkotóelemét illetően. [9]

Az IoT és az MI, az előnyeik ellenére még mindig a kezdeti szakaszban van a tűzmelőzőési ágazatban. Az alábbi ábra bemutatja, hogy milyen berendezéseket, szervezeteket lehet egybekapcsolni a hatékonyabb működés érdekében.



6. ábra: Tűzvédelmi rendszer elemek összekapcsolhatósága egy adott épületben (készítette a szerző)

Ennek a segítségével olyan adatbázist építhetünk, amely a tervezésével kapcsolatos valamennyi információt tartalmazza, kezeli. A megalkotott 3D-s modellek segítségével a tervezés lerövidül, a valóságot teljes mértékben lefedő terveknek köszönhetően jobban optimalizálható az építőanyagok mennyisége és minősége. A pontos építőanyag lista jelentős megtakarítást és könnyebb ellenőrizhetőséget jelent. A BIM megkönnyítheti a kommunikációt a tervezési és kivitelezési fázisban a hatóságok, szakhatóságok, az ügyfél és a kivitelezők között.



7. ábra: Sprinkler hálózat BIM alapú modellezése (Forrás: ld. [10])

Az épületek szakhatósági elbírálásánál a tűzvédelmi hatóság az épület 2D vetületével találkozik csak, de a BIM segítségével 3D-ben az épületet akár virtuálisan bejárva és az egyes alkotóelemeket vizsgálva (épületszerkezetek, tartóelemek, tűzszakaszok, tűzgátló tömítések, tűzgátló nyílászárók, tűzjelző és tűzoltó berendezések) hatékonyabban lehetne vizsgálni a kivitelezéseket és tervdokumentációkat és használatbavételt követően nyomon követni a tűzvédelmi helyzetre kiható változásokat. A karbantartásokat is egyszerűbben lehetne tervezni, mivel a program tudna figyelmeztetni a karbantartás szükségességére a betáplált adatok alapján. A továbbiakban bemutatott intelligens megoldásokat is erre a 3D-ben megalkotott modellre lehetne alapozni.

### 3.2.1. Okos épületek

Fontos tisztázni, hogy mely épületek esetében valósulhat meg a mesterséges intelligencia használata, mivel egyfajta alapot le kell fektetni ahhoz, hogy az hatékonyan alkalmazható legyen. Az intelligens épületek olyan integrált technológiai rendszerekkel felszerelt épületek, amelyek segítik az IoT eszközeinek, folyamatainak vezérlését és automatizálását, valamint az adatgyűjtést a jobb belső működés érdekében. Az okos épületek intelligens hálózataikkal magasabb szintű működést biztosítanak, amelyeket fejlett szoftverek és interfészek hajtanak végre, vezérlik például a fűtést, világítást, energiafogyasztást, szellőztetést. Tudni lehet, hogy kik és hol tartózkodnak az épületben, a teljes energiafogyasztás, valamint a biztonsági rendszer adatai is egy helyen állnak rendelkezésre. Egy intelligens épület össze tudja gyűjteni ezeket az adatokat és egyetlen egységes térben megjeleníteni. Az okos épület biztosítja az optimális működéshez szükséges adatokat, és egyben vezérelheti is az ezekhez kapcsolódó eszközöket. Például a mozgásérzékelők azonosíthatják, ha valaki tartózkodik a szobában, ha nem, a világítás és a fűtés/légkondicionálás automatikusan kikapcsolható. Ezenkívül a használaton kívüli készülékek beprogramozhatók úgy, hogy azok automatikusan ki vagy bekapcsoljanak. Ezek az intelligens épületek forradalmasíthatják a vállalkozások tűzbiztonságát is azáltal, hogy integráljuk a tűzvédelmi rendszereket az okos épületeik hálózatába.

Az intelligens épületek előnye a folyamatos adatszolgáltatás, ami azt jelenti, hogy az élő monitoring minden rendszerben lehetséges. A rendszerhiba megfigyelésének és azonosításának képessége rendkívül előnyös, mivel a hiba automatikusan elküldhető a karbantartó szervezetnek. Ez nemcsak biztonságosabbá teszi az épületet az alkalmazottak számára, hanem kiküszöböli azt is, hogy valakinek észre kelljen vennie és jelentenie a hibát. Az intelligens épületek egyik legfontosabb előnye, amelyet gyakran figyelmen kívül hagynak, az a képesség, hogy megtanulják, hogyan használják a teret. A mozgásérzékelők, a beléptető rendszer és a kamerák használata nagyszerű módja annak, hogy megállapítsa, mely területeken tartózkodnak többen. Az ellenőrzött környezeti hatások, így a légszellőztetés mértéke, valamint egyes feladatok automatizálása révén a dolgozók eredményesebben tudnak dolgozni. Az intelligens épületeknek az is az előnyük, hogy pénzügyi haszonnal is járnak, mivel az adatelemzés és automatizálás révén elért általános hatékonyság növekedésnek köszönhetően segítenek a hatékony energiafelhasználásban, a dolgozók termelékenységének javításában, valamint az épületterület kihasználásában.

### 3.2.2. Okos épületekbe integrált tűzvédelmi rendszerek

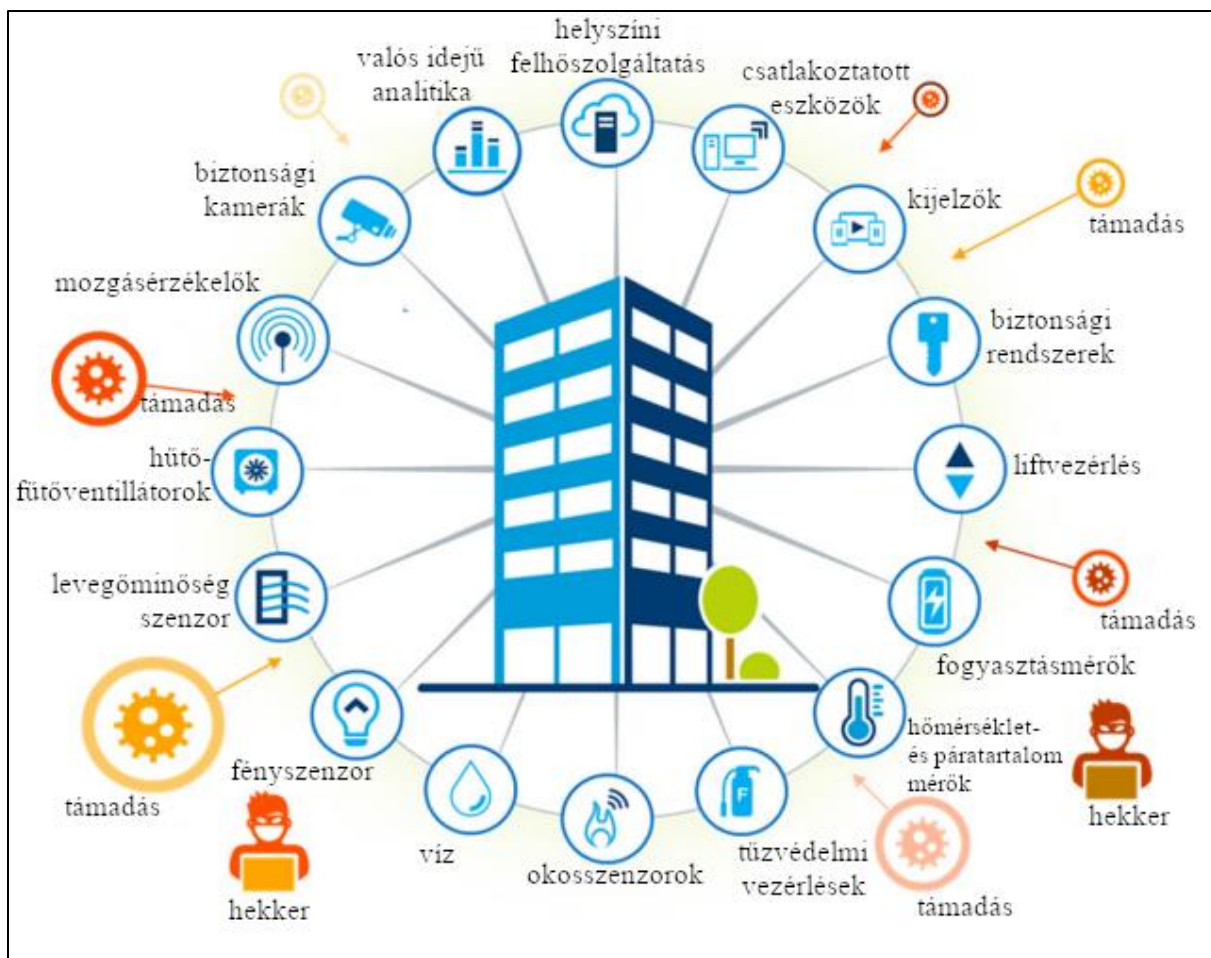
A digitális tűzjelző rendszerek címezhető jellemzői és moduláris felépítése a tűzvédelem új szintjét nyitotta meg, például azáltal, hogy pontosan meghatározza egy adott füstérzékelő helyét a riasztási zónában. Hamarosan egyre nagyobb számú hálózatba kapcsolt tűzjelző rendszer csatlakozik a dolgok internetéhez. Ez egy nagyobb trend része az iparágakban, beleértve az intelligens otthonokat és az intelligens épületeket, amelyeket az érzékelőadatok és a mesterséges intelligencia keverékével automatizálnak. Lényegében, ha egy eszköz képes funkcionálisan tesztelni önmagát, leutánozni egy funkcionális tesztet, és jelenteni tudja, hogy az eszköz megfelelt-e vagy hibás, és ezt a jogszabályokban meghatározott időközönként hajtja végre, akkor ez egyenértékűnek tekintendő azzal, mintha egy felülvizsgálót küldenének, hogy tesztelje őket. Ez a képesség lehetővé teszi az üzemeltetőnek, hogy sokkal gyorsabban tesztelje rendszerét, mint valaha, sokkal kevesebb leállást generálva.

A felhő alapú megoldások ma már minden szegmensbe betörnek, és ez alól a tűzvédelem sem kivétel. Legfontosabb ismérve a rendszereknek, hogy minden adat folyamatosan elérhető távolról, így a rendszer teljesítménye nyomon követhető és kezelhető, illetve ellenőrizhető bármilyen számítógép, laptop vagy mobileszköz segítségével bárhol és bármikor. Meg kell teremteni annak a lehetőségét, hogy ezekhez az adatokhoz a hatóság, tűzoltóság a szükséges mértékig hozzáférhessen, ellenőrizhesse azokat. A technológia jobb karbantartási szolgáltatásokat, sőt új üzleti modell lehetőségeket is jelent. Az üzemeltető akár a világ bármely pontjáról csatlakozhat életvédelmi rendszereihez telefonnal, táblagéppel vagy bármilyen csatlakoztatott eszközzel. A rendszereket össze lehet kötni, de a biztonsági aggodalmakat is figyelembe kell venni. Sérülhet-e a rendszer a hackerek ellenséges tevékenysége miatt? Olyan biztosítékokat kell bevezetni, amelyek megakadályozzák az ilyen támadásokat vagy a rendszerekre irányuló rosszindulatú tevékenységeket. Lépéseket kell tenni a megbízható termékek külön listájának elkészítésére.

Ahhoz hogy megfelelően működjön, a rendszerből három fontos elemet kell kiemelni: érzékelők, szoftverek és a hozzájuk kapcsolódó szolgáltatások. Előfeltételként a rendszereknek, például a tűzjelző központoknak és az érzékelőknek biztonságos módon kell csatlakozniuk az internethez. Ezzel a kapcsolattal a rendszer kommunikálhat egy felhőalkalmazás-szerverrel, és valós idejű adatokat küldhet, például az eszköz vagy akkumulátor állapotáról, eseményelőzményekről. Egyre fontosabb lesz, hogy a rendszerek kommunikálni tudjanak alkalmazásokkal vagy épületfelügyeleti szoftverekkel, ezért nekünk is meg kell teremteni a feltételeket, hogy ezekhez a rendszerekhez tudjunk csatlakozni.

A tűzjelző rendszerek címezhető jellemzőinek köszönhetően már csak egy lépés, hogy az adott helyen a videó megfigyelő kamerás ellenőrzés is megvalósulhasson. A videó ellenőrzés során a központi ügyeleti állomás „láthatja” a tüzet. Amikor értesítik a beavatkozókat, közvetítik a releváns információkat, például azt, hogy valódi tűzről van szó, mekkora a tűz, és a tűz pontos helyét is meghatározzák. A megfigyelés során a személyzet képes információkat továbbítani folyamatosan, hogy a beavatkozók megfelelően reagálhassanak. A térfigyelő kamerák használatának legnyilvánvalóbb előnye a tűz megfigyelése és a téves riasztások csökkentése, kiszűrése. Ennek a megoldásnak a használata azonban többet kínál. Például a hagyományos tűzérezékelő rendszerek csak akkor működnek, ha füst vagy hő éri az érzékelőket, amelyek gyakran a mennyezeten vannak. A kamerák ezzel szemben szinte azonnal észlelik a tüzet, amint az kitör, és legalább néhány másodperccel több időt biztosítanak a beavatkozóknak az elhárításra. A videó alapú tűzérezékelés óriási időelőnyt biztosít a szabványos tűzérezékelési megoldásokhoz képest, mivel a tüzet közvetlenül a forrásnál lehet észlelni, ami lehetővé teszi, hogy a riasztások előbb megvalósuljanak. Emellett a videó alapú tűzérezékelés olyan helyekre is telepíthető, ahol a hagyományos rendszerek nem használhatók hatékonyan, például poros és párás környezetben, magas belmagasságú épületekben vagy nyílt területeken. Lehetővé teszi a tűzjelzés és a videó megfigyelés egy rendszerben való kombinálását is.

Például az AVIOTEC algoritmussal vezérelt videokamerának köszönhetően a tűz első jelei akár a kihívást jelentő kültéri körülmények között is a nap 24 órájában észlelhetők egy gyártási komplexumban. A nagy gyárkomplexumok átfogó tűzbiztonsága érdekében az ellenőrző rendszernek gyorsnak kell lennie az észlelésben és az azonnali riasztások kiváltásában, ellenállónak kell lennie a hamis riasztásokkal és a rossz időjárási viszonyokkal szemben és megbízhatónak kell lennie gyenge fényviszonyok mellett is. Az AVIOTEC IP Starlight 8000 gyors tűz- és füstérezékelést biztosít a videó-megfigyelésnek köszönhetően, amely hatékonyan működik belső térben és védett külterületen egyaránt. A videó alapú füstérezékelőt ott lehet telepíteni, ahol a videokamerák már el vannak helyezve - így az egész helyiség biztonsága és védelme ugyanazon rögzítési pontokon fedhető le, megkönnyítve a telepítést és a karbantartást. A láng- és füstérezékelési algoritmusok mellett az AVIOTEC kamerába integrálták a Bosch intelligens video elemzését. Ez azt jelenti, hogy intelligens video-megfigyelést nyújthat a helyiségek biztonsága érdekében, valamint figyelemmel kísérheti a tűz jeleit. [11]



8. ábra: Okosépületbe integrálható rendszerek (Forrás: ld. [12])

A tűzjelző rendszerek egyre inkább életbiztonsági rendszerre váltak, mivel egyre több mindent vezérelnek a riasztás után (pl.: hő és füst elvezetés, riasztás, kiürítés, oltórendszer, tűzgátló ajtók stb.) Egy okos épület manapság elkezdheti felkapcsolni a lámpákat, be tudja állítani az ablakok árnyékolóit, hogy bemenjen a nap, le tudja hívni a liftet. Az egész arról szól, hogy a rendszerek hogyan integrálódnak egymásba, nem egyszerűen információt szolgáltatnak egymásnak, hanem interakcióba is lépnek egymással, aminek következtében az egyik rendszerről a másikra kerülnek az információk. Ebből látható, hogy a fent említett tűzvédelmi megoldások bevezetése és egy központi helyről történő vezérlése (pl. tűzjelző központ) nem áll messze a megvalósíthatóságtól.

Problémát jelenthet, hogy a tűzvédelmi előírások országoként eltérőek, és bármilyen új technológia alkalmazásakor némi zűrzavar merül fel a jogszabályi megfelelés és rendszer kompatibilitás tekintetében, hiszen egy üzemeltetőnek érdeke, hogy ugyanazt a bevált rendszert tudja használni különböző telephelyeken.

### 3.2.3. Mesterséges intelligencia a kiürítésnél

A gyalogosok mozgásának modellezése nagy elméleti és gyakorlati érdeklődésre tart számot. A közelmúltban végzett kísérleti erőfeszítések a gyalogosok interakcióinak kvantitatív részleteit tárták fel, amelyeket sikeresen matematikai egyenletekbe öntöttek és több kutatást végeztek a mesterséges intelligenciát segítségül hívva, a pánikhelyzetekben történő kiürítésekkel kapcsolatban. Ezen a kutatásokon keresztül szeretném bemutatni, hogy az MI nem csak a konkrét káreseményeknél, hanem a szabályozók kidolgozásában és a modellezésekben is segítséget tud nyújtani.

Az ilyen tanulmányok mélyebben megértették, hogyan alakul ki a kollektív viselkedés az egyéni emberi interakciókból. Érdekes módon a gyalogosok kölcsönhatásai különféle összetett, tér-időbeli mintázatképző jelenségekhez vezetnek.

Ez magában foglalja az egységes járási irányú sávok kialakulását, a gyalogos áramlás oszcillációit a szűk keresztmetszeteknél, valamint gyalogos sávok kialakulását két egymást keresztező áramlásban. Ezek a megfigyelések fontos hatással vannak a gyalogos helyszínek optimalizálására, különösen a kiürítések esetében.

Vegyünk egy példát, amelyben egy kiürítési szituációt modelleztek a kutatók [13, pp. 6.]

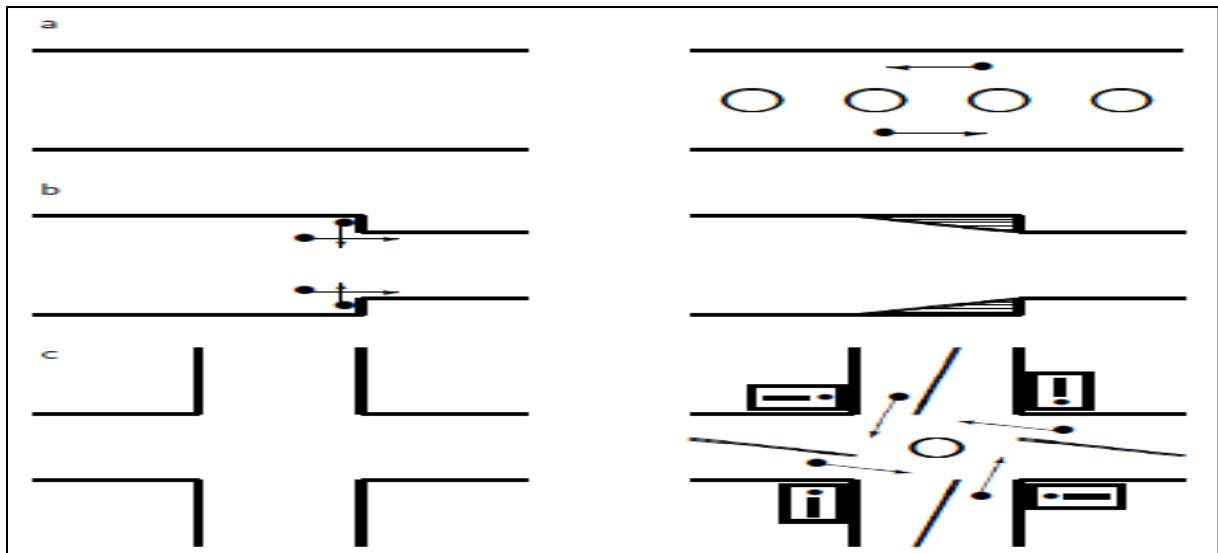
A pánikhelyzet az egyik letragikusabb kollektív viselkedés és gyakran olyan emberek halálához vezet, akiket mások összezúznak vagy letaposnak. Míg ez a viselkedés érthető életveszélyes helyzetekben, például tűzesetben zsúfolt épületekben, nehéz megérteni, ha egy koncerten például jó helyért rohanunk. Sajnos az ilyen katasztrófák gyakorisága növekszik, mivel a növekvő népsűrűség és a könnyebb közlekedés együttesen nagyobb tömegrendezvényekhez vezet, mint például koncertek, sportesemények és demonstrációk. Mindazonáltal ritkák a pánik szisztematikus tanulmányozására vonatkozó kutatások, és kevés a kvantitatív elmélet, amely képes előre jelezni az emberi tömegek dinamikáját.

A pánikhelyzetek általánosan az alábbiak szerint jellemezhetők:

1. Menekülési pánikhelyzetekben az egyének idegessé válnak, és hajlamosak „vakon” előre rohanni.
2. Az emberek a normálisnál lényegesen gyorsabban próbálnak mozogni.
3. Az egyének nyomulni kezdenek, és az emberek közötti interakciók fizikai jellegűvé válnak.
4. A szűk keresztmetszetek (ajtók) esetében a mozgás, és különösen az áthaladás gyakran koordináció nélkülivé válik.
4. A kijáratoknál torlódás alakul ki.
5. Az elakadt tömegben a fizikai kölcsönhatások összeadódnak, és akár 4500 Newton/méter nyomást is okozhatnak, ami meghajlíthatja az acélkorlátokat vagy lebonthatja a téglafalakat.
6. A menekülést lelassítják az akadályokká váló elesett vagy sérült emberek.
7. Az emberek hajlamosak csordaszellem magatartást tanúsítani, azaz azt tenni, amit mások.
8. Az alternatív kijáratokat gyakran figyelmen kívül hagyják, vagy nem használják hatékonyan menekülési helyzetekben.

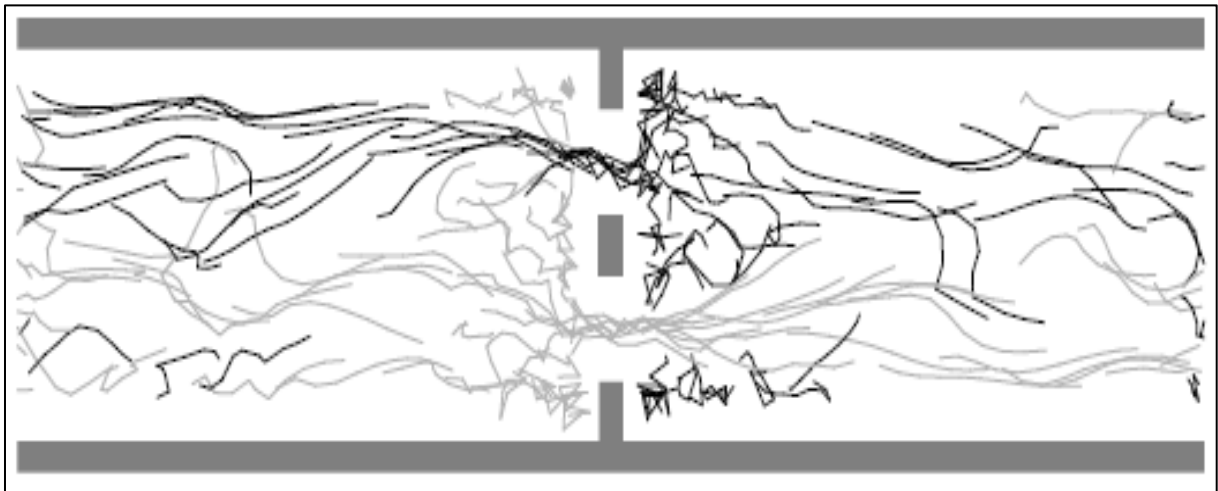
A kutatás során algoritmusok segítségével gyalogos infrastruktúrák esetében az alábbi általános megfigyeléseket tették:

1. Nagy gyalogossűrűségnél például egy sima folyosón az egységes járási irányú sávok inkább zavarják egymást, a türelmetlen gyalogosok minden rést igyekeznek kihasználni az előzésre, ami gyakran az ellenkező járási irány utólagos akadályozásához vezet. A sávokat az út közepén álló fák vagy oszlopok sorozata stabilizálja. Emellett némi kerülőt igényel az oszlop másik oldalának elérése, ami kevésbé teszi vonzóvá a szemközti gyalogos sávokban előforduló rések használatát.
2. A szűk keresztmetszetek áramlása javítható egy tölcser alakú konstrukcióval, amely egyúttal helymegtakarítást tesz lehetővé.
3. A szélesebb ajtó nem feltétlenül vezet a gyalogosok átáramlásának arányos növekedéséhez. Ez inkább a gyalogos irány gyakoribb változásához vezethet, ami átmeneti holtpontokhoz vezethet, ahol senki sem tud haladni. Ezért a falhoz közeli két ajtó hatékonyabb lehet, mint egy dupla szélességű ajtó.



9. ábra: Gyalogos létesítmények kialakítása (Forrás: ld. [14, pp. 22.]

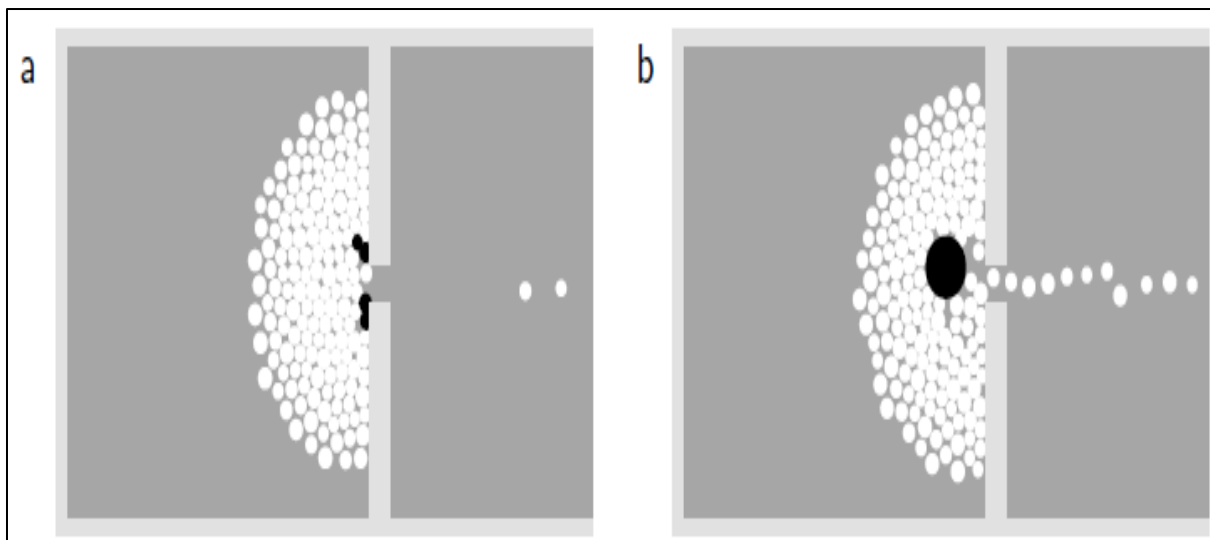
Ahogy a fenti képen is látható, a gyalogos létesítmények hagyományos (bal) és továbbfejlesztett (jobb) elemei: a) utak, b) szűk kereszteződések és c) sima kereszteződések. A felkiáltójelek vonzási hatásokat jelölnek (pl. érdekes plakátok az utca felett). Az üres körök oszlopokat vagy fákat, míg a nyilakkal ellátott teli körök a gyalogosokat és a gyalogosok irányát szimbolizálják. Fenti kialakítások is jól szemléltetik, hogy ha két alternatív átjáró áll rendelkezésre, akkor az ellenkező irányú gyalogosok az önszerveződés eredményeként más ajtókat használnak, ami nemcsak a hatékonyságot növeli, hanem helyet takarít meg, amelyet, padok elhelyezésére vagy egyéb célokra használhatnak.



10. ábra: Gyalogosok csoportok önszerveződése (Forrás: ld. [14, pp. 23.]

Fenti a megállapításokat a pánikhelyzetek vonatkozásában az alábbiak szerint használták fel:

Hasonló tervezési stratégiák dolgozhatók ki pánikhelyzetekre, ahol a kijáratok elé aszimmetrikusan elhelyezett oszlopokkal lényegesen javított kiáramlás érhető el. Ezzel megelőzhető a feltorlódás a kilépési területeken, és ezáltal a sérülések is csökkenthetők. Ezenkívül optikai és akusztikus ingerek segítségével, azaz a fény- és hangforrások megfelelő elrendezésével lehet az embereket a használható kijáratok irányába irányítani.



11. ábra: Pánikba esett tömeg áramlásának növelése (Forrás: ld. [14, pp. 24.]

A 11. számú ábra az alábbiakat mutatja be: a) Pánikba esett tömegben a fizikai interakciók miatt nagyobb erőhatások keletkeznek. Ennek következtében megsérülhetnek az emberek (kis fekete korongok), akik akadályokká válhatnak a többi gyalogos számára, akik menekülni próbálnak. b) A kijárat előtti oszloppal (nagy fekete korong) elkerülhetők a sérülések, mivel az oszlop veszi fel a hátulról érkező erőhatásokat, továbbá 50%-kal növelheti a kiáramlást is. A több száz ember által használt nagy kijáratoknál több véletlenszerűen elhelyezett oszlopokra van szükség a tömeg és a nyomás felosztásához. Az oszlopok aszimmetrikus konfigurációja a leghatékonyabb, mivel így megelőzhetők a feltorlódások, amelyek átmenetileg leállíthatják a tömeg kiáramlását.

Mint látható a kutatások lehetővé tették Helbing számára, hogy egy olyan elvet dolgozzon ki, amelyben a menekülési útvonalakon, különböző szerkezetek elhelyezésével mesterségesen korlátozzák a sebességet, de összességében több ember számára teszik lehetővé az átáramlást a biztonságos térbe. Helbing nem csak számítógépen, hanem tényleges kísérletekkel is megerősítette, a gyalogosok kollektív jegyei az útvonalak spontán kialakulásához vezetnek. Ebből következik, hogy a tömeg viselkedése természetesen alakul ki és így jobban kihasználhatóvá válnak a terek és pontosabban meghatározhatók a menekülési stratégiák.

Ezek a kutatások segíthetnek új kiürítési irányelvek és pontosabb kiürítési szimulációk kialakításában akár a korábban említett BIM tervezési rendszerrel összehangolva. Egy ilyen komplett rendszerrel egyszerre lehetne szimulálni a tűz- és füstterjedést, a menekülést, amely teljesen kielégítheti a hatályos Tűzvédelmi műszaki irányelvekben előírtakat is.

### 3.3. Részösszegzés

A tűz megelőzési szakterület vonatkozásában kutatásom célja az volt, hogy a ma is létező, illetve fejlesztés alatt álló technológiákat bemutassam és ez alapján átfogóbb képet kapjunk a lehetséges fejlesztési lehetőségekről a hatékonyabb tűz megelőzés érdekében. A bemutatott technológia megoldásokkal úgy gondolom a célkitűzésemet teljesítettem. A szabadtéri tüzek megelőzésében már most is használnak műholdakat és drónokat, de a lokális/statikus érzékelők hasznosságát is érdemes megvizsgálni.

Az okosépületek egyre elterjedtebbek, a vagyon és személyi védelem miatt a tűzjelzők is egyre gyakrabban jelennek meg az épületekben, érdemes az ezekből nyerhető információkat egy térbe integrálni a könnyebb kezelhetőség érdekében. A BIM-el már egyre több vállalat foglalkozik, egyre több szakértő használja a munkában. A BIM-et kombinálva az MI-vel egy olyan rendszer kapunk, amelyben hatékonyabban nyomon követhető az épület életciklusa, az alkalmazott változások, a karbantartások.

Érdemes folyamatosan nyomon követni az MI-vel kapcsolatos kutatásokat, mert hasznos alapot szolgáltathatnak a szakterületeknek, mint például az ebben a fejezetben bemutatott gyalogosok mozgásának modellezésére szolgáló kutatás, amely egy esetleges kiürítési szimulációnál nagyobb pontossághoz vezethet, sokkal közelebb állhat a szimuláció a valósághoz, mint a mostani modellek esetében.

Ahhoz, hogy a tűz megelőzés területén szélesebb körben tudjuk alkalmazni a mesterséges intelligenciát nem csak a katasztrófavédelem általi, hanem az épületeket üzemeltető vállalkozásoknak is fejlesztéseket beruházásokat kell végrehajtaniuk. A rendszerekhez, való hozzáférhetőséget és ellenőrizhetőséget pedig jogszabályi alapokon kell megteremteni. Amint látjuk, már egyre több épületet szerelnek fel okos rendszerekkel ezért magunkat is fel kell készítenünk arra, hogy ne csak az üzemeltető, hanem a hatóság is fel tudja használni az ezekből származó adatokat a hatékonyabb ellenőrzés, megelőzés, kárfelszámolás érdekében.

#### 4. MESTERSÉGES INTELLIGENCIA A MENTŐ TŰZVÉDELEMBEN

A tűzoltók munkájához elengedhetetlen a megfelelő eszközök megléte. Ez magában foglalja a minden nap használt felszerelést, a csapatként kifejlesztett kommunikációs készségeket, az alapkiképzést és a folyamatos továbbképzést. A mesterséges intelligencia és számos más fejlett technológia megváltoztathatja és javíthatja a tűzoltók vészhelyzetekre való reagálását. Például az orvosi mesterséges intelligencia segít a szív megállások gyorsabb észlelésében, az autonóm járművek pedig gyorsabban és hatékonyabban szállíthatják az beavatkozókat és a berendezéseket a helyszínre. Ebben a fejezetben megvizsgálunk néhány olyan új technológiát, amelyek javíthatják a beavatkozások minőségét és a vészhelyzetekre való felkészülést.

Alább látható egy elméleti összevetés a tűzoltásban bekövetkező esetleges változásokról a mesterséges intelligencia használatával.

| <b>Jelenlegi állapot</b>                 | <b>Jövőbeni állapot</b>                                                                                             |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hagyományokon alapuló technika           | Adat vezérelt tudományos alapú technika                                                                             |
| Helyi adatok, információk                | Globális adathalmaz, információ                                                                                     |
| Adatszegény döntéshozatal                | Információban gazdag döntéshozatal                                                                                  |
| Ki nem aknázott vagy elérhetetlen adatok | Átfogó adatgyűjtés és analízis                                                                                      |
| Elszigetelt berendezések és épületelemek | Hálózatban összekapcsolt berendezések és épületek felügyelete, adatokhoz és vezérlési rendszerekhez való hozzáférés |
| Emberi műveletek                         | Ember által irányított, együttműködő és automatizált műveletek gépekkel                                             |

2. táblázat: A tűzoltás jelene és jövője (készítette a szerző)

#### 4.1. Drónok

A drónt vagy pilóta nélküli repülőgépet, amelyet elsősorban katonai célokra fejlesztettek ki, már az 1960-as évek óta alkalmazzák a harcászatban. „A drónoknak több rokon értelmű megnevezésével is találkozhatunk, így leggyakrabban a pilóta nélküli légi jármű, vagy pilóta nélküli légi jármű rendszerek angol fordításainak – unmanned aerial vehicle, ill. unmanned aerial systems – kezdőbetűiből alkotott UAV, UAS rövidítéseivel. Leginkább Európában használatos az RPAS kifejezés, amely a remotely piloted aircraft system kezdőbetűiből alkotott mozaikszó és fordításában kifejezésre juttatja azt, hogy ezek a légi járművek igazából mégsem pilóta nélküliek, hanem azok által, de távirányítással működtetett légi jármű rendszerek.” [14]

Alkalmasak olyan feladatok ellátására, ahol az extrém körülmények (például: meteorológiai körülmények, domborzati viszonyok) miatt a beavatkozó állomány élete vagy testi épsége veszélyben lehet. Nagy előnye, hogy az eszköz távolról is irányítható és a rászerelt kamera képet továbbít, illetve rögzít, így a káreset területének és nagyságának pontos meghatározásához is segítséget képes nyújtani. Fontos megjegyezni, hogy egy drón önmagában nem minősül MI-nek hanem a hozzájuk kapcsolódó programok, algoritmusok, háttérprogramok teszik okos eszközzé a drónt. Ezen megoldások katasztrófavédelemben történő használata hasznossá válhat a tűz megelőzés, a folyamatos káreseti helyszíni adatgyűjtés és a tűzvizsgálatok szempontjából is.

Használatuk előnyt jelenthet a tűzoltás előtti tervezésben, a gócpontok megtalálásában, a tűz utáni feltérképezésben, a keresési és mentési műveletekben és még sok másban.

#### 4.1.1. Drónok használata káresetek helyszínén és döntéstámogatásnál

A drónokra olyan tűzoltásra alkalmas berendezések is szerelhetők, amelyek megfelelő közelségből tudják a tüzet megfékezni vagy akár méretüktől függően tárgyakat (pl.: gázpalackokat) is el tudnak mozgatni az emberi élet veszélyeztetése nélkül. A drónok városi környezetben is segíthetnek a tüzek leküzdésében. A Los Angeles-i Tűzoltóság az elsők között például már 2015 óta használ drónokat. [15] Mindezek az előnyök a mesterséges intelligenciával kombinálva érezhető különbségeket eredményezhetnek a káresetek felszámolásában, keletkezési okainak feltárásában és az életmentésben. A kutatóknak sikerült már olyan mesterséges intelligencia modelleket létrehozni, amelyek nem csak statisztikai adatokra, hanem a helyi tűzoltók korábbi tapasztalataira, megszerzett tudására is építenek. [16]

A kutatási és mentési feladatokhoz általában helikopterekre, mentőkre, nagyszámú emberre és egyéb erőforrásokra van szükség. Ha azonban kéznél van egy drón, nem kell megvárni, míg minden erő-eszköz a helyszínre ér, azonnal megkezdődhet a keresés. A kamerák felvételeinek és hőképeinek segítségével hatékonyabban oszthatjuk el az erőforrásokat. Ha a mesterséges intelligenciát és az adatelemző technológiát drónokkal kombinálják, javítjuk a tűzoltók helyzetfelismerését. Már a katasztrófavédelem is felismerte a drónokban rejlő lehetőségeket ezért országosan több drón és azokat szállító gépjármű került beszerzésre. Véleményem szerint a jól megalapozott, gyors döntések meghozatala, valamint ennek a képességnek a javítása ma a közbiztonság egyik legfontosabb prioritása. A nagyobb területű káreseteknél jelenleg a drónok jelenthetik a leghatékonyabb eszközt a döntést támogató adatok továbbításában, így biztosítva jobb és gyorsabb helyzetfelismerést a kárhelyparancsnokoknak az eredendően kaotikus helyzetekben. A drónok teljes képet adhatnak a helyszínről, miközben távol tartják az embereket a veszélytől.

#### 4.1.2. Drónok használata beavatkozás közben

A drónok nem csak döntés előkészítésében, hanem a beavatkozások során is segítségünkre lehetnek. Vegyük példának az extrém időjárási körülmények miatt egyre gyakrabban előforduló, nagy kiterjedésű szabadtéri tüzeseteket, amelyeknél tűzoltásvezetőnek nagyon sok szempontot figyelembe kell vennie (pl.: uralkodó szélirány, terjedési irány, terület jellege, veszélyeztetett objektumok stb.) amelyek a légi felderítés nélkül csak korlátozottan vagy nagy idővesztéssel mérhetők fel.

A tűz valamint légkör állandó kölcsönhatása olyan dinamikus és lokális változásokat okozhat a szél sebességében és irányában, amelyeket nem tudnak előre megjósolni a szabványos időjárási modellek és a szakértők sem. A drónok által gyűjtött valós idejű adatok segíthetik a tűzoltókat azáltal, hogy pontosan tájékoztatnak a tűz helyéről és a tűz terjedési sebességéről, irányáról és korai figyelmeztetést küldenek a tűzoltóknak, ha megnő a kockázat. A drónok nagy hatótávolságra képesek repülni, és nagy felbontású kamerákkal, hőérzékelőkkel és egyéb berendezésekkel felszerelve valós idejű képet adnak a tüzekről és azok terjedéséről. Ez segíthet a parancsnokoknak jobb döntéseket hozni a beavatkozás módjáról.



12. ábra: Erdőtűz oltása drónnal (Forrás: ld. [17])

Ezek az információk segíthetnek meghatározni, hol kell a tűzoltóknak esetlegesen ásott, szántott védvonalakat kialakítani a tűz terjedésének megakadályozására. A drónok lehetőséget adnak arra is, hogy különböző technikákkal célzott tüzeket hozzunk létre, amellyel megakadályozhatjuk a nagyobb tüzek kialakulását, vagy a már kialakult tüzek további terjedését egy adott irányban megfékezhethetjük. A drónok segíthetnek a tűzoltók megfigyelésében, amint az égő épületekbe behatolnak, illetve amíg azok belsőjében tartózkodnak, segíthetik a nyomon követésüket. A hő térkép segíthet a beavatkozóknak, hogy mely területek túl forrók, könnyebben azonosíthatók az életveszélyes tartószerkezeti elemek, így azokat elkerülve csökken az omlásveszélyből adódó veszélyeztetettség. További előnyt jelenthet, ha több drónt is összekapcsolunk, így több szemszögből vizsgálható egy adott káreset, és programozás révén megoldható, hogy önműködően elemezzék a káreset területét megtartva a megfelelő távolságot a veszélyeztető elemektől például hőmérséklet érzékeléssel, vagy objektum felismerési képességgel. A mesterséges intelligencia segíthet látni a drónnak ott, ahol a füst miatt a tűzoltónak ez nem lehetséges. Ma már számos kamera- és szenzorcsomag létezik, amelyek lehetővé teszik a tűzoltók számára, hogy a lehető legközelebb kerüljenek, de biztonságos távolságból is figyelhessék meg a tüzet. Akár egy tableten vagy egy mobilkészítőn tanulmányozhatják az adott szituációt, és eldönthetik, milyen közel menjenek a tűzhez. Az infravörös képek jobb betekintést nyújthatnak, hogy mi történik az égő épületen belül. Fontos, hogy az információk megfelelő formátumban és könnyen áttekinthetően jussanak el a tűzoltás-vezetőhöz. Ennek a technológiának egy lehetséges problémája, ami az előnye is, az úgynevezett információ túlterheltség. A kárhelyparancsnok azt tapasztalhatja, hogy a sok bejövő adat – szenzorok, képek, kamerák adatai – miatt döntésképtelenné válik, nem tudja megfelelően és időben feldolgozni az információkat. Szükséges, hogy adott esetben ezeket az információkat figyelmen kívül hagyhassák, vagy szűkíthessék az információk körét a kezelőfelületen gyorsan és egyszerűen.

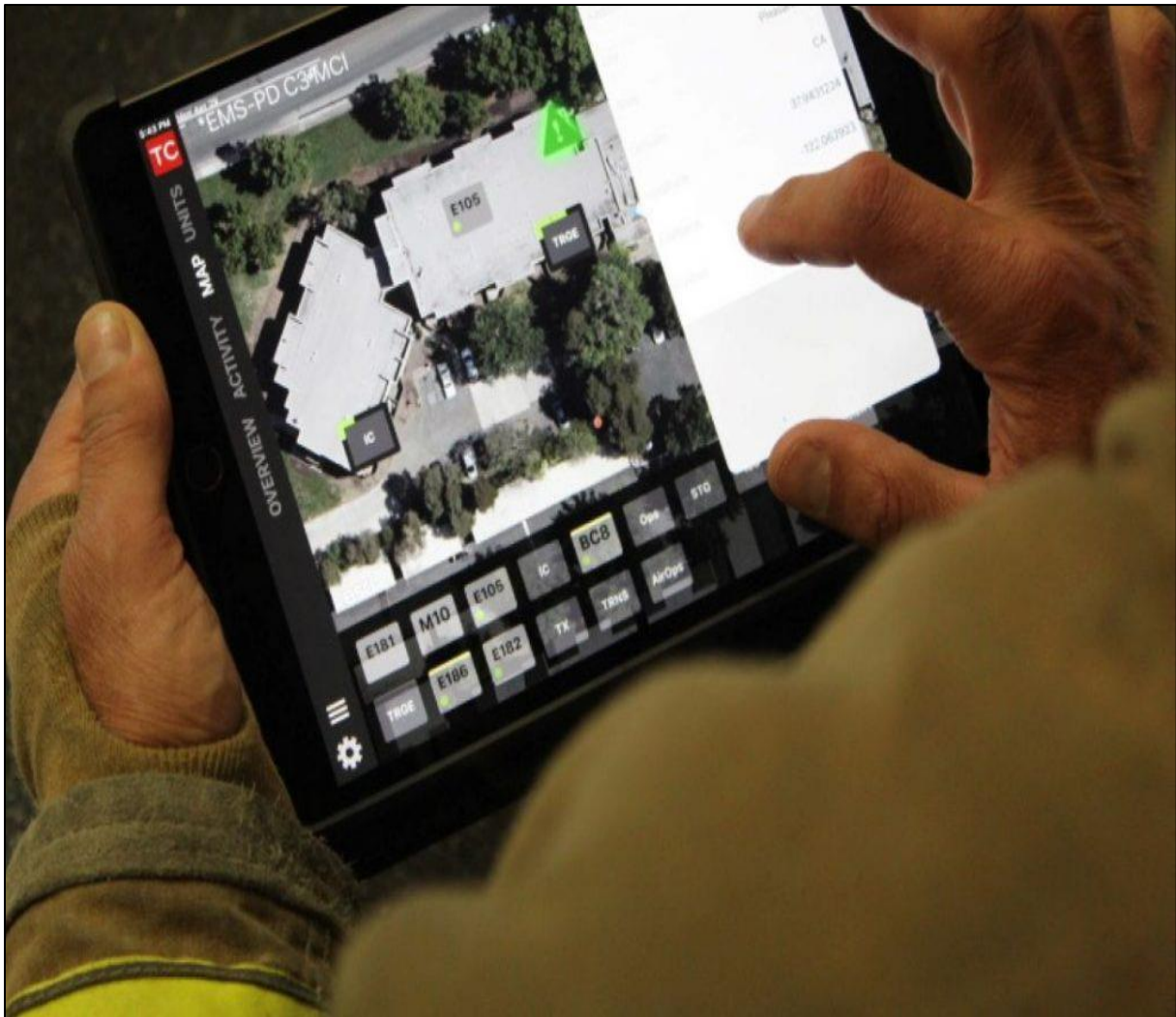
## 4.2. A vonulás előtti és közbeni információgyűjtés és döntéstámogatás

A beavatkozások során nem csak a helyszínen történő információgyűjtésnek, hanem a bejelentés során szerzett információknak is döntő jelentősége van. A technológia ma már lehetővé teszi a videók, fényképek közvetlen küldését is a beavatkozóknak, így akár a helyszínre érkezés előtt helyzetképet kaphatnak az esetről. Vegyünk példának egy Norvégiában már működő rendszert. A segélyhívó központokban a kezelő dönthet úgy, hogy élő közvetítést küld a bejelentő telefonjáról, a baleset helyszínére tartó járműveknek. Telefonálás közben könnyen el tud veszni az információ a zavartság, a félreértések miatt, vagy akár azért, mert az emberek más-más dolgokat vélnek fontosnak. Amikor hívás érkezik a központokba, a híváskezelő szöveges üzenetet küldhet a hívónak, ha kétségei vannak a kapott információkkal kapcsolatban. Ily módon a híváskezelő a megfelelő háttértámogatással és tudással jobban fel tudja mérni a helyzet veszélyét és annak lehetséges alakulását, valamint fel tudja mérni, hogy mi a kevésbé veszélyes, vagy milyen körülményeknek nem volt tudatában a hívó. Ez jobb alapot biztosít a szükséges erő eszköz és a problémakezelés módjának meghatározáshoz. Ezeket a felvételeket megtámogatva a mesterséges intelligenciával segíthetnek a veszélyes anyagok azonosításában (narancssárga tábla) vagy akár a sérült személyek számának azonosításában. A rendszer azonban nem csupán segélyhívásokban bizonyíthatja hasznosságát, lehetővé teheti a téves riasztások távolról történő kezelését, ezáltal időt és erőforrásokat takarítva meg. Norvégiában több segélyhívó központ is tesztelte ezt a lehetőséget és úgy találták, hogy a fenti megoldásba való beruházás hatékony. A híváskezelők nagyon rövid betanítás után ismerkedtek meg a rendszerrel, és sokkal több feladatra tudták használni a megoldást, mint azt eredetileg várták.

A rendszerrel rendelkező összes tűzoltóságának most már lehetősége van arra is, hogy a platform segítségével élő közvetítést kapjon saját állományától, pl. sisakkamerákon, járműveken, drónokon, testkamerákon stb. keresztül, és már sok tűzoltóság él is ezzel a lehetőséggel. [18] Hazánkban a segélyhívó központok csak hangalapú hívásokra támaszkodnak. A következő generációs központok akár gépi tanulással fejleszthetik vészhelyzeti diszpécserrendszereinket. Ennek eredményeként nemcsak beszélgetésekből, hanem szövegekből, videókból, hangokból és fényképekből és több millió közösségi médiában közzétett bejegyzésből is felhasználhatják az adatokat, hogy kiértékeljék azokat, és gyors döntéseket hozzanak. Az MI képes feldolgozni és felgyorsítani a diszpécser munkáját, miközben kiszűri a kevésbé sürgős hívásokat. Képes kommunikálni a hívókkal, azonnal átírja és lefordítja a nyelveket, elemzést végez a bejelentő hangszíne kapcsán. A közösségi csatornákon tapasztalható tömeges közzétételek jelezhetik a vészhelyzetet, még mielőtt egy incidenst – például vonat kisiklását vagy tornádót – jelentenék, ami kritikus előnyt jelent az elsősegélynyújtók számára. Ha valaki tweetel egy képet, amelyen egy elárasztott terület látható, a mesterséges intelligencia azonnal megerősíti a földrajzi helyzetet, és a térfigyelő kamerák által közvetített képek alapján ellenőrizni tudja, hogy a kép valódi-e vagy hamis.

Ennek egy kitűnő példája a Qatar Research Institute által fejlesztett AIDR (Artificial Intelligence for Disaster Response magyarul: Mesterséges intelligencia a katasztrófaelhárításhoz) ami egy ingyenes és nyílt forráskódú szoftver, amely automatikusan összegyűjti és osztályozza a katasztrófák idején közzétett tweeteket. Segít a katasztrófa elhárításban azáltal, hogy kulcsszavakkal és/vagy hashtagekkel, például „hurrikán” és „#Sandy” szűri a tweeteket. A program a tweeteket témák szerint osztályozza, mint például az "Infrastruktúra károsodása" és az "Adományok". Az osztályozás automatikusan megtörténik és a kinyert adatokat a program <https://micromappers.qcri.org/> webhelyen található térképes felületen valós időben feltünteti, a felhasználók által előre megjelölt elemek alapján. Ahhoz, hogy a keresést személyre szabjuk meg kell adnunk kulcsszavak vagy hashtagek listáját és/vagy egy földrajzi régiót. Amint a gyűjtés elkezdődik, különböző kategóriákat kell meghatározni a tweetekben közölt információk címkézéséhez, például "Orvosi szükségletek" vagy "Menedékhely". Létrehozhatunk saját kategóriákat, vagy használhatjuk a program által kínált példákat. Ha a címkézés megtörtént, a program automatikusan alkalmazza az osztályozást a bejövő tweetekre, amelyeket valós időben gyűjt össze.

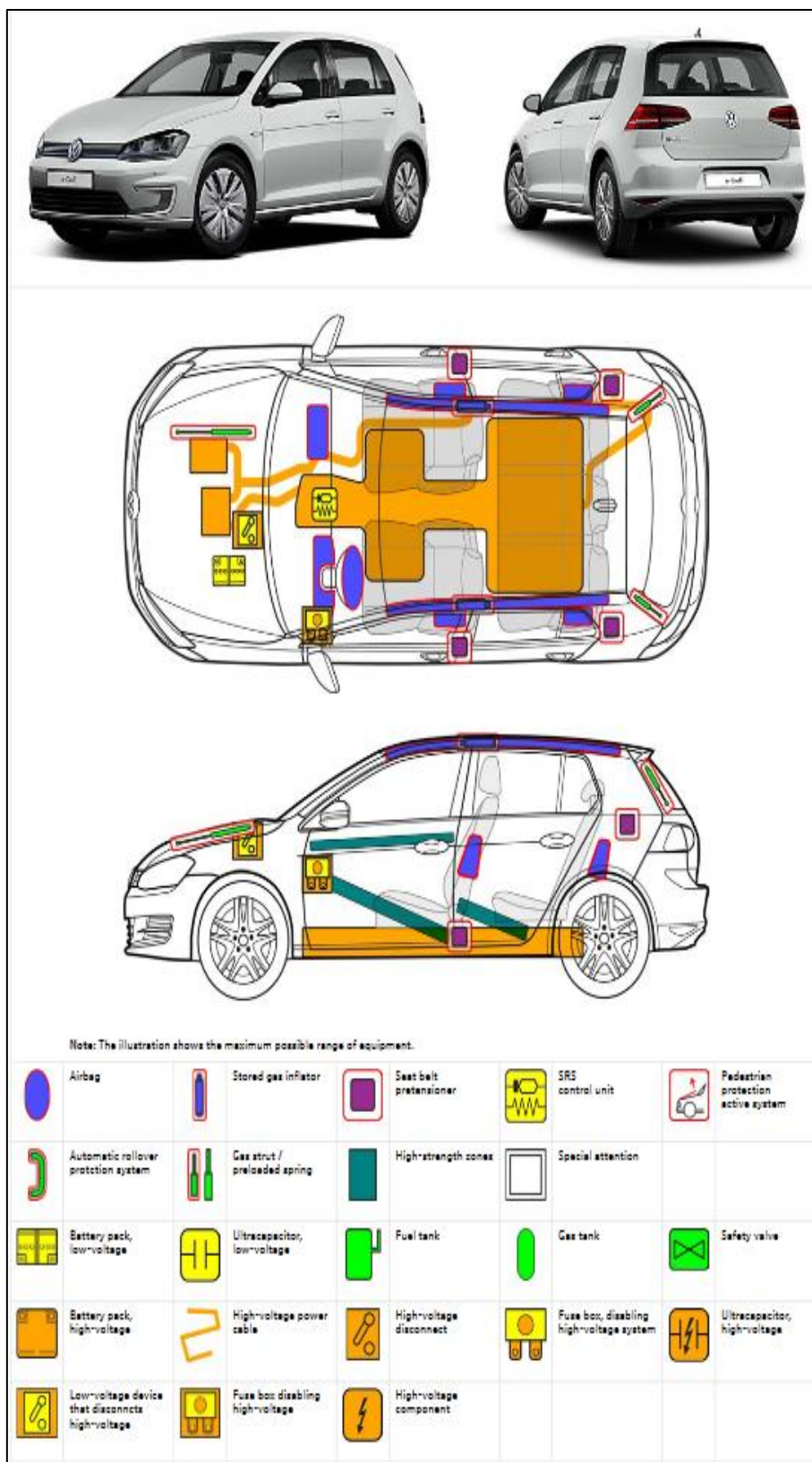
Minden új tweet, amely infrastrukturális károkkal (vagy más előre megadott kategóriákkal) kapcsolatos, automatikusan megcímkézi, és megjeleníti a kezelőben, amelyet élő válságtérkép működtetésére használhatunk. [19]



13. ábra: Kárhelyparancsnoki táblagép (Forrás: ld. [20])

A vonulás közbeni információgyűjtés és a gyors helyszínre jutás is plusz előnyhöz juttatja a beavatkozókat. Nagy kiterjedésű, összetett káreseményeknél átláthatatlanná válhat a beavatkozók munkája, azonban egy központi felület elérésével másodperc pontosságú képet kaphatunk az adott eseményről. A gépjárműfecskenőkre telepített tabletek több téren is hasznossá válhatnak egy beavatkozás során.

Vegyünk példának egy egyszerűbb esetet például egy gépjármű műszaki mentését. Már a bejelentés során fel kell venni az adatokat a járművel kapcsolatban (típus, meghajtás stb.). A fejlesztés alatt álló minipajzs rendszert már lehet arra használni, hogy egy megfelelő központi adatbázis alapján felkínáljon segédleteket. Ez azt jelenti, hogy az adott gépjárművek vonatkozásában (pl. általános tűzoltás taktikai szabályok különböző meghajtásokhoz – benzin, elektromos, gázüzemű – vagy a gépjárműgyártók által közzétett veszélyhelyzeti útmutatót automatikusan felajánlja a riasztási adatlapban megadott adatok alapján, amelyek tartalmazzák a vágási pontokat).



14. ábra: Volkswagen E-golf veszélyhelyzeti útmutató (Forrás: ld. [21])

Vonulás közben az MI-vel megtámogatott navigációs rendszer alternatív útvonalakat tud ajánlani, hogy adott esetben gyorsabban a kárhelyre tudjon érni a gépjármű. Szerintem fontos, hogy a program csak javaslatot tegyen az útvonalra, de a döntés mindig a gépjárművezető és a parancsnok kezében legyen.



15. ábra: 2D KAP online adatbázis (Forrás: ld. [22])

A Google szolgáltatásainak segítségével arra is van lehetőség, hogy akár 3D térképen, a domborzati viszonyokat, épületeket és más tereptárgyakat is megnézzük, vagy a már meglévő adatbázisunkat integrálva a közelben lévő tűzcsapokat is feltüntetheti a térkép. Ezzel megmutatná a tűzoltásvezetőnek hol található és milyen típusú a legközelebbi oltóvízforrás. Továbbá GPS alapú helymeghatározással nyomon követhető a gépjárműfecskezők felállítási helye is. A tabletek kép, video és hangrögzítésre is alkalmasak és az általuk készített felvételek későbbi elemzésekhez további adatbázis bővítésekhez is felhasználhatók, főleg akkor, ha egy programba és egy központi egységbe (pl.: tabletbe) integrálunk minden rendszert (navigáció, döntéstámogatás, személyi szenzorok, drónok által gyűjtött adatok stb.)



16. ábra: 3D döntéstámogatás (készítette a szerző)

Az előző megoldások alkalmazásának a jogi és technológiai háttere jelenleg még nincs megteremtve, de érdemes megfontolni az ebben rejlő lehetőségeket akár olyan módon is, hogy a műveletirányítás a közterületi és veszélyes üzemekben lévő kamerákhoz is kaphasson hozzáférést, indokolt esetekben ezeket a felvételeket az MI által elemezve és adatokkal kiegészítve továbbíthassa vonuló gépjárműre.

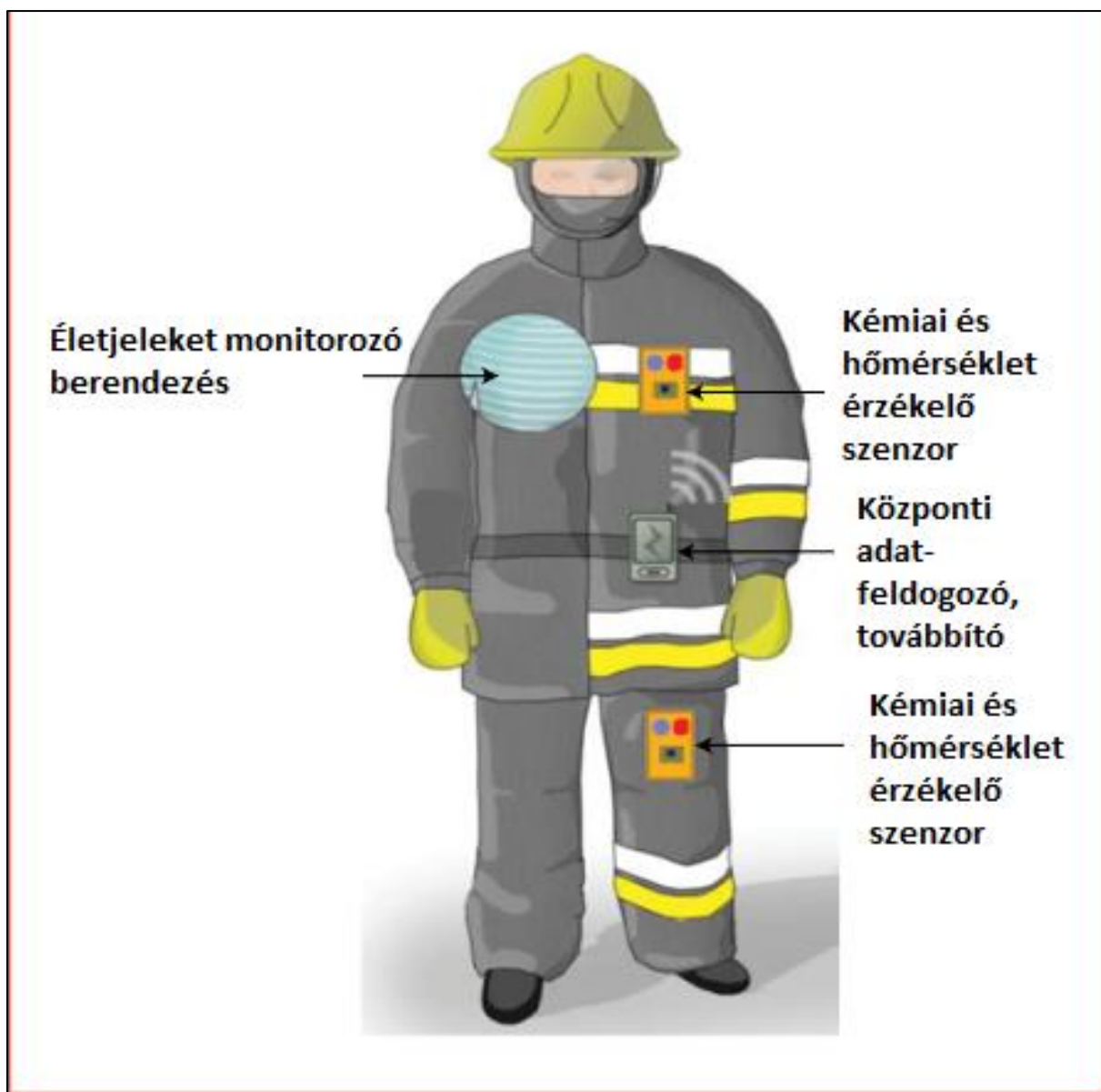
#### 4.3. A beavatkozók egészségi állapotának, helyzetének figyelemmel kísérése

Ma már a hétköznapi élet minden területén elterjedtek a nap 24 órájában viselhető okos órák, pulzusmérők, vérnyomásmérők, amelyek egyáltalán nem zavarják az embert mindennapi életben és tevékenységük során. Ezeknek a különböző szenzorokkal rendelkező eszközöknek viselése és használata sok egészségügyi és fizikai veszélytől óvhatja meg az állományt nem csak a beavatkozások során. A tűzoltóságnál erre példa lehet a tűzoltó élettani állapotának biometrikus megfigyelése. Az adatgyűjtés magában foglalhatja a pulzusszám, a légzésszám, a testhőmérséklet és az elektrokardiogram (EKG) rögzítését valamint nagyobb kiterjedésű káreseménynél a GPS jelet is továbbíthatja a testen viselt érzékelőkről. A feldolgozás során az eszközök algoritmusokat használnak annak meghatározására és figyelmeztetésre, ha valamely élettani jel veszélyes szinten van akár külön-külön, akár együtt. Egy az USA-ban végzett 2020-ban végzett tanulmány alapján a tűzoltók esetében az esetek 54 százalékában a halált túlterhelés, stressz vagy egyéb egészségügyi panasz okozta.

| <u>Egészségügyi károsodás oka</u>           | <u>Halálesetek száma</u> | <u>Megoszlás</u> |
|---------------------------------------------|--------------------------|------------------|
| Túlterhelés, stressz, egyéb egészségügyi ok | 26                       | 54%              |
| A tűz gyors terjedése/robbanás              | 6                        | 13%              |
| Gépjármű ütközése                           | 4                        | 8%               |
| Gázolás                                     | 4                        | 8%               |
| Esés                                        | 3                        | 6%               |
| Épületszerkezet összeomlása                 | 1                        | 2%               |
| Elektromos áramnak való kitettség           | 1                        | 2%               |
| Tűzben való eltévedés                       | 1                        | 2%               |
| Hőnek való kitettség                        | 1                        | 2%               |
| Támadás                                     | 1                        | 2%               |
| <b>Összesen</b>                             | <b>48</b>                | <b>100%</b>      |
| <u>Egészségügyi károsodás jellege</u>       | <u>Halálesetek száma</u> | <u>Megoszlás</u> |
| Hirtelen szívhalál                          | 22                       | 46%              |
| Belső trauma és zúzódás                     | 14                       | 29%              |
| Égés                                        | 4                        | 8%               |
| Fulladás, beleértve a füst belélegzését     | 2                        | 4%               |
| Sztrók                                      | 2                        | 4%               |
| Lövöldözés                                  | 1                        | 2%               |
| Öngyilkosság                                | 1                        | 2%               |
| Áramütés                                    | 1                        | 2%               |
| Hóguta                                      | 1                        | 2%               |
| <b>Összesen</b>                             | <b>48</b>                | <b>100%</b>      |

3. táblázat: A tűzoltók halálozása a sérülés oka és jellege szerint (USA 2020 évben 2020. júliusig)  
(Forrás: ld. [23, pp. 15.]

Fenti kockázatok nagy része a megfelelő személyi monitoring használatával csökkenthető a helyszínen vagy esetlegesen már a bekövetkezés előtt megelőzhető. Azért is fontos újfajta technológiára hagyatkozni, mert, például a szívroham első jeleit korábban fel lehetne fedezni, nem csak akkor, amikor a baj megtörtént és szemmel láthatóan rosszul lesz valaki.



17. ábra: Példa a személyi monitoring berendezés kialakítására (Forrás: ld. [24])

A 21. században a kihívások már nem a technológiával vannak. Fontos foglalkozni jogi kérdésekkel, munkahelyi hatásokkal, magánélettel, adattárolással, kultúrákkal és szubkultúrákkal. Az egyik felmerülő fő kérdés a következő is lehet: „Hogyan befolyásolja ez a megfigyelés a karrieremet?” Hátránya, hogy a tűzoltók fiziológiai megfigyelése a tűzzel érintett területen bonyolultabb, mint a normál életben. Ilyen környezetben, ahol a hő, a füst, a víz és a mérgező anyagok, gázok, gőzök is jelen lehetnek az adott eszköznek sok kritériumot kell teljesíteni, mint például a könnyű kezelhetőség, a tartósság, a robbanásbiztos kialakítás és a zökkenőmentes felvétel kialakítása annak érdekében, hogy a használata esetén ne növelje meg jelentősen a tűzoltó felkészülésének, beavatkozásának idejét. Ezeknek a monitoring feladatoknak a jogszabályi háttere nincs megteremtve és nincs velük tapasztalat sem, ezért kulcsfontosságú, hogy a tűzoltók megértsék - ezek az eszközök nem a teljesítményük mérésére, hanem az életük védelmére szolgálnak és fontos, hogy ezt el is tudja fogadni az állomány, merje ezeket az eszközöket használni.

Ezeknél a berendezéseknél lényeges szempont, hogy kompaktak, nem nehezek, méretükből adódóan nem jelentenek plusz terhet a tűzoltónak. Léteznek egyszerűen mellkasra erősíthető pulzuszámológók, de költségvetés függvényében már fejlettebb technológia is elérhető. Például a Bodytrak nevű eszköz (egy fülhallgató, központi egységgel összekötve) több fiziológiai tényezőt is pontosan, valós időben mér egy eszközön keresztül. A Bodytrak ötvözi a testmaghőmérséklet, a pulzusszám és a pulzusszám változékonyságának pontos mérését, alkalmas a hőstressz, a fáradtság, a fiziológiai megerőltetés szintjének kimutatására, valamint az esés, az inaktivitás és a fizikai behatás észlelésére. Ezenkívül megkönnyíti a kétirányú audiokommunikációt, hallásvédelmet biztosíthat és azért, hogy a felhasználó könnyen fenntarthassa a kommunikációt, akár zajszűrőként is funkcionálhat. A Bodytrak mögött egy hatékony felhőalapú platform áll, amely védett adatelemzést használ.

#### **4.4. Környezeti monitoring a beavatkozások során**

Egy esetleges tűzesetnél nem csak a beavatkozók, hanem a környező lakosság védelmére is gondolni kell. A mesterséges intelligencia megoldással szolgálhat az egészségre káros anyagok kiszűrésében és a betáplált, valamint megtanult adatok alapján nagyobb biztonságot nyújthat a lakosság részére is. Ezeket a lehetőségeket egy az UCLA-n (University of California, Los Angeles) végzett tanulmánnyal szeretném bemutatni. Egy tűz helyszínén sokezer részecske szabadulhat fel melyek, főleg, de nem kizárólagosan különböző, a tökéletlen égésből származó égéstermékek. Ezen gázok közül sok most is monitoring alá vehető, de a mikron alatti részecskékre nincs elég nagy figyelem fordítva. Az UCLA-n végzett kutatásnak fontos és váratlan felfedezése, hogy tűz során megváltozik ezeknek a részecskéknak a fizikai szerkezete. [25] Ezen részecskék némelyike átalakul, néhányuk meggyúlik. A részecskék mérete és a meggyúlásuk fontos, mivel a 2,5 mikron (a vörösvértestnél háromszor kisebb) vagy annál kisebb részecskék rákkeltőnek (karcinogénnek) bizonyultak, amikor belélegzéssel vagy felszívódás útján bejutottak a szervezetbe és ott keringenek. Ezek a részecskék a tűz különböző szakaszaiban is átalakulnak, és akár a tűztől távoli területekre is eljuthatnak. Például az UCLA közelében egy 2016-os erdőtűz során a tűzből származó részecskéket a tűztől 40 kilométerre is mérni tudták a levegőben. A mai napig nagyon keveset tudunk arról, hogy a részecskék milyen messzire jutnak el és meddig maradnak károsak. Míg jelenleg a tűznek csak a közvetlen közelében folyik a monitoring, az UCLA kutatási eredményei azt sugallják, hogy a részecskevizsgálatot és -elemzést további, távolabbi területeken a tűzoltási művelet során és azután is el kellene végezni. Az ilyen típusú megfigyelésnek folyamatosnak kell lennie, mivel ezeknek a részecskéknak az éveken át tartó kumulatív expozíciója jelentős előidézője lehet a ráknak és más, a tűzoltókat érintő egészségügyi problémáknak. A kutatók által bemutatott részecske-figyelő eszköz (c-AIR) prototípusa valamivel nagyobb, mint egy iPhone, és jelenleg nem robbanásbiztosra tervezték. További tervezési módosításokkal ez a technológia miniatürizálható, és akár a meglévő gázdetektorokhoz is hozzáadható. A kutatók úgy vélik, hogy a részecske ellenőrzés képes lehet azonosítani a különböző tűztípusokat egyedi hőjellemzők alapján. Ez a vizsgálati módszer azt is magában foglalná, hogy ezek a részecskék hogyan változnak a tűz különböző szakaszaiban. A technológia lényege, hogy egy szivattyú nagy sebességgel hajtja át a levegőáramot egy fúvókán és a légáram belsejében lévő részecskék egy, a részecskéket megkötő lemezzel ütköznek, amely összegyűjti őket. Az összegyűjtött részecskéket a számítógépes mikroszkóp leképezi, az adatokat pedig az egyedi fejlesztésű képfeldolgozó algoritmusok rekonstruálják és elemzik az egyes részecskék jellemzése érdekében a mesterséges intelligencia segítségével. Ezen kívül gyakori problémaként merül fel a káresetek során a rossz látási viszony a lánggal és füsttel borított helyiségekben. Nehéz észrevenni az olyan tárgyakat, mint az ajtó, lépcsőház vagy bármilyen akadály, ami késlelteti a mentési művelet végrehajtását. A probléma megoldására egy egyszerű számítógépes látást támogató algoritmust lehet alkalmazni, melyet kifejezetten ezekre a műveletekre tanítottak be. Egy kamerát a sisak tetejére vagy magára az álarcra szerelnek és a kamera adatait a „látás javítására” használják fel. A teljes folyamat menete a következő: a kamerából származó képkockákat egy processzorba küldik ahol az MI érzékelést és kontúrzékelést végez különféle szűrők segítségével, amelyet akár hőmérsékleti értékekkel is ki lehet egészíteni.

A processzor kimenetét a tűzoltó sisak plexijén vagy akár egy szemüvegen a kiterjesztett valóság technikáira támaszkodva lehet közvetíteni. A nézet hasonló a lenti ábrához. Ezzel az algoritmussal a tűzoltók hatékonyan felismerhetik a környezetet, megkönnyítve a körülöttük lévő tárgyak azonosítását, ezáltal felgyorsítva a mentés, kárfelszámolás teljes folyamatát.



18. ábra: MI képalkotás (Forrás: ld. [26])

Mint látható, nagyon sok előzetes, az MI-hez nem szorosan kapcsolódó fejlesztésnek kell megvalósulnia ahhoz, hogy az MI-t be tudjuk vonni a tűzoltósági beavatkozásokba.

## 5. KÖVETKEZTETÉS

Kitűzött célom volt, hogy megvizsgáljam az MI alkalmazhatóságát a mentő tűzvédelem szakterületén, hogy miképp tudjuk meglévő rendszerekbe integrálva alkalmazni és ezáltal hogyan lehetnek biztonságosabbak és hatékonyabbak a beavatkozások. A bemutatott technológia megoldásokkal úgy gondolom, hogy a célkitűzésem teljesítettem. A bemutatott technológiák esetében további működési kihívások is nyilvánvalók, mint például a szabályzók és eljárások megalkotása, a monitoring személyzet és a technológia költségei, a háttértámogatás, karbantartás háttérének megteremtése. Az MI adatéhsége és a tüzesetek hatékony kezelése megköveteli az esemény előtt és után gyűjtött információkhoz való hozzáférést és azok feldolgozását, valamint azt is, hogy minél több információval rendelkezünk egy adott tüzessel kapcsolatban. Érdeemes megfontolni, hogy a tüzeseti/műszaki mentési adatlapokat milyen további információkkal egészítsük ki. Fontos a saját és a társszervek eszközei és rendszerei közötti informatikai átjárhatóság, az automatikus lekérdezés megteremtése.

Ilyen információ lehet a népsűrűség, az Országos Meteorológiai Szolgálat által szolgáltatott időjárási adatok, amely a helyszínhez legközelebbi időjárás állomásból származnak, a szabadtéri tüzek esetén GPS koordinátákkal pontosan körülhatárolt terület feltüntetése, vagy esetlegesen a tűzoltók által viselt szenzorok által mért adatok (hő, füstkoncentráció stb.). Volt e tűzjelző, tűzoltó berendezés vagy hő és füstelvezető rendszer esetlegesen egyéb berendezés, ami akadályozta a tűz terjedését. Minden a fejezetben feltüntetett technológiát folyamatos fejlesztéssel a már meglévő rendszerekbe (pl.: Minipajzs) lehetne integrálni. A több helyről, több szervezet által gyűjtött adat segíthet a tüzek megelőzésében (például hol kell elrendelni tűzgyújtási tilalmat vagy egyéb korlátozást bevezetni akár kisebb régiókban is, mivel az MI a korábban betáplált és a folyamatosan bejövő adatok alapján jelzi, hogy nagyobb a tűz keletkezésének vagy árszély valószínűsége egy adott területen)

Felmerülnek kérdések is a biztonságos alkalmazás érdekében. Mi van, ha a felügyeleti berendezés nem működik, amikor egy tűzoltó veszélyes környezetbe kerül? Mi a teendő, ha ugyanaz a berendezés nem működik a tűzoltók egy csoportján, vagy csatlakozási problémák vagy interferencia akadályozza a megfigyelő-berendezés működését? Ezen kívül még sok kérdés, probléma merülhet fel a technológiák alkalmazása során, amire előre nem tudunk gondolni és egyelőre még válaszokkal sem rendelkezünk. A cikk következő részében tovább keresem a válaszokat az iparbiztonság szakterületén.

## 6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Európai Bizottság „A digitális gazdaság és társadalom fejlettségét mérő mutató (DESI)” 2022 Magyarország [Online]. Elérhetőség: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/hu/policies/desi> (2024.03.16.)
- [2] Document 52021PC0206 „Javaslat az Európai Parlament és a Tanács rendelete a mesterséges intelligenciára vonatkozó harmonizált szabályok (A mesterséges intelligenciáról szóló jogszabály) megállapításáról és egyes Unió jogalkotási aktusok módosításáról COM/2021/206 final” [Online]. Elérhetőség: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/ALL/?uri=CELEX:52021PC0206> (2024.03.16.)
- [3] Európai parlament „Mi az a mesterséges intelligencia és mire használják?” [Online] Elérhetőség: <https://www.europarl.europa.eu/topics/hu/article/20200827STO85804/mi-az-a-mesterseges-intelligencia-es-mire-hasznaljak> (2024.03.16.)
- [4] Karácsony G. „Okoseszközök – okos jog? A mesterséges intelligencia szabályozási kérdései” Dialóg Campus, Budapest, pp. 10. 2020. [Online]. Elérhetőség: [https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/15989/Okos\\_eszkozok\\_okos\\_jog\\_web.pdf](https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/15989/Okos_eszkozok_okos_jog_web.pdf) (2024.03.16.)
- [5] Informatikai, Távközlési és Elektronikai V. Sz. „Előzetes megvalósíthatósági Tanulmány „Az Internet of Things koordinált fejlesztése és alkalmazásának elterjesztése Magyarországon”, pp. 11. 2014-2015., [Online]. Elérhetőség: <https://ivsz.hu/wp-content/uploads/2016/04/az-internet-of-things-koordinalt-fejlesztese-es-alkalmazasanak-elterjesztese-magyarorszagon-.pdf> (2024.03.16.)
- [6] Tamás F. „IoT = Internet of Things A dolgok (eszközök) internete” [Online]. Elérhetőség: <https://tferi.hu/a-dolgok-internete> (2024.03.16.)
- [7] Európai Bizottság „Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa” pp. 37. 2022 [Online]. Elérhetőség: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC135226> (2024.03.16.)
- [8] Védelem Online „Műholdalapú erdőtűz-megfigyelésre vált a Rosenbauer” [Online]. Elérhetőség: <http://www.vedelem.hu/hirek/0/3640-muholdalapu-erdotuz-megfigyelesre-valt-a-rosenbauer> (2024.03.16.)
- [9] Kulcsár Z. „Mi az a BIM?” VGF szaklap 2017/3. [Online]. Elérhetőség: <https://www.vgfszaklap.hu/lapszamok/2017/marcius/4310-mi-az-a-bim> (2024.04.16.)
- [10] UNITED BIM „Fire Protection BIM | Fire Sprinklers Modeling Services” [Online]. Elérhetőség: <https://www.united-bim.com/mep-bim-services/fire-protection-sprinkler-modeling/> (2024.04.16.)
- [11] Védelem Online „Megbízható videoalapú tűzvédelem – kültéren és beltéren egyaránt” [Online]. Elérhetőség: <https://www.vedelem.hu/hirek/12/3428-megbizhato-videoalapu-tuzvedelem-%E2%80%93-kulteren-es-belteren-egyarant> (2024.04.16.)
- [12] Verify Security „Building Automation Cybersecurity Solutions for Systems Integrators” [Online]. Elérhetőség: <https://www.veridify.com/cybersecurity-for-systems-integrators/> (2024.04.16.)

- [13] D. Helbing, I. J. Farkas, P. Molnar, and T. Vicsek „Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations” pp. 6. 2022. Online]. Elérhetőség: [https://www.researchgate.net/publication/224010870\\_Simulation\\_of\\_pedestrian\\_crowds\\_in\\_normal\\_and\\_evacuation\\_situations](https://www.researchgate.net/publication/224010870_Simulation_of_pedestrian_crowds_in_normal_and_evacuation_situations) (2024.04.16.)
- [14] Restás Á. „A drónok közszolgálati alkalmazásának lehetőségei” [Online]. Elérhetőség: [https://kozszov.org.hu/dokumentumok/UMK\\_2017/3/05\\_Dronok\\_a\\_kozszolgalatban.pdf](https://kozszov.org.hu/dokumentumok/UMK_2017/3/05_Dronok_a_kozszolgalatban.pdf) (2024.04.16.)
- [15] L. Perel „LA Fire Department uses drones to combat wildfires” Nov. 18, 2019 [Online]. Elérhetőség: <https://www.kcrw.com/news/shows/kcrw-features/las-fire-department-is-using-drones-to-stop-californias-wildfires> (2024.04.16.)
- [16] PreventionWeb „Catching fire: AI is helping scarce firefighters better predict blazes” [Online]. Elérhetőség: <https://www.preventionweb.net/news/catching-fire-ai-helping-scarce-firefighters-better-predict-blazes#:~:text=With%20climate%20change%20driving%20worsening%20U.S.%20wildfires%2C%20machine,allow%20fire%20crews%20to%20work%20with%20limited%20resources.> (2024.04.16.)
- [17] British Broadcasting Corporation: „The Portuguese drone that douses wildfires from above” [Online]. Elérhetőség: <https://www.bbc.com/future/article/20230609-can-we-use-firefighting-drones-put-out-wildfires> (2024.04.16.)
- [18] Bliksund „Videolink a standard in 12 Norwegian fire emergency call centers” [Online]. Elérhetőség: <https://bliksund.com/blog-and-news/vidolink-is-now-standard-equipment-in-12-norwegian-fire-emergency-call-centres> (2024.04.16.)
- [19] Qatar Computing Research Institute - AIDR: Artificial Intelligence for Disaster Response [Online]. Elérhetőség: <http://aidr.qcri.org/> (2024.04.16.)
- [20] B. Dixson „SMFD welcomes command system upgrades” [Online]. Elérhetőség: <https://smdp.com/2021/01/25/smfd-welcomes-command-system-upgrades/> (2024.04.16.)
- [21] NFPA „Volkswagen Emergency Response Guides” [Online]. Elérhetőség: <https://www.nfpa.org/education-and-research/emergency-response/emergency-response-guides/volkswagen> (2024.04.16.)
- [22] KAP Online, a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság elektronikus információs rendszere
- [23] R. F. Fahy, J. T. Petrillo, and J. L. Molis „Firefighter Fatalities in the United States” pp. 15. [Online]. Elérhetőség: [http://tkolb.net/FireReports/2020/FF\\_FatalitiesUS2019.pdf](http://tkolb.net/FireReports/2020/FF_FatalitiesUS2019.pdf) (2024.03.16.)
- [24] C. Werner „Fire Technology: The Future of Wearable Technology” [Online]. Elérhetőség: <https://www.firehouse.com/technology/mobile-technology-accessories/article/21000640/wearable-technology-for-firefighters> (2024.03.16.)
- [25] Particulate Monitoring  
<https://www.firehouse.com/technology/article/21030247/particulate-monitoring>  
(2024.03.16.)
- [26] J. Vince „Prototype Fire Helmet Mount Provides 'Iron Man' View” [Online]. Elérhetőség: <https://www.firehouse.com/technology/news/21227185/prototype-fire-helmet-mount-provides-iron-man-view> (2024.03.16.)

# A BUBIV porrobbanás hősi halottai - 1984

## Victims of the BUBIV's dust explosion - 1984

---

Hózer Benjámín  
KKMMSzSz<sup>1</sup> - titkár  
Email: hozer.benjamin@gmail.com  
ORCID: 00020-0002-2834-7183 

Dr. Berki Imre  
KKM Igazgató  
Email: imre.berki@katved.gov.hu  
ORCID: 0000-0001-8144-4751 

---

### Absztrakt:

Ebben az írásban emléket kívánunk állítani, a 40 évvel ezelőtti BUBIV porrobbanás során elhunyt két tűzoltó bajtársnak és a két vállalati dolgozónak. Valamint máig érvényes következtetéseket levonni, az eset tanulságaképp.

Mindemellett több olyan képet is bemutatunk, melyek ez idáig nem kerültek publikálásra.

Kulcsszavak: tűzoltás-taktika, porrobbanás, faipar, hősi halott, esettanulmány

### Abstract:

In this article, we wish to commemorate the two firefighter colleagues and two company employees who lost their lives in the BUBIV dust explosion 40 years ago. We also aim to conclude the lessons of the incident that remain valid today.

Additionally, we will show several images that have not been published until now.

Keywords: firefighting tactics, dust explosion, woodworking industry, fallen hero, case study

---

<sup>1</sup> Katasztrófavédelem Központi Múzeuma Magánygyűjtői és Szakmatörténeti-kutatói Szakosztály

## 1. BEVEZETÉS

A XX. század második felének kutatása során megkerülhetetlen az *'oral history'* vagyis az elbeszél történelem. Lényege, hogy a megkérdezett személy saját élményeit gondolatait osztja meg a kérdezővel. Két jelentősebb típusát különböztetjük meg: az életútinterjút, amelyben egy személy teljes pályafutását tekintjük át és a témainterjút, melyben egy bizonyos eseményt dolgozunk fel.

A Katasztrófavédelem Központi Múzeuma 2021-ben kezdte meg az életútinterjúk gyűjtését, 2022. február 8-án több órás beszélgetésben rögzítettük Bélteczky József nyugállományú tűzoltó ezredes úr életútját. A mostani beszélgetés témainterjú.

Természetesen egy kutató sem dolgozhat egyetlen forrásból, így az eset feldolgozásánál felkutattuk és felhasználtuk az azzal kapcsolatban keletkezett írásos dokumentumokat, újságcikkeket.

Ezredes úrral beszélgetek a hivatásunk szépségeiről és viszontagságairól. Józsi bácsi idén januárban töltötte a 89. életévét, mégis annyira követi a szakma változásait és „*up-to-date*” a tudása, mintha csak tegnap csukta volna be maga mögött a laktanyakaput. Pedig ez már 1991-ben volt. Számtalan témánk mellett felmerült a magyar tűzoltás-taktika összevetése külföldi államokéval. Megállapítjuk, hogy a magyar tűzoltás, több mint másfél évszázados története folyamatosan csiszolta és javította a taktikai fogásokat/metódusokat.

A magyar tűzoltás-taktika két alappilléren nyugszik:

*„A hatásfok maximalizálása és a kockázatok minimalizálása.”*

Ettől természetesen nem lesz veszélytelen a tűzoltói hivatás. Ugyanakkor a káresetek során bekövetkező tűzoltói súlyos sérülések és halálesetek száma statisztikailag alig kimutatható az összes éves káreset számához képest. Kírívó esetnek számít, és túlzás nélkül kijelenthetjük, hogy jelen tendenciával az 1970-es évek óta, évtizedenként egy szolgálatteljesítés közben hősi halált halt tűzoltót említhetünk idehaza.

Az alacsony szám betudható annak, hogy a magyar módszerek egyaránt figyelembe veszik a technikai újításokat, a változó kihívásokkal és új (építő)anyagokkal egyetemben. Emellett nincsenek vaskalapos „*száz éve is így csináltuk, ma is így fogjuk*” módszerek, legfeljebb azokon a területeken, ahol még nem találtak ki ennél jobbat.

Rákospalotai otthonában keresem fel ezredes urat. Találkozónk két okból is különleges. Egyfelől a káreseményben érintett üzemegység, az akkori és jelenlegi lakóhelyétől csupán néhány sarokra található. Másfelől Józsi bácsi mindkét tűzoltó áldozatot jól ismerte és kiváló véleménnyel van róluk:

Buzás Gyulát felelősségteljes, megfontolt és jó helyzetfelismerő képességű tűzoltónak ismerte meg. Míg Kapcsos Józsefet rátermett és talpraesett kollégájaként.

Halálukat egy olyan jelenség okozta, ami minden tűzoltót okkal tölt el félelemmel. A porrobbanás a kémiai robbanások közé tartozik. A nagyon finom fűrészporszerű óriási fajlagos felületet jelent, amin az égés pillanat szerűen fut végig, ezáltal láncreakciót előidézve. Megfelelő levegő és por koncentráció esetén, gyújtóforrással vegyülve óriási robbanáshoz vezethet, ami elemi szintű pusztítással jár. Porrobbanás egyaránt előfordulhat fűrésztelepeken, malmokban, de még a cementgyártás során is. Éppen ezért az ülepítésre, de még a sztatikus feltöltődés kiküszöbölésére is jelentős erőforrásokat és figyelmet kell fordítani.

## 2. KÁRESEMÉNY

1984. október 29-e hétfő este. Javába zajlott a délutános műszak, a Budapesti Bútoripar Vállalat (BUBIV) 5. számú Központi Alkatrészellátó Gyáregységében. A helyszínre egyes riasztási fokozaton érkeztek meg az újpesti egységek 17.33-kor. [1] Megállapították, hogy a központi bútorlap gyártó csarnok porkamrájába vezető csövekben tűz keletkezett, melyet öt órás munka árán megfékeztek. A vezetékeket átmosták, a parázsló részeket eltávolították. Azonban egy nadrágidom kifelejtődött, amiben még visszamaradt lerakódott fűrészporszór. [2] Amikor már úgy látszott, hogy a tüzet sikerült teljesen megfékezni, a dolgozók vezetői utasításra beindították a ventilátort. Néhány másodperccel később, azaz 22 óra 34 perckor berobbant az ülepítő- és elszívó berendezés (*facsiszólat-kamra*), a központi munkacsarnokban.

*„Az egyes fecskendő létszáma vonult, az elszívócsőben füstölő forgácsport kítakarítottuk és egy sugárral végigmosattuk. Az akkori szerparancsnok, Kapcsos József, gyanakodott, hogy itt még lehet valami, és segítséget kért, de részleteket nem tudok. Az udvaron voltunk, és csak egy kegyetlen nagy fény és semmi több.”*

– Részlet Becsei Antal tű. zls. sérült nyilatkozatából [3]

A robbanás egy 500 m<sup>2</sup> alapterületű csarnokot érintett, melyet szúróláng is kísért. A törmeléket mintegy 2000 m<sup>2</sup>-es területén vetette szét. [4] Kidöntött két vasbeton falat, valamint leszakította a teljes mennyezeti világítást. A robbanás erejét fokozta, hogy a porleválasztót a csarnokon belül, közvetlen a gázkazánok mellé telepítették, melyek az első detonáció hatására szintén felrobbantak. [5]

A lezuhant pincerészben az oltás, valamint az áldozatok keresése még másnap reggel is folyt. A kárelhárításba bevonták a Magyar Néphadsereg közeli laktanyájának állományát is, akik csatárláncba felfejlődve adogatták egymásnak a törmeléket. Valamint villástargoncával hordták el a szétázott bútorlapokat. [6]

A káreset mérlege: két fő tűzoltó **Buzás Gyula**, 53 éves és **Kapcsos József**, 41 éves szolgálatteljesítés során elhunyt. További hét fő tűzoltó megsérült. Az üzem dolgozói közül két fő, **Kiss János** 37 éves kompresszorkezelő hat nappal, valamint **Pethes György** 30 éves porkamra-kezelő hét nappal később vesztette életét a kórházban. [7] További 20 fő megsérült. Összesen 4 fő elhunyt és 27 fő sérült.

A robbanás kiváltó oka visszavezethető arra a tényezőre, mely szerint az elszívó ventilátorok vezetékai nem kapták meg az előírás szerinti technológiai tisztítást, így a felületén jelentős mennyiségű éghető anyag rakódott le. [8] A dolgozók a csarnokon kívül, de épp a porkamra mögött állva várták az újraindítást, innen a nagyszámú sérült. Többben a szúrólángot lélegezték be, ami tüdőégéshez vezetett.

*„Az új porelszívó hálózatba drága szikraérzékelő és oltóberendezést építettek be, ez tőkés import. Azért van szükség rá, mivel a szabásgépre kerülő forgácslapban találtak már csavart, cigarettatárcát s repeszdarabot is, amely a fában maradt még a háborúból. Nos, ha a fűrész vagy a csiszológép ilyen fémbe belevág, akkor szikrát csíhol, s ez bekerül a porelszívó hálózatba. Az új mikroprocesszoros érzékelő azonban ezt azonnal jelzi, s önműködően olt is. Sajnos a régi porelszívó kamrát az üzemszarnokon belül helyezték el, s a robbanás ezért okozott tragédiát.” [9]*

Buzás Gyula tű. zászlós 33 éve, míg Kapcsos József tű. főtörzsőrmester 9 éve szolgált a testület kötelékében. Dr. Horváth István, a Magyar Népköztársaság belügyminisztere, 21/1984. számú parancsában mindkettőjüket hősi halottá, valamint posztumusz tűzoltó alhadnaggyá nyilvánította. [10] Haláluk után mindkét fél részéről két-két gyermek maradt félárván. Mindketten a református felekezet gyakorló hívei voltak. [11]

### 3. MEMENTO MORI

A hősi halál megnevezés korszakonként eltérő jelentéssel bírt. A katonai eredetű kifejezés etimológiája az 1848-1849-es magyar forradalom és szabadságharc időszakára nyúlik vissza, elterjedése azonban az I. világháború idejére tehető. Elsődlegesen a háborúban, illetve fegyveres harcban, kötelességteljesítés közben életét vesztt katonákra vonatkoztatták, tágabb jelentésében pedig a közösség önfeláldozó, bátor szolgálatában meghalt személyt értették alatta. [12] A dualizmus és a Horthy-korszak tűzoltóságának szolgálatteljesítés közben elhunyt tagját is megillette a hősi halott megnevezés. Ez a gyakorlat maradt meg 1945-öt követően is. Napjainkban a minősítés jogszabályi keretek között rendezett. A belügyminiszteri rendelet értelmében:

*„Hősi halottá kell nyilvánítani a rendvédelmi feladatokat ellátó szerv hivatásos állományából elhunyt halálának körülményei, életútja és érdemei figyelembevételével, ha a szolgálat teljesítése során Magyarország alkotmányos rendjének védelme, a közbiztonság és a közrend fenntartása, az államhatár védelme, tűz, elemi csapás vagy katasztrófa következményeinek elhárítása közben kimagasló bátorságot, kiemelkedő személyes helytállást tanúsított és eközben, vagy így elszenvedett sérülése következtében életét vesztette.”*

Amennyiben a hősi halottá nyilvánítás feltételei nem, vagy csak részben állnak fenn, az elhunytat a szolgálat halottjává lehet nyilvánítani, ha a szolgálat teljesítése közben, vagy azzal összefüggésben vesztette életét. [13]

A hősi halottak emlékét a közösség megőrizte, de 2014-ig nem létezett egyetlen olyan összefoglaló mű sem, mely méltó módon állított volna emléket számukra. Ezt a hiányt pótolta a „Hőseink» a katasztrófavédelem és jogelőd szervezeteinek hősi halottai.” című könyv. [14]

A két hősi halott tűzoltót 1984. november 19-én délután kettő órakor, katonai tiszteletadás, tűzoltózenekar és szirénaszó mellett helyezték örök nyugalomra, az újpesti Megyeri úti temető ún. „munkásmozgalmi parcellájában”.

*„Ravatalánál díszerőseget állt Ladvánszky Károly rendőr altábornagy, belügyminiszter-helyettes, Varga Károly tűzoltó vezérőrnagy, a BM Tűzoltóság országos parancsnoka, dr. Mosonyi Gáborné, a Fővárosi Tanács igazgatási főosztályának vezetője és Ficsór Sándor ezredes, fővárosi tűzoltóparancsnok. Az elhunytaktól dr. Héra Attila tűzoltó ezredes, az országos parancsnok általános helyettese vett végső búcsút. [...] A IV—XV. kerületi tűzoltóparancsnokság személyi állománya nevében Csapó László főtörzsőrmester búcsúzott a sírnál a hősi halált halt tűzoltóktól.”* [15]

1986-ban a tragédia második évfordulójára emléktáblát avattak számukra, a IV—XV. kerületi tűzoltóparancsnokság épületében. [16] Érdekességgépp megemlítendő, hogy halálukat követően egy-egy ózdi úttörőcsapat is felvette nevüket. [17]

2021. októberében a Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság felújította a Megyeri Úti Temetőben a hősi halált halt két fővárosi tűzoltó nyughelyét. A síremlék átadás kapcsán megemlékezést és koszorúzást tartottak. Dr. Varga Ferenc tű. dandártábornok, a Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság igazgatója, Dr. Molnár Zsuzsanna tű. ezredes, humánszolgálat-vezető és Béres Ferenc tű. alezredes IV. Kerületi Hivatásos Tűzoltóság parancsnoka helyezte el az emlékezés koszorúit, majd az újpesti tűzoltók adóztak tisztelettel hősi halottainknak, egy-egy kegyeleti mécses meggyújtásával.

Béres Ferenc tű. alezredes IV. Kerületi Hivatásos Tűzoltóság parancsnoka azóta is minden évben - Halottak napján - felkeresi a sírokat, és mécses gyújtásával emlékezik a hősökre.

#### 4. UTÓÉLET

Az épület súlyos sérültjei közt volt a gyáregység igazgatója is, Gulyás Kiss Ernőné. Az anyagi kár előzetesen több tízmillió forintba rúgott. A termelés kiesésének mérséklésére, valamint az újjáépítésbe a fa- és könnyűipari szektor hét vállalata segédkezett be. Az üzem termelésből való kiesése négy gyárat teljes, valamint kettőt részleges leállásra kényszerített. Emellett közel 1500 fő munkavállaló megélhetése került veszélybe. Az újjáépítést követően új Hackemack KTR típusú ülepítőberendezést, hosszas kutatás és ártárgyalás után Nyugat-Németországból importáltak, mely így az ország akkori legmodernebb berendezése volt. Az új elszívót már a csarnokon kívül telepítették. Teljes kapacitáson a termelés 1986. májusára állt helyre. [18] A robbanást megelőzően a vállalat évi 1,5 milliárd forintos bevételt könyvelhetett el, valamint 2500 fő munkavállalót foglalkoztatott. A havi kiesés 400 millió forintba becsülhető.

Az épület mai napig áll és üzemel a mai XV. kerületi Szántófeld útca – Régi Fóti út között.

#### 5. KÖVETKEZTETÉS

Beszélgetésünk végére Józsi bácsival az alábbi konklúziót vonjuk: a súlyos sérüléssel vagy halállal járó esetek általában banális és/vagy elkerülhető tényezőkre vezethetők vissza. Jelen esetben, ha nem sűrgetik a gép újra üzembe állítását és megvárják a másnapot, hogy szakképzett szerelők behatóan átvizsgálják a rendszert egy tüzeset után, akkor mindenki hazamehetett volna és ez legfeljebb néhány műszaknyi termelés kiesést jelentett volna. A BUBIV egyike volt azon kevés vállalatoknak melyek exportra is termeltek.

Azonban a tűzbiztonsági szakmai szempontokat erősebben kellett volna érvényre juttatni, a devizaszerzéssel szemben és megtiltani az újraindítást. Ehelyett négyen meghaltak, húszan megsérültek, négyen félárván maradtak, 60 – 70 millió forintos kár és több hónapnyi kiesés lett a végeredmény. Az esetnek 40 év távlatából is kiható, mai napig is érvényes üzenete van. A legkisebb tüzet is komolyan kell venni, különösen az olyan nehezen átlátható, magasfokú szakértelmet igénylő gépészeti terekben, ahol nagy mennyiségű éghető anyag van jelen.

A hősi halottak emlékének ápolásával nem csak a végső áldozatot meghozott kollégák helytállása előtt emlékezünk, hanem emléküket és az eset tanulságait örök példaként állítjuk a jövő generációi számára. Mert nem hiába hal meg, akinek emléke tovább él.

#### 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

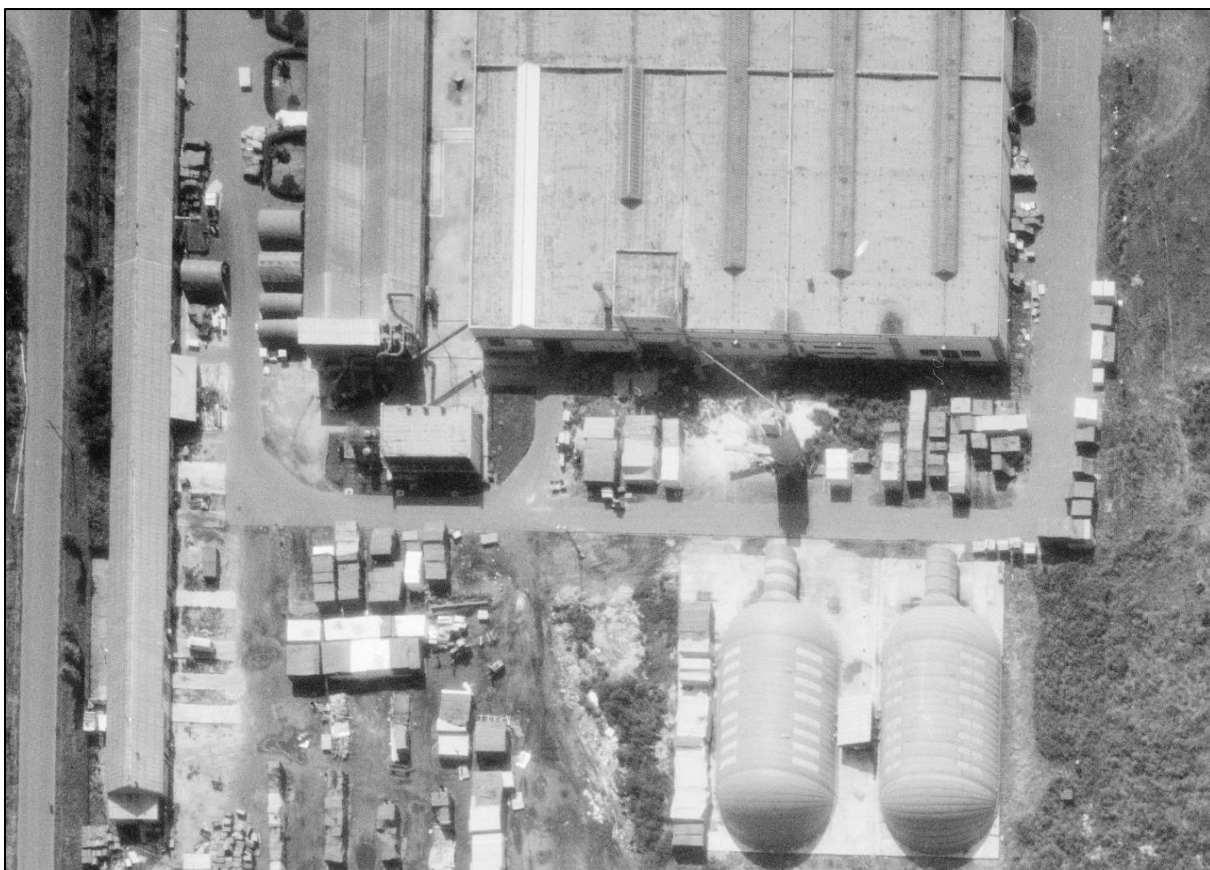
A cikk elkészültében való lelkes segítségéért köszönettel tartozunk Bélteczky József ny. tű. ezredes úrnak.

#### 7. MELLÉKLETEK

A fényképek közt több, eddig publikálatlan felvételt mutatunk be. Egyebek mellett, egy frissen előkerült Kapcsos József emlékalbum tartalmából.



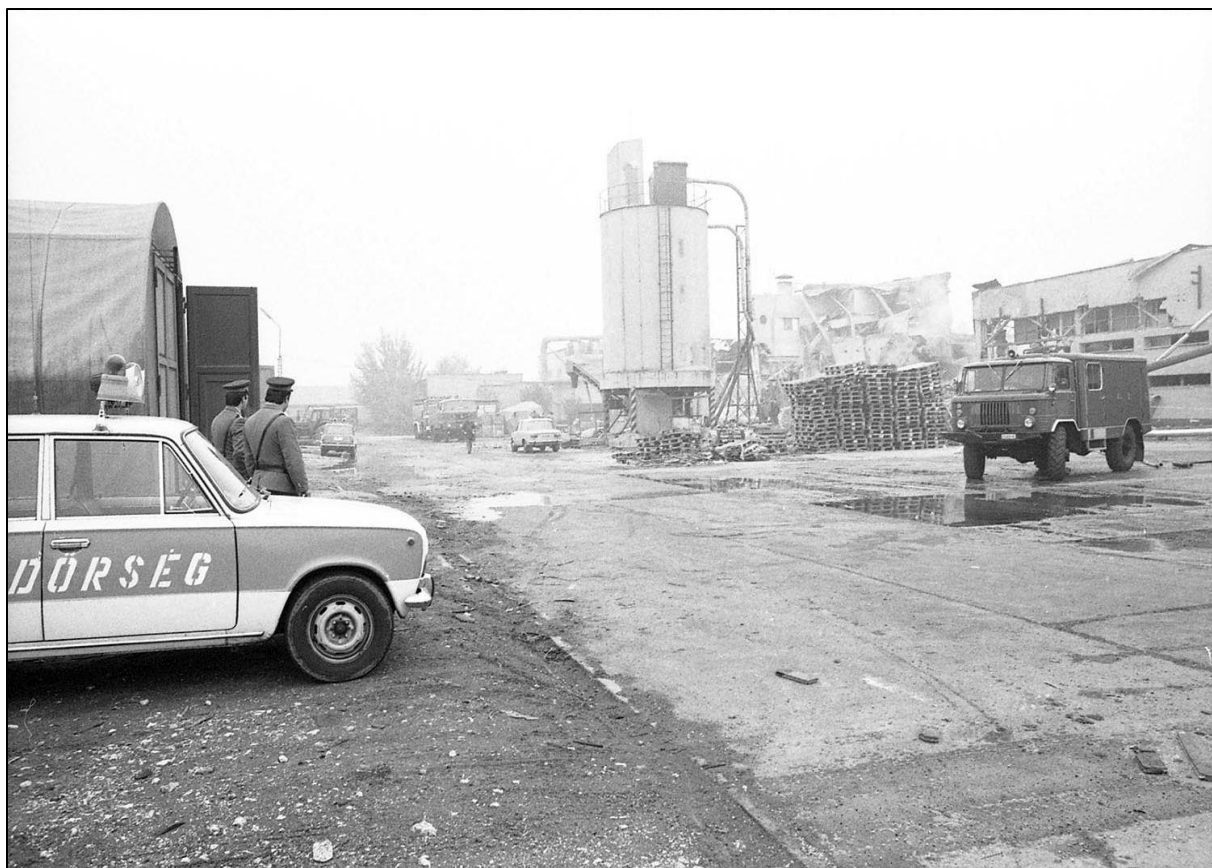
1. kép: Lapszabászat az 5. számú üzemegegységben (Forrás: ld. [19])



2. kép: A robbanással érintett csarnok, egy 1978-as légifotón (Forrás: ld. [20])



3. kép: 'B' szolgálati csoport, az újpesti tűzörség előtt. Jobbról a második: Kapcsos József  
Forrás: Hózer Benjámin gyűjteménye



4. kép: A robbanással érintett üzemegység távlati képe  
 Forrás: Katasztrófavédelem Központi Múzeuma (KKM.) Fotótár



5. kép: A robbanás következtében lerombolódott üzemcsarnok  
 Forrás: Hózer Benjámin gyűjteménye



6. kép: A megsemmisült csarnok szemből  
Forrás: KKM. Fotótár



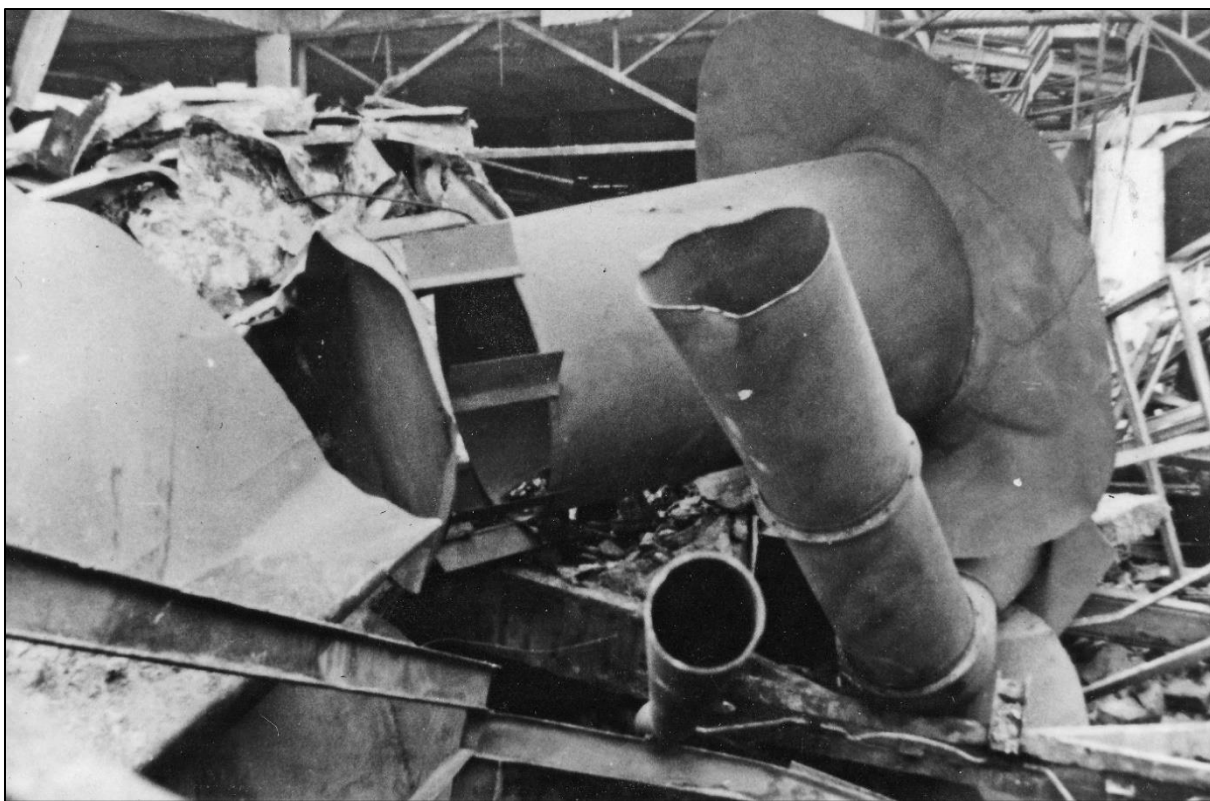
7. kép: Egyeztetés a rendőri társhatósággal a kárterületen  
Forrás: KKM. Fotótár



8. kép: A leomlott födém magaspontról szemlélve. Háttérben a Vörösmarty MgTSz  
Forrás: Hózer Benjámín gyűjteménye



9. kép: Daruk és markolók a romeltakarításon  
Forrás: Hózer Benjámín gyűjteménye



10. kép: Az ülepítő leszakadt csövei  
Forrás: KKM. Fotótár



11. kép: Megsemmisült gépészet és átázott bútorlapok  
Forrás: KKM. Fotótár



12. kép: Átjárhatatlan terepszakasz  
Forrás: KKM. Fotótár



13. kép: A robbanás erejétől leszakadt a csizma viselője lábáról  
Forrás: Hózer Benjámin gyűjteménye

**A Magyar Népköztársaság belügyminiszterének  
21/1984. számú**

**PARANCSA**

**BUDAPEST, 1984. NOVEMBER 1-ÉN.**

Tűzoltói hivatásuk teljesítése közben 1984. október 29-én a Fővárosi Bútoripari Vállalat 5. számú gyárában történt robbanás következtében életüket veszítették **BUZÁS GYULA** tűzoltó zászlós és **KAPCSOS JÓZSEF** tűzoltó főtörzsőrmester elvtársak, a Fővárosi Tűzoltó-parancsnokság beosztottai.

Személyükben a nép szolgálatát élethivatásnak tekintő, munkájukat mindenkor felelősségérzettel ellátó tűzoltókat veszítettünk el.

A közösség szolgálatában végzett kötelességteljesítés, tűzoltás közben ragadta el őket a halál.

Az esküben vállalt kötelezettség maradéktalan teljesítéséért, a hősiesség helytállásért, a szolgálat ellátásában tanúsított áldozatkész magatartásért:

**BUZÁS GYULA** tűzoltó zászlóst és  
**KAPCSOS JÓZSEF** tűzoltó főtörzsőrmestert  
a Belügyminisztérium hősi halottjává nyilvánítom és soron kívül

tűzoltó alhadnaggyá  
kinevezem.

Buzás Gyula és Kapcsos József tűzoltó alhadnagyság helytállását, kiemelkedő bátorságát példaképül állítom a Belügyminisztérium és a Tűzoltóság egész személyi állománya elé.

**Dr. Horváth István**  
belügyminiszter

14. kép: A belügyminiszter parancsa a hősi halottá nyilvánításról és posztumusz alhadnaggyá előléptetéséről.

Forrás: [9]

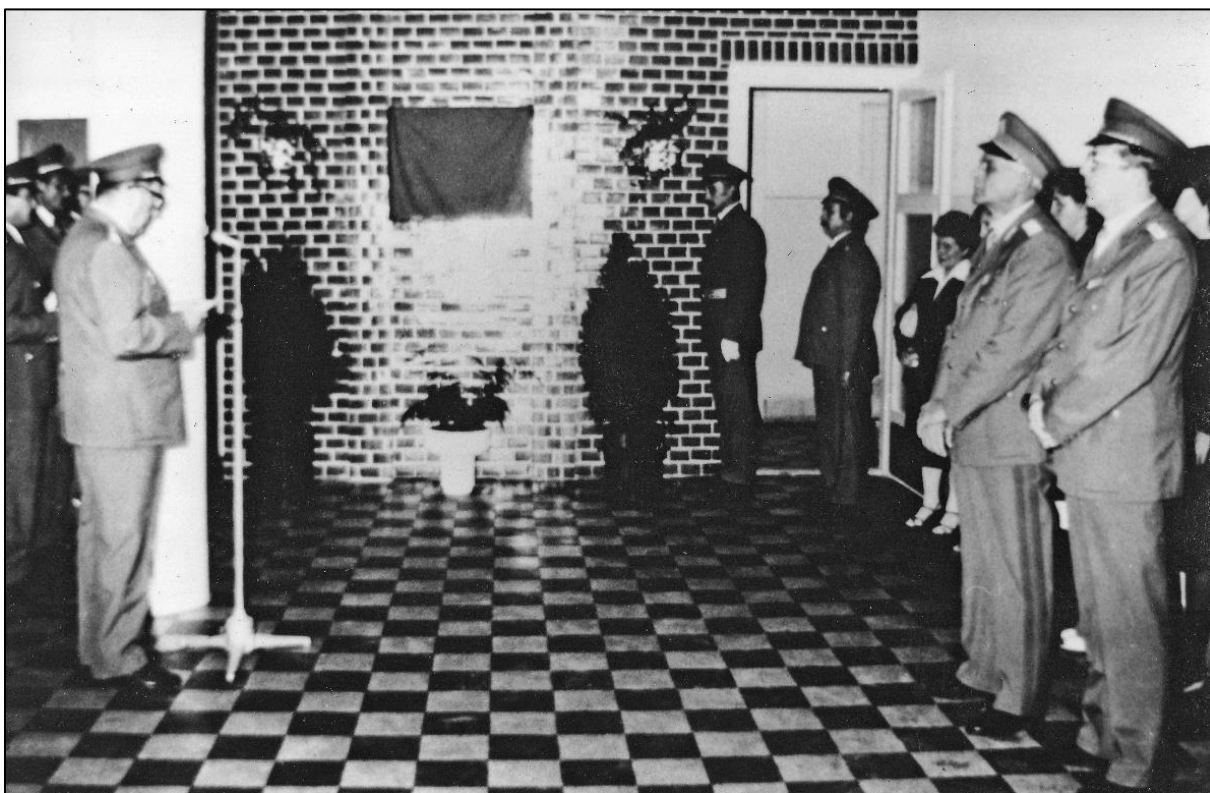


15. kép: Kapcsos József és Buzás Gyula ravatala. A mikrofonnál dr. Héra Attila tű. ezds.

Forrás: KKM. Fotótár



16. kép: Díszőrség a megkoszorúzott hősi halottak sírjai mellett  
Forrás: Hózer Benjámín gyűjteménye



17. kép: Emléktábla avatás az újpesti laktanyán  
Forrás: Hózer Benjámín gyűjteménye



18. kép: Az emléktábla  
Forrás: [21]



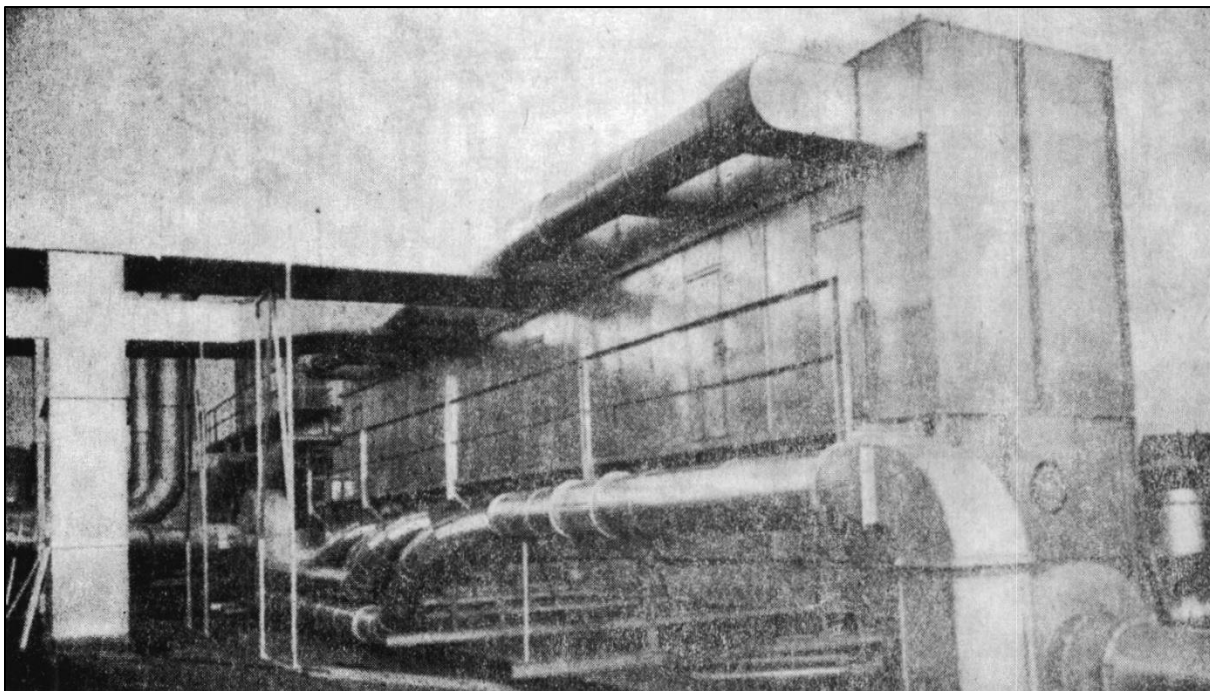
19. kép: Buzás Gyula tűzoltó zászlós (1931 – 1984)  
Forrás: KKM. Fotótár



20. kép: Kapcsos József tűzoltó szakaszvezető felszerelő képe  
Forrás: Hózer Benjámín gyűjteménye



21. kép: Kapcsos József tűzoltó főtörzsőrmester (1943 – 1984)  
Forrás: KKM. Fotótár



22. kép: A BUBIV új Hackemack KTR típusú ülepítőberendezése  
 Forrás: [22]



23. kép: Az újjáépített, robbanásban érintett csarnok ma  
 Forrás: (Forrás: ld. [23])



24. kép: Megemlékezés a felújított síremlékeknél  
 Forrás: [24]



25. kép: Tűzoltó hősi emlékmű, a IV. kerületi HTP előtt  
 Forrás: (Forrás: ld. [25])

## 8. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Vanicsek P. „Robbanás után a BUBIV-ban” *Magyar Hírlap* 17. (265) pp. 3. 1984 [Online] Elérhetőség: [https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarHirlap\\_1984\\_11/?pg=98&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarHirlap_1984_11/?pg=98&layout=s) (2025.01.16.)
- [2] Dr. Lázár L., Lele D. „Irodalmi összefoglaló a faporrobbanások elhárításáról” *Faipar* 35. (8) pp. 225-229. 1985 [Online] Elérhetőség: [https://adt.arcanum.com/hu/view/Faipar\\_1985/?pg=255&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/Faipar_1985/?pg=255&layout=s) (2025.01.16.)
- [3] Keresztes Á. „Nulla-öt, Tamásnak, aki ötéves és tűzoltó szeretne lenni” *Új Tükör* 22. (9) pp. 9. 1985 [Online] Elérhetőség: [https://adt.arcanum.com/hu/view/Tukor\\_1985\\_01-03/?pg=391&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/Tukor_1985_01-03/?pg=391&layout=s) (2025.01.18.)
- [4] *Hungarian Monitoring* 30.10/84- [Online] Elérhetőség: [https://adt.arcanum.com/hu/view/RFE\\_MonitoringHungarian\\_383/?pg=312&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/RFE_MonitoringHungarian_383/?pg=312&layout=s) (2025.01.19.)
- [5] „Robbanás a bútorgyárban” *Déli Hírlap* 16. (250) pp. 1. 1984 [Online] Elérhetőség: [https://adt.arcanum.com/hu/view/DeliHirlap\\_1984\\_10/?pg=123&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/DeliHirlap_1984_10/?pg=123&layout=s) (2025.01.19.)
- [6] Bencze Szabó P. „Helyszíni jelentésünk a bútorgyári robbanásról” *Esti Hírlap* 29. (256) pp. 12. 1984 [Online] Elérhetőség: [https://adt.arcanum.com/hu/view/EstiHirlap\\_1984\\_10/?pg=283&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/EstiHirlap_1984_10/?pg=283&layout=s) (2025.01.24.)
- [7] „A BUBIV-robbanás újabb két áldozata” *Magyar Hírlap* 17. (261) pp. 9. 1984 [Online] Elérhetőség: [https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarHirlap\\_1984\\_11/?pg=52&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarHirlap_1984_11/?pg=52&layout=s) (2025.01.24.)
- [8] „Robbanás a rákospalotai bútorgyárban” *Magyar Nemzet* 47. (256) pp. 8. 1984 [Online] Elérhetőség: [https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarNemzet\\_1984\\_10/?pg=339&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarNemzet_1984_10/?pg=339&layout=s) (2025.01.24.)
- [9] Egerszegi Cs. „Tűz után a BUBIV-nál” *Népszabadság* 43. (40) pp. 6. 1985 [Online] Elérhetőség: [https://adt.arcanum.com/hu/view/Nepszabadsag\\_1985\\_02/?pg=209&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/Nepszabadsag_1985_02/?pg=209&layout=s) (2025.02.04.)
- [10] „Hősi halottaink” *Tűzvédelem* 36. (12) pp. 2. 1984 [Online] Elérhetőség: [https://mandadb.hu/tetel/598500/Tuzvedelem\\_1984](https://mandadb.hu/tetel/598500/Tuzvedelem_1984) (2025.02.04.)
- [11] „Halottaink” *Reformátusok Lapja* 28. (46) pp. 8. 1984 [Online] Elérhetőség: [https://adt.arcanum.com/hu/view/ReformatusokLapja\\_1984/?pg=367&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/ReformatusokLapja_1984/?pg=367&layout=s) (2025.02.04.)
- [12] Bárczy G., Országh L. „A magyar nyelv értelmező szótára.” Budapest, Akadémia Kiadó. III. kötet pp. 369. 1962 [Online] Elérhetőség: <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-a-magyar-nyelv-ertelmezo-szotara-1BE8B/h-2E554/hosi-312C1/> (2025.02.10.)

- [13] 6/2013. (III. 27.) BM. rendelet, a belügyminiszter irányítása alatt álló fegyveres szervek hivatásos és közalkalmazotti állománya részére adható szociális támogatásról
- [14] Dr. Berki I. „A tűzoltóság hősi halottjai és emléküik ápolása” *Rendvédelem-történeti Füzetek* 29 (57) pp. 27-38. 2019 [Online] Elérhetőség:  
[https://real.mtak.hu/93540/1/RTF\\_XXIXevf\\_57sz\\_027-038.pdf](https://real.mtak.hu/93540/1/RTF_XXIXevf_57sz_027-038.pdf) (2025.02.10.)
- [15] „Végső búcsú” *Magyar Rendőr* 38 (48) pp. 2. 1984 [Online] Elérhetőség:  
[https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarRendor\\_1984\\_2/?pg=337&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarRendor_1984_2/?pg=337&layout=s) (2025.02.10.)
- [16] „Tisztelgés” *Magyar Rendőr* 40 (33) pp. 4. 1986 [Online] Elérhetőség:  
[https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarRendor\\_1986\\_2/?pg=99&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarRendor_1986_2/?pg=99&layout=s) (2025.02.10.)
- [17] Kerékgyártó M. „Csapatzászló” *Szabad Föld* 41. (45) pp. 8. 1985 [Online] Elérhetőség:  
[https://adt.arcanum.com/hu/view/SzabadFold\\_1985\\_2/?pg=439&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/SzabadFold_1985_2/?pg=439&layout=s) (2025.02.11.)
- [18] „Korszerű elszívóberendezés a BUBIV-nál” *Építőké Lapja* 39. (10) pp. 4. 1986 [Online] Elérhetőség:  
[https://adt.arcanum.com/hu/view/EpitomunkasEpitokLapja\\_1986/?pg=75&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/EpitomunkasEpitokLapja_1986/?pg=75&layout=s) (2025.02.11.)
- [19] „Lapszabátszat az 5. számú üzemegeységben” *Szabad Föld* [Online] Elérhetőség:  
[https://adt.arcanum.com/hu/view/SzabadFold\\_1985\\_2/?pg=439&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/SzabadFold_1985_2/?pg=439&layout=s) (2025.02.16.)
- [20] „A robbanással érintett csarnok, egy 1978-as légifotón” *Fentrol.hu* [Online] Elérhetőség:  
<https://www.fentrol.hu/hu/legifoto/102961?r=1&c=2130525.4560485:6036962.379282501:8> (2025.02.16.)
- [21] „Korszerű elszívóberendezés a BUBIV-nál” *Építőké Lapja* 39. (10) pp. 4. 1986 [Online] Elérhetőség:  
[https://adt.arcanum.com/hu/view/EpitomunkasEpitokLapja\\_1986/?pg=75&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/EpitomunkasEpitokLapja_1986/?pg=75&layout=s) (2025.02.11.)
- [22] Dr. Berki I., Peterman J. A. „Hőseink” BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, pp. 39. 2014 [Online] Elérhetőség:  
<https://muzeum.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2022-03/78259.pdf> (2025.02.16.)
- [23] Dr. Sipos Á. „A Budapesti Bútoripari Vállalat huszonöt éve” *Faipar* 39. (5) pp. 132. 1989 [Online] Elérhetőség:  
[https://adt.arcanum.com/hu/view/Faipar\\_1989/?pg=171&layout=s](https://adt.arcanum.com/hu/view/Faipar_1989/?pg=171&layout=s) (2025.02.16.)
- [24] „Csendes méltóságban emlékezett meg hősi halottairól az FKI” (2021) Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság. [Online] Elérhetőség:  
<https://fovaros.katasztrofavedelem.hu/26128/hirek/257587/csendes-meltosagban-emlekezett-meg-hosi-halottairol-a-fovarosi-katasztrofavedelmi-igazgatosag#top> (2025.02.16.)
- [25] „Tűzoltó hősi emlékmű, a IV. kerületi HTP előtt” *Kozterkep.hu* [Online] Elérhetőség:  
<https://www.kozterkep.hu/391/a-tuzoltok-hosi-emleke#> (2025.02.16.)

# Szénmonoxid szivárgással járó események előrejelzése

Karsa Róbert

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola  
doktorandusz

Pécsi Tudományegyetem, TTK MII tanársegéd

Email: karsar@gamma.ttk.pte.hu

ORCID: 0000-0003-0502-1508 

## Absztrakt:

Ebben a kutatásban a szénmonoxid mérgezéssel járó káresemények előre jelezhetőségét vizsgáljuk. A tüzeléstechnikai berendezések hibáiból fakadó szénmonoxid szivárgások fizikai okait feltárva feltételezéseket állítottunk fel, amit későbbiekben adat alapú elemzésekkel bizonyítunk. A kutatás során valós szénmonoxid szivárgással kapcsolatos adatokat használtunk fel és azt találtuk, hogy az adatokból gépi tanulási módszerek segítségével, az adatok belső összefüggései is megismerhetők.

A szivárgásos jelenségek a helyi meteorológiai előrejelzések figyelembevételével előre jelezhetőek. Az eredmények segítségével korai figyelmeztető rendszer kiépítését javasoljuk, amely terület specifikusan képes egy térképen érthető formában felhívni a figyelmet a kockázatokra.

Kulcsszavak szénmonoxid mérgezés, gépi tanulás, előrejelzés, mesterséges intelligencia

## Abstract:

In this research, we investigate the predictability of carbon monoxide poisoning incidents. By exploring the physical causes of carbon monoxide leaks due to faults in combustion equipment, hypotheses are made and subsequently proven through data-based analyses. We have utilized data from real carbon monoxide leaks and found that machine learning methods can be employed to identify internal correlations within the data.

Leakage events can be predicted by considering local meteorological forecasts. Using these results, we propose the deployment of an early warning system that can provide area-specific risk awareness in a map format that can be understood.

Keywords: carbon monoxide poisoning, machine learning, forecast, artificial intelligence

## 1. BEVEZETÉS

Szén-monoxid (CO) mérgezés miatt évente több mint 1000-szer riasztják a katasztrófavédelem tűzoltó egységeit. A káresetek nagyjából felében történik mérgezés és az esetek kapcsán évente átlagosan 11 eseménynél 14 haláleset történik. [1] Az Amerikai Egyesült Államokban évente körülbelül 50 000 CO mérgezéses esetet regisztrálnak, ami 16,0 esetet jelent 100 000 lakosra vetítve. A halálos kimenetelű esetek száma az USA-ban csökkenő tendenciát mutat, 2014-ben 1319 halálesetet regisztráltak [2]. Ezek a számok lakosságarányosan magasabbak a magyarországi esetszámoknál. A CO színtelen, szagtalan, ízetlen, a levegőnél könnyebb mérgező gáz. Belélegezve gátolja a vér oxigénszállító képességét, a mérgezés tünetei, a szédülés, rosszullet, fejfájás, hányinger, fáradtság hasonlóak más betegségekhez, ezért nehéz a felismerése [2]. A CO keletkezése, illetve feldúsulása három fő okra vezethető vissza: ezek a nyílt lánggal égő berendezés nem megfelelő műszaki kialakítása, a nyílt lánggal égő berendezés nem megfelelő légutánpótlása és a berendezések elmaradt karbantartása, tisztítása. A CO okozta balesetek nagyrészt elkerülhetőek lennének, amennyiben minden kockázati helyre CO érzékelő kerülne.

Az elmúlt években a katasztrófavédelem kiemelt hangsúlyt fektetett a CO mérgezések megelőzése érdekében a CO érzékelők elterjedésének támogatására. A CO érzékelők beszerzésével és megfelelő telepítésével megelőzhetőek a halálesetek is. [3]

A CO káresemények nem csak a fűtési időszakban fordulnak elő, hanem a teljes évben jellemzőek. Publikációmban arra keresem a választ, hogy ezek a káresetek mennyire jelezhetőek előre. A motivációt a kutatásra egy olyan nap jelentette, amikor több CO-s káresemény történt egy megyében és felmerült bennem a kérdés, hogy van-e valami közös jellemzőjük az ilyen típusú eseményeknek. Egy közelmúltbeli tanulmány kimutatta, hogy meteorológiai tényezők figyelembevételével lehetséges előrejelző modellt készíteni a CO-mérgezések kockázatára vonatkozóan. A modell olyan tényezőket vesz figyelembe, mint a hőmérséklet, szélsébség, napi hőmérséklet-változás és a levegő CO-koncentrációja [4].

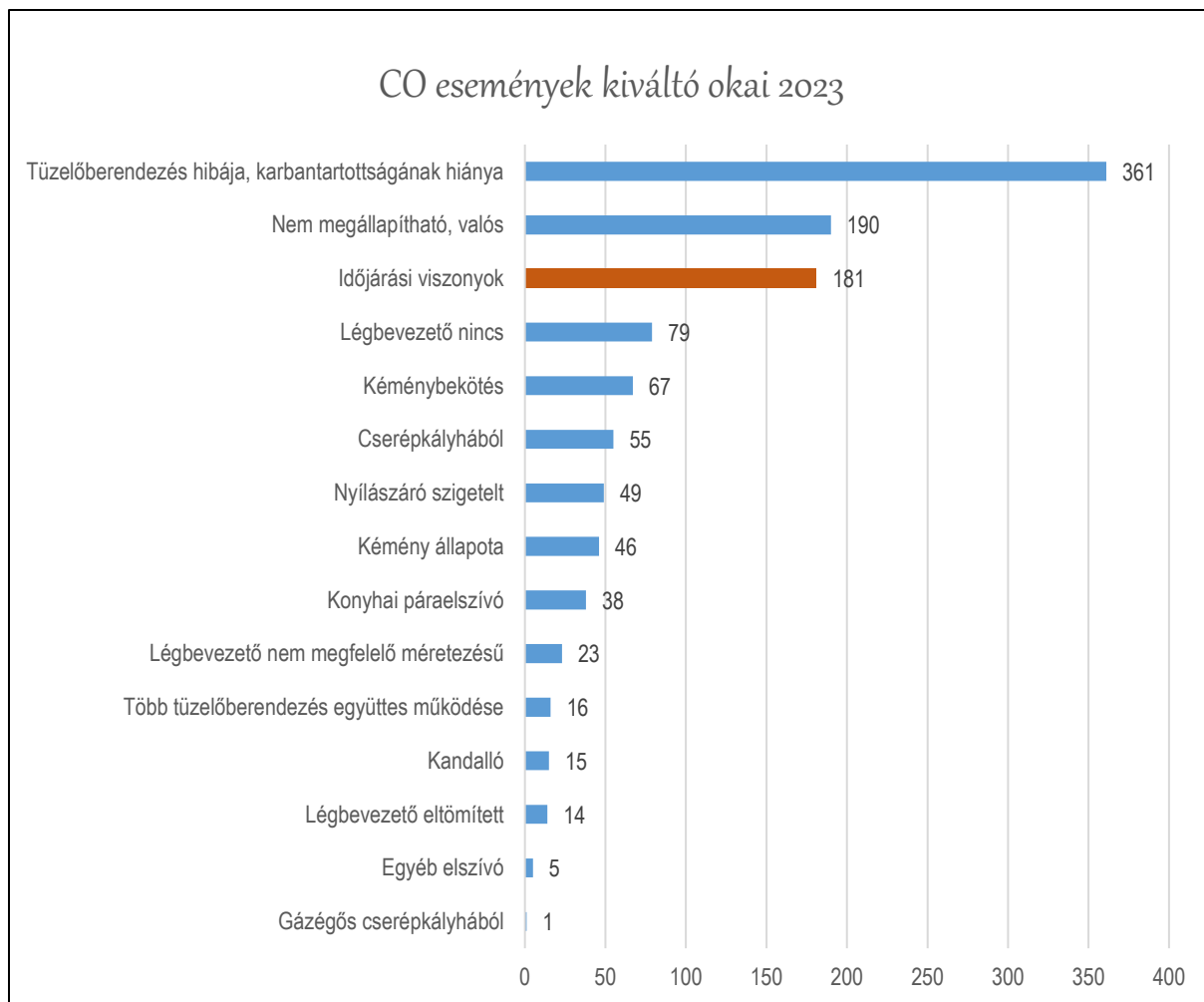
## 2. A SZÉNMONOXIDOS ESEMÉNYEK HÁTTERE

### 1. A rendelkezésre álló adatok vizsgálata

A 2023-as évet vizsgálva a katasztrófavédelem KAP Online<sup>1</sup> adatbázisából megállapítható, hogy 1137 olyan esemény történt az országban, amely kapcsán CO-s adatlap került kitöltésre, azaz ténylegesen CO szivárgás történt. Ezekben az esetekben a helyszínen tartózkodó tűzoltó feladata a CO szivárgást kiváltó elsődleges és másodlagos okok azonosítása, később rögzítése a KAP Online adatbázisban.

---

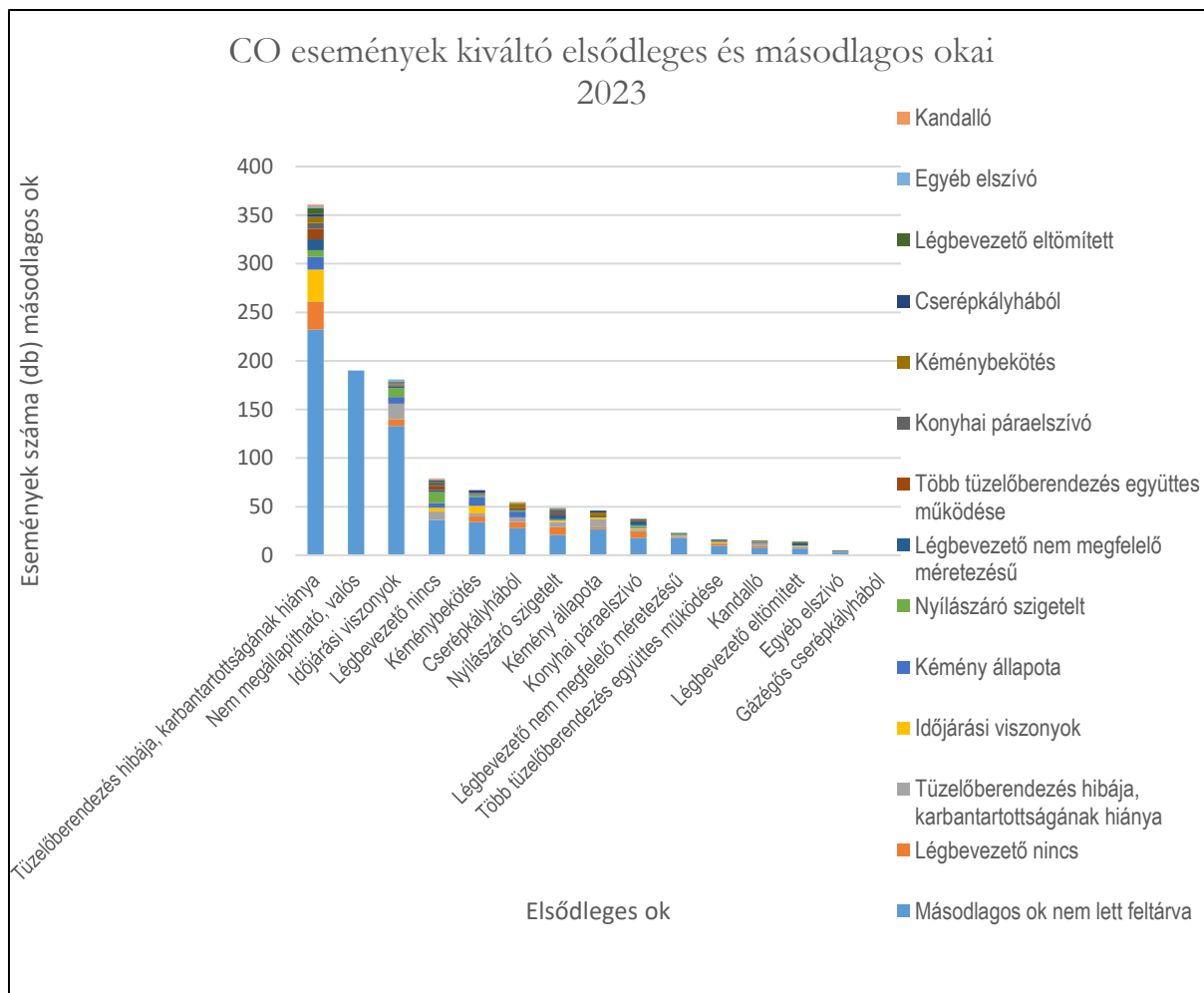
<sup>1</sup> Katasztrófavédelmi Adatszolgáltató Program



1. ábra, a CO események kiváltó elsődleges okainak bemutatása 2023-ban Magyarország területén (készítette a szerző) [1]

Amint az 1. ábrából is látszik, az esetek nagy részében a helyszínen nem lehetett megállapítani a kiváltó okot. Az események nagy részében a szivárgás visszavezethető a tüzelőberendezés hibájára, karbantartásának elmulasztására. Jelentős még az időjárási viszonyok miatt kialakult szivárgások száma is. A helyszínen nem megállapítható, de valós keletkezési okot csak akkor választja a tűzoltásvezető, ha a helyszínen a szakmai tudása, tapasztalata alapján nem lát, nem észlel olyan körülményt, ami a szén-monoxid keletkezéséhez vezethetett, és a bevont, a helyszínen esetlegesen megjelenő kéményseprő, gázszolgáltató sem tudnak nyilatkozni a szén-monoxid keletkezési okáról, viszont a szén-monoxid koncentráció egyértelműen mérhető volt.

A helyszínen nem megállapítható, de valós események nagy száma utalhat arra, hogy lehetnek olyan körülmények, amelyek a helyszíni vizsgálatok, az esemény rekonstrukciója során nem észlelhetőek, ezért más irányú megközelítést kell alkalmazni ezek vizsgálatakor. Az időjárási viszonyok kategória magas száma és a kategória megítélésének nehézsége okán felmerülhet a kérdés: mennyire játszik szerepet az időjárás egy CO-s esemény bekövetkezésében.



2. ábra, a CO eseményeket kiváltó elsődleges és másodlagos okok bemutatása 2023-ban Magyarország területén (készítette a szerző) [1]

Általánosságban elmondható, hogy a szén-monoxid szivárgás nem egy okra vezethető vissza, hanem kettő, vagy akár több oknak az együttes bekövetkezése okozza a problémát. A helyszíni adatgyűjtés során a kárhelyparancsnok megjelölhet másodlagos okokat is a CO szivárgást kiváltó események kapcsán. A 2. ábrán látható, hogy a másodlagos okokat figyelembe véve, az időjárási viszonyok miatt bekövetkezett CO szivárgások száma magas, és vannak olyan események ahol másodlagos okot nem tártak fel. A KAP Online programból megállapítható, hogy 2023-ban 115 esetben kizárólag szilárd tüzelésű berendezés, 533 esetben kizárólag gázüzemű berendezés működött, a többi esetben pedig párhuzamosan működött szilárdtüzelésű és gázüzemű berendezés is a CO-s káresemények kapcsán. Az adatokból látszik, hogy a gáztüzelésű berendezések esetén sokkal gyakoribbak a CO-hoz köthető káresemények. Az időjárási viszonyok CO szivárgásra gyakorolt hatását több tanulmány is vizsgálta. Egy kutatás kimutatta, hogy az alacsony hőmérséklet, az alacsony szélsebesség és a magas napi hőmérséklet-ingadozás növeli a CO mérgezések kockázatát [4]. Ez részben magyarázatot adhat arra, hogy miért olyan jelentős az időjárási tényezők szerepe a bemutatott adatokban. Egy másik tanulmány specifikusan a hideg időjárási frontok hatását vizsgálta, és megállapította, hogy a hirtelen lehűlések növelik a CO mérgezések előfordulását [5]. Ez összhangban van azzal a megfigyeléssel, hogy az időjárási viszonyok gyakran másodlagos okként jelennek meg a CO események kapcsán.

## 2. Szénmonoxid visszaáramlás kialakulása

A CO szivárgás a nyílt égésterű tüzelőberendezések esetén gyakoribb, mint a zárt égéster esetén. A nyílt égéster azt jelenti, hogy a tüzet tápláló égési levegő abból a helyiségből származik, ahol a berendezés működik, ez lehet például akár egy fürdőszoba is. A CO szivárgás egyik fő közvetlen oka az égéstermék elvezetőn kialakuló elégtelen huzat. Egy üzemelő tüzeléstechnikai berendezés esetén a csatlakoztatott kéményben lévő füstgázok melegebbek, mint a külső levegő. A melegebb levegő könnyebb, mint a hidegebb ezért magasabbra törekszik, azaz felfelé mozog, az így kialakuló áramlás hozza létre a huzatot. Ahhoz, hogy a CO szivárgást jobban megértsük, meg kell vizsgálni a tüzeléstechnikai berendezésekhez kapcsolódó fontosabb jogszabályokat és vizsgálatokat. Törvényi szinten a 2015. évi CCXI. törvény a kéményseprő-ipari tevékenységről határozza meg a kéményseprők tevékenységi körét. A törvényhez kapcsolódik a 99/2016. (V. 13.) Korm. rendelet a kéményseprő-ipari tevékenységről szóló törvény végrehajtásáról és a 21/2016. (VI. 9.) BM rendelet a kéményseprő-ipari tevékenység ellátásának szakmai szabályairól, amely többek között előírja az égéstermék tartós visszaáramlásának ellenőrzését is, mint vizsgálatot. Ezt a vizsgálatot a tüzeléstechnikai szakirodalom is tárgyalja. Biztonsági elvárás, hogy deflektoros (huzatmegszakító) gázkészülékeknél a működő rendszer a deflektoron az égéstermék tömegáram legalább 30%-ának megfelelő levegő mennyiséget szívjon be. Ezt a legalacsonyabb huzat, felhajtóerő esetén is teljesítenie kell, például egy átfolyós gáz-vízmelegítőnek a nyári kánikulai hőségben. Ennek ellenőrzésére kidolgozásra került egy módszertan, amely során a külső, belső levegő és füstgáz hőmérsékleti adatok segítségével ellenőrizhető az égéstermék visszaáramlása. Ezt a kémények ellenőrzésénél a kéményseprő szakemberek időszakosan vizsgálják. A külső hőmérsékleti változások hatása miatt egy tüzelőberendezés és égéstermék-vezető együttes működése során a téli alacsony külső levegő hőmérséklet esetén történő ellenőrzésénél lényegesen nagyobb felhajtóerő alakul ki, mint ugyan annál a rendszernél nyári kánikulai hőségben. Ezért a télen megfelelően működő rendszer nyári körülmények között esetleg nem fog megfelelően működni és ez eredményezhet égéstermék visszaáramlást a készülék felállítási helyiségébe, CO szivárgást okozhat. [6] A tüzelőberendezések esetében a rendszeres karbantartás kulcsfontosságú a biztonságos működés és a tüzelőanyag nem megfelelő égéséből származó CO szivárgások elkerülése érdekében [7].

## 3. Az időjárás hatása a kéményben kialakuló huzatra

A kéményekben természetesen kialakuló áramlási viszonyokat modellezte Andrzejczyk Rafal [8], amely során több matematikai modellt is készített a kéményben kialakuló áramlási viszonyok számításához. Minden modellt a kémény paraméterein túl számításba vette a külső és belső levegő sűrűségét, hőmérsékletét, a napsugárzást és a szél áramlási sebességét. A kutatás ugyan a passzív szellőztető rendszerekre fókuszál, de a matematikai modell hasonlóan a Leikauf Tibor [6] által kidolgozott visszaáramlás mérési számításához hasonló bemeneti adatkörrel dolgozik. A hazánkban alkalmazott visszaáramlási módszer tartalmaz egyszerűsítéseket, így csak hőmérsékleti adatokat használ fel a visszaáramlás számításához, amely a kéményseprő gyakorlatban jól alkalmazható.

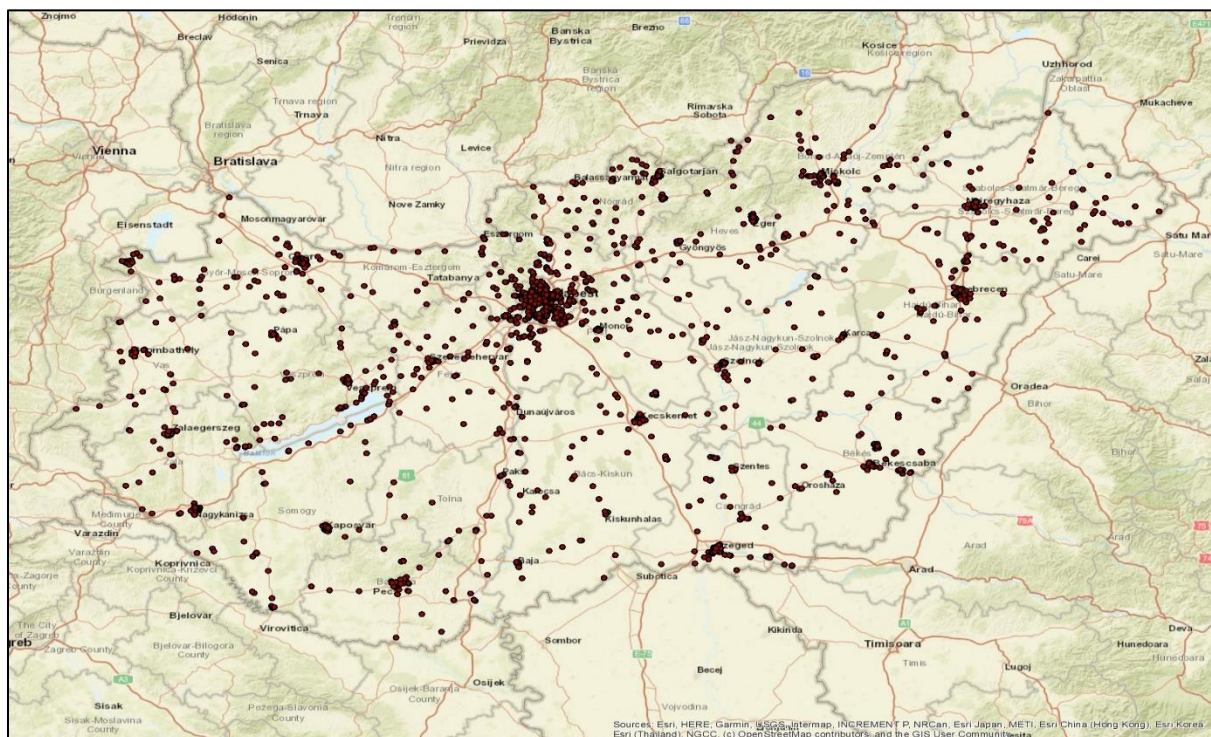
Ezekből már levonható az a következtetés, hogy a tüzelő berendezések és a kémények együttes működésére kihatással van az időjárás, ezért a CO szivárgási esetekre is kihatással lehet az időjárás. Ezen a ponton érdemes elgondolkodni, hogy vajon milyen kapcsolat van az időjárási adatok és a CO szivárgás között. Vannak ismert kapcsolatok, jelenségek, mint az inverzió, amikor a légköri áramlási viszonyok megváltoznak a különböző magassági rétegekben kialakuló hőmérsékleti viszonyok kapcsán és ez a kémények áramlási viszonyait is befolyásolja [9]. Egy másik releváns tanulmány egy egyszerűsített matematikai modellt dolgozott ki az épületben kialakuló nyomáeloszlás és légáramlási sebesség kiszámítására, amely figyelembe veszi a kazán, a kémény és az épület közötti kölcsönhatást. A tanulmány foglalkozik a kéményben kialakuló áramlási sebesség időjárási paraméterektől való függésével is [10].

Felmerülhet a kérdés, hogy a CO megjelenése, szivárgása és az időjárás között milyen kapcsolat van? Ennek a kapcsolatnak a keresésére adatalapú géptanulási módszerek segítségével keressük a választ.

### 3. ELŐREJELZŐ RENDSZER ÉPÍTÉSE

#### 4. Vizsgált adatok köre:

Annak érdekében, hogy a CO szivárgás és az időjárás adatok között összefüggéseket találjunk, nézzük meg a rendelkezésre álló adatkört. Az első és kulcsfontosságú adat maga a CO szivárgással kapcsolatos adathalmaz. A katasztrófavédelemi szerveknél 2011-óta működik az egységes KAP Online rendszer, amely tartalmaz CO szivárgással kapcsolatos káreseteket is. 2012-től ezek az adatok geokódoltak, azaz a káresemény pontos helyszíne nem csak postai címmezővel van ellátva, hanem EOV<sup>2</sup> koordinátákkal is, amely nagyban segíti az adatok gyors térképi feldolgozását. Az adattartalom itt mindössze arra korlátozódik egy káresemény kapcsán, hogy a helyszínen történt-e CO szivárgás. Ennek a megállapítását a tűzoltófecskendőkre málházott gázérzékelőkkel végezték. 2016-tól megjelentek a CO-s adatlapok, amelyek egy CO szivárgással kapcsolatos eseménynél jóval több adatot gyűjtenek. Ilyenek például a keletkezési helyiség, mért értékek, tüzelőberendezés típusa, kéménybekötés, légbevezető állapota, CO érzékelő jelenléte, típusa és a keletkezési ok. Tehát rendelkezésünkre állnak több évre visszamenőleg azok a helyszínek, ahol CO szivárgás történt valamilyen tüzelőberendezés működése kapcsán.



3. ábra, a CO események 2023-ban Magyarország területén (készítette a szerző, adatok forrása: KAP Online)

A 3. ábrán a 2023. évi beavatkozást igénylő CO-s káresemények térképi ábrázolása látható, minden egyes pont egy CO-s eseményt reprezentál. Megállapítható hogy az események jelentős része városokhoz, nagyobb településekhez köthető.

<sup>2</sup> Egységes Országos Vetületi Rendszer

A második adatkör azokat a meteorológiai adatokat jelenti amelyek a CO-szivárgás időpontjához köthetőek. Hosszas keresés után találtam rá az OpenWeather<sup>3</sup> szolgáltatásaira, amely képes lokációhoz kötött múltbeli meteorológiai adatokat megadni automatizált módon egy API<sup>4</sup>-n keresztül. Tudomásom szerint jelenleg ilyen ingyenes API-t a magyar meteorológiai szolgáltatással foglalkozó szervezetek nem biztosítanak. Ez azt jelenti, hogy a korábbiakban vázolt CO-s káresemények pontos helyéhez a legközelebbi meteorológiai mérőállomás adatait kaphatjuk vissza óránkénti felbontásban. A KAP Online rendszerből származó TMMJ<sup>5</sup> adatlapokban az események EOY koordinátái és azoknak a jelzésének időpontja óra, perc pontossággal szerepel, ezért ehhez könnyen lehet a környezetre akkor jellemző időjárási adatokat társítani. Ezt kihasználva minden egyes káresethez letöltöttem az aktuális hőmérséklet, hőmérséklet érzet, légnyomás, páratartalom, napi maximum és minimum hőmérsékletek, szélsősebesség, szélirány, szélleőkés, felhőborítottság adatokat. Korlátot jelentett, hogy az API-n keresztül ingyenesen csak 1 évre visszamenőlegesen lehetett adatokat letölteni, ezért két időben eltolt letöltéssel jelenleg 1,5 évnnyi CO-s eseményhez köthető meteorológiai adattal rendelkezem.

## 5. Adatok előkészítése

Vajon milyen összefüggések vannak az időjárási adatok és a CO-s szivárgások között tehetjük fel a kérdést. Ennek megválaszolásához a gépi tanulást hívtam segítségül, amely egyfajta függvényközelítést végez a bemeneti és a kimeneti adatok között. Esetünkben a bemeneti adatok az időjárási adatok, a kimeneti adat pedig a CO-s esemény bekövetkezése. A feladat pedig összefüggések keresése a bemeneti és kimeneti adatok között. Ez egy klasszikus bináris osztályozási feladatként is felfogható ahol egy esemény bekövetkezését kell megjósolni. A gépi tanulási algoritmusok közül többet is kipróbáltam a feladat megoldásához, de mielőtt erre rátérnénk, látnunk kell, hogy a bináris osztályozáshoz szükség van olyan bemeneti adatokra is, amikor a kimenet 0, azaz keresni kell olyan meteorológiai környezetet, amikor nem volt CO-s káresemény. Ezeket az adatokat már önkényesen választottam, azaz véletlenszerűen kerestem az évben olyan napokat, amikor nem volt az országban CO-s esemény, illetve támaszkodva a 3. ábrára, nagyvárosokat jelöltem meg helyszíneként és ezekhez az időpontokhoz és helyszínekhez szintén letöltöttem a vonatkozó meteorológiai adatokat. Azért hogy a két osztály, az 1-el jelölt CO-s szivárgási eseményt, illetve a 0-val jelölt, nincs esemény, kiegyensúlyozott legyen, az 1-es eseményhez hasonló számú 0-s eseményt generáltam.

Az időjárási tényezők és a CO-s esemény bekövetkezése közötti kapcsolatot első körben a point-biserial korrelációval [11] végeztem, hiszen ez alkalmas folytonos és dichotóm (CO-s káresemény) változók kezelésére. [12] Azt találtam, hogy az időjárási adatok és a CO-s káresemények között nincs vagy nagyon gyenge a korreláció. A legnagyobb korrelációt a szélleőkés paraméternél<sup>6</sup> számoltam, ami mindössze 0,2 volt  $p=0$  érték mellett. A  $p$ -érték azt a valószínűséget jelenti, hogy a két változó közötti korreláció a véletlennek köszönhető. Általában a 0,05-nél kisebb  $p$ -értéket tekintik statisztikailag szignifikánsnak. Ez gyenge korreláció azonban statisztikailag szignifikáns, azaz valódi kapcsolatot jelent. Tehát az egyes meteorológiai adatok és a CO-s események bekövetkezése között csak gyenge kapcsolatot tudunk kimutatni, azonban a feltételezésem szerint van kapcsolat a kettő között. A korreláció külön-külön azaz páronként vizsgálja a változók közötti kapcsolatokat, de a valóságban ennél sokkal bonyolultabb és összetettebb kapcsolatokat feltételezek. A bonyolultabb kapcsolatok feltárására és modellezésére gépi tanulási eszközöket mutatok be a következőkben.

---

<sup>3</sup> <https://openweathermap.org/>

<sup>4</sup> Application Programming Interface

<sup>5</sup> Tűzoltási és Műszaki Mentési Jelentés

<sup>6</sup> az adathalmazban az angol terminológia szerint gust

## 6. Vizsgált algoritmusok, használt keretrendszerek

Annak megértése, hogy mi vezethet CO-s eseményhez az adatokon keresztül lehetséges. A nagyszámú adat segítségével gépi tanulási modelleket készítettem, hogy az időjárási körülmények és a CO-s események között összefüggést találjak. Mivel a rendelkezésre álló adatok táblázatos adatok, ezért a klasszikus gépi tanulási algoritmusokat használtam a modell készítésére. Az első és egyik legrobosztusabb megoldás a Random Forest [13] modell volt, ami döntési fákon alapszik. A modell képzése során döntési fák sokaságát hozza létre az algoritmus és az osztályozási feladatoknál a modell kimenete a legtöbb döntési fa által kiválasztott osztály lesz. Több döntési fa alapú modellt vizsgáltam. Ilyen volt a Gradient Boosting algoritmus [14], amely a képzés során folyamatosan új döntési fákat ad a meglévőkhöz. Minden új döntési fa arra összpontosít, hogy kijavítsa az előző fák által elkövetett hibákat, így a modellek fokozatosan egyre pontosabbá válnak. Vizsgáltam még a XGBoosting [15] algoritmust is, amely szintén döntési fa alapú módszer, ami jól skálázható és a működése hasonló a Gradient Boosting algoritmuséhoz. A döntési fák mellett hagyományos teljesen összekapcsolt neurális hálózatokkal [16] is végeztem kísérleteket. A modelleket Google Colab<sup>7</sup> futtató környezetben készítettem Python nyelven a Scikit Learn<sup>8</sup> és Tensorflow<sup>9</sup> keretrendszerek használatával. Ezek az eszközrendszerek a mai modern géptanulási, mesterséges intelligencia alkalmazások létrehozásához szükséges építőelemek. A tanítási folyamat lényege, hogy nagyszámú tanítóadat segítségével olyan modelleket hozzunk létre, amelyek képesek általánosítani, azaz olyan adatokra is képesek jó előrejelzéseket adni, amelyek nem voltak benne a tanítóhalmaz adataiban.

## 7. Mintázatok megjelenése, modellek belső összefüggései

A létrehozott modellek előrejelzéseket adnak eddig még nem látott bemeneti adatokra, tehát időjárási adatokra. A modell kimenete egy valószínűség, amely a CO-s esemény bekövetkezésére utal. A modellek előrejelzéseinek értelmezéséhez rendelkezésre áll néhány eszköz, hogy milyen okok vezettek egy adott előrejelzéshez vagy éppen általánosan a modell melyik bemeneti adatot mennyire találja fontosnak az előrejelzés meghozatala során. Megvizsgáltam az egyik legkorszerűbb algoritmust az XGBoost-ot és annak belső döntéseit a SHAP (SHapley Additive exPlanations) [17] segítségével. A gépi tanulásban a SHAP a modellek működésének magyarázatára alkalmazott módszer, ahol az egyes bemeneti jellemzőknek a predikcióhoz való hozzájárulásának megértése a cél. A SHAP a gépi tanulási modellek népszerű magyarázati módszere, amely betekintést nyújt az egyes bemeneti tényezők adott előrejelzéshez való hozzájárulásába. SHAP értékek használata már a tűzvédelem területén is megjelent, hiszen egy 2024-es tanulmányban használták a mesterséges intelligencia döntéseinek mélyebb értelmezésére erdőtüz kockázati térképek készítéséhez [18]. A SHAP analízis segített feltárni az egyes tényezők hozzájárulását a tűzveszélyességi kockázatokhoz. A SHAP értékek az egyes bemeneti adatcsoportok átlagos hozzájárulását fejezik ki a modell által készített előrejelzéshez. A 4. ábrán láthatjuk a bemeneti adatokhoz tartozó SHAP értékeket. A diagram függőleges tengelyén a különböző változók (bemeneti adatok) jelennek meg (pl. temp\_max<sup>10</sup>, gust, pressure<sup>11</sup>). Ezek azok a tényezők, amelyek alapján a modell előrejelzéseket készít. A diagramban a vizsgált jellemzők fontossági sorrendben láthatóak, tehát a legfontosabb tényező a napi maximális hőmérséklet. A vízszintes tengelyen a bemeneti adatokhoz tartozó SHAP értékek láthatóak, amelyek azt jelzik, hogy az adott jellemző milyen mértékben és irányban befolyásolta a modell kimenetét. Ezt színes pontokkal ábrázoltam, ahol minden egyes adatpont egy színes pontnak felel meg egy adott bemeneti adathoz kapcsolódóan. Amikor a SHAP érték pozitív, akkor az adott jellemző növelte az előre jelzett osztály (CO-s esemény bekövetkezése) valószínűségét, míg ha negatív, akkor csökkentette azt. A színskála mutatja az adott bemeneti adat

<sup>7</sup> colab.research.google.com

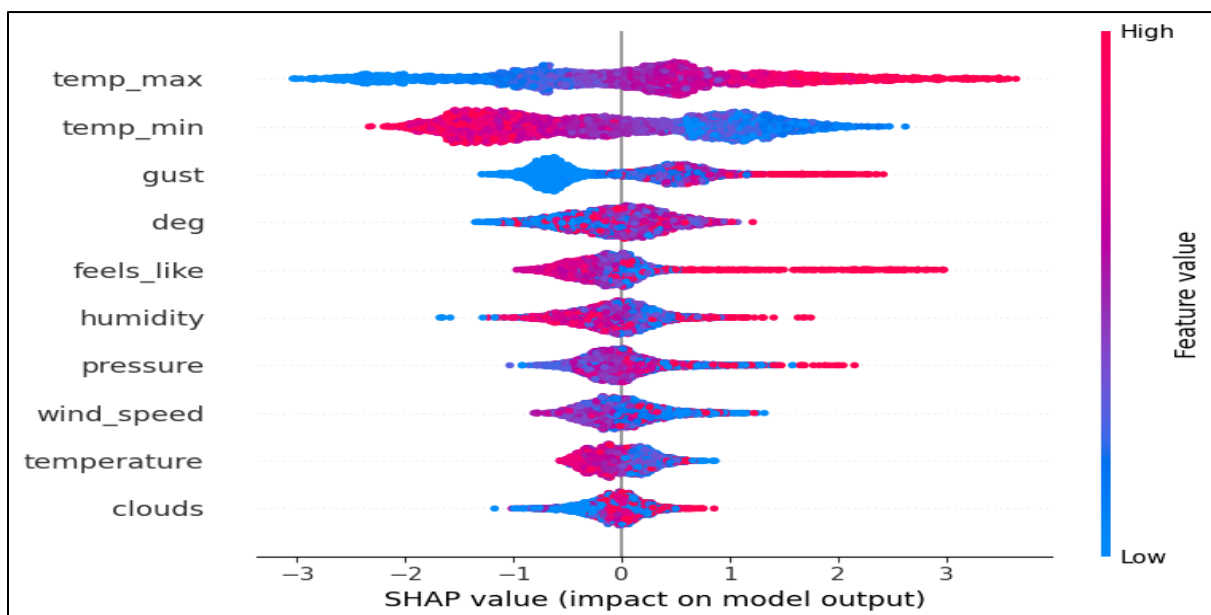
<sup>8</sup> scikit-learn.org

<sup>9</sup> tensorflow.org

<sup>10</sup> napi maximális hőmérséklet

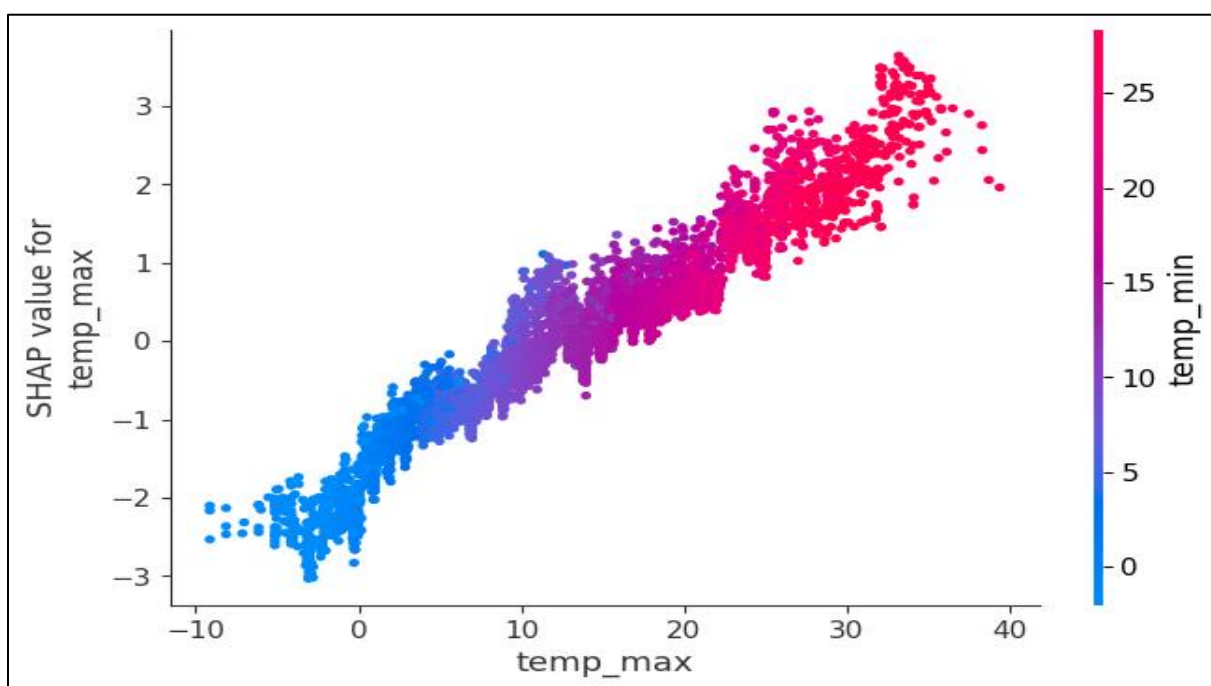
<sup>11</sup> légnyomás

értékeit (kék az alacsony, piros a magas értékeket jelöli). Ez segít megérteni, hogy az egyes bemeneti adatok magas vagy alacsony értékei hogyan befolyásolják a modell előrejelzését.



4. ábra, az egyes bemeneti adatokhoz tartozó SHAP értékek (készítette a szerző)

A modell azt találta, hogy például a temp\_max, azaz a napi maximális hőmérséklet úgy befolyásolja a CO-s eseményeket, hogy azokon a napokon, amikor magas volt a temp\_max értéke, azok pozitívan befolyásolták (elősegítették) a CO-s esemény bekövetkezését. A temp\_min, azaz a napi hőmérsékleti minimum értékei alapján, amikor az érték magas, tehát magas a napi minimum hőmérséklet, akkor a CO-s eseményeknek kisebb a valószínűsége. A nagy szellőkés (gust) értékek szintén növelik a CO-s esemény bekövetkezésének valószínűségét. A modell azonban ennél sokkal bonyolultabb belső összefüggéseket is megtalál és felhasznál az előrejelzés készítése során.



5. ábra, a napi maximum és minimum hőmérséklet együttthatása (készítette a szerző)

Az 5. ábrán a napi maximum és minimum hőmérsékletek együttes hatása látható a SHAP értékekre. Magas napi maximum és minimum hőmérsékletek (nyári időjárás) esetén a modell inkább a CO-s esemény bekövetkezésének irányába dönt. A temp-max-hoz tartozó SHAP értékek kb. 10 C-fok felett pozitívak, miközben a temp\_min értékek is viszonylag magasak (5 C-fok felett). Azonban nagyon alacsony napi maximum és minimum értékek esetén (erős fagyok) a modell kisebb SHAP értékeket mutat, azaz csökken a CO-s esemény bekövetkezésének valószínűsége pusztán a hőmérséklet értékét figyelembe véve. Ez összhangban van azzal, hogy a téli időjárás esetén jóval nagyobb felhajtóerő alakul ki a kéményben, ami csökkenti a CO-s esemény bekövetkezési valószínűségét [6]. Amikor egy modell jól működik, akkor tulajdonképpen megtanulja a nagyszámú tanító adatokból azokat a fizikai törvényszerűségeket, amelyek a világunkban jelen vannak. Az előbbieken csak a temp\_min-t vizsgálva megállapítottuk, hogy magasabb értékek inkább csökkentik a CO-s esemény bekövetkezési valószínűségét, együtt vizsgálva a temp\_max-al már árnyaltabb a kép, hiszen az egyedi hatások és az együttes hatások különböznek. A SHAP értékek nem lineárisan viselkednek, hiszen a létrehozott modell maga sem lineáris, hanem sokkal bonyolultabb összetett rendszer.

## 8. Modell eredmények vizsgálata

A modellek képzése során az adatokat felosztottam tréning és validációs részekre 80%-20% arányban. A validációs halmaz adatait a modellek nem láthatták a képzésük során, kizárólag a modellek értékelésére használtam azokat. Az 1. táblázat tartalmazza a modellek által elért eredményeket.

| Ssz. | Modell                               | pontosság | precizitás (0) | fedés (0) | precizitás (1) | fedés (1) |
|------|--------------------------------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| 1.   | gradient boosting (n_estimators=100) | 0.77      | 0.79           | 0.88      | 0.69           | 0.55      |
| 2.   | random forest (oversampling)         | 0.77      | 0.82           | 0.83      | 0.66           | 0.64      |
| 3.   | neurális hálózat                     | 0.72      | 0.82           | 0.62      | 0.50           | 0.74      |
| 4.   | XGBoost                              | 0.75      | 0.80           | 0.84      | 0.65           | 0.58      |
| 5.   | XGBoost (custom threshold)           | 0.69      | 0.90           | 0.60      | 0.53           | 0.87      |
| 6.   | random forest                        | 0.79      | 0.81           | 0.88      | 0.74           | 0.63      |
| 7.   | neurális hálózat                     | 0.74      | 0.83           | 0.75      | 0.62           | 0.72      |

1. táblázat, a betanított modellek teljesítményéről (készítette a szerző)

Az 1. táblázatban lévő modellek értékelését a pontosság, precizitás, fedés metrikák alapján végeztem. A modellek pontossága 70% feletti, azonban sokkal érdekesebb mérőszám a precizitás és fedés vagy felidézésnek is nevezett metrika. A precizitás jelentése: a CO-s eseménynek jelzett események közül mennyi a tényleges CO-s esemény. A fedés jelentése: az összes CO-s esemény hány százalékát találja meg a modell.

$$\text{pontosság} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$$

$$\text{precizitás} = \frac{TP}{TP+FP}$$

$$\text{fedés} = \frac{TP}{TP+FN}$$

6. ábra a használt metrikák definíciója (készítette a szerző)

A 6. ábrán látható a felhasznált metrikák számítási módja, ahol a statisztikában használatos jelölések szerint TP: True Positive (valós pozitív), TN: True Negative (valós negatív), FP: False Positive (hamis pozitív), FN: False Negative (hamis negatív). A modellek precizitása a 0-ás osztály (nincs CO szivárgás) tekintetében általában 80% feletti, míg az 1-es osztály (CO szivárgás) tekintetében alacsonyabb, tehát a nem CO-s események előrejelzésében a modell jobb. A fedést vizsgálva szintén a 0-ás osztály eredményei jobbak. A döntési határt eltolva, mint az 1. táblázatban feltüntetett 5. modell esetében elérhető, hogy a modell a CO-s események 87%-át megtalálja, azonban ezt a precizitás kárára teszi, azaz sokkal több hamis pozitív előrejelzést generál, azaz a téves riasztások száma, amikor a modell tévesen CO-s eseményt jelez, is megemelkedik. Megállapítható, hogy a CO-s eseményeket nagy valószínűséggel előre tudjuk jelezni, azonban viszonylag magas a hamis pozitívok (jelzések) aránya. Ehhez a modell döntési határát, ami alapértelmezésként 0,5 lejjebb kellett állítani 0,3-as értékre, ahol a fenti eredmények adódtak. Itt a döntési határ a modell által előre jelzett CO-s esemény bekövetkezési valószínűségét jelenti. A modell kimenetén a döntési határszám megváltozása befolyásolja a precizitás és fedés metrikákat. A döntési határszám kiválasztásánál azt kell mérlegelni, hogy amennyiben a modell precizitása nagy, a fedése alacsonyabb lesz, vagyis az előre jelzett események nagyobb részt valós CO-s események lesznek, de az alacsony fedés miatt lesz sok olyan valós CO-s esemény, amit a modell nem jelez előre. A döntési határszám csökkentésével a precizitás nő a fedés csökken. A CO-s események előre jelzésénél azonban a fedés fontosabb metrika, hiszen a cél az összes CO-s esemény előrejelzése, de ilyenkor a precizitás viszont csökken, tehát a modell előre jelzi a tényleges CO-s eseményeket, de sok hibás előrejelzést is tesz.

## 9. További lehetőségek

A meteorológiai és egyéb riasztásokhoz, veszélyességi térképekhez hasonlóan, felmerülhet az igény egy CO szivárgás veszélyének előre jelzésére vonatkozó webalkalmazás, mobil applikáció kifejlesztésére. A nyílt égésterű tüzelőberendezések esetén előfordulhatnak olyan időjárási jelenségek, amelyek megnövelik a kockázatát a CO visszaáramlásának valamilyen meglévő műszaki hiba vagy probléma esetén. Ilyen esetekben a megfelelő biztonsági intézkedések alkalmazásával elkerülhető lehet a CO szivárgás, vagy annak hatása mérsékelhető lenne. A modell segítségével automatizáltan létre tudnánk hozni olyan webfelületet, amely meteorológiai előrejelzések és korábbi adatokból betanított modellt felhasználva veszélyességi térképeket jelenít meg. A térképi felület a változó meteorológiai előrejelzések alapján automatikusan frissíthetné a veszélyességi térképet, így tájékoztatást adhatna a lakosság részére. További meteorológiai állomások bevonásával a modell terepi felbontása tovább növelhető, amely pontosabb előrejelzéseket tenne lehetővé. A 1,5 évnyi tanítóadat kiterjesztésével szintén növelni lehetne a modell pontosságát, hiszen a modell a történelmi tényeket tanulja meg és a tanultak alapján általánosít egy jövőbeni helyzetre. A KAP Online adatbázisban gyűjtött helyszíni információkból gépi tanulási módszerek segítségével olyan modellt tudnánk létrehozni amely CO szivárgással kapcsolatos kockázati értéket számolna egy-egy ingatlanhoz. Az így kialakított modell segítségével egy internetes felületen pedig bárki a saját ingatlanjának adataival fel tudná mérni a kockázatokat.

## 4. KÖVETKEZTETÉS

A kutatás a CO mérgezéssel járó káresemények előre jelezhetőségét vizsgálja. A cél a CO-s események okainak azonosítása, az időjárás és más környezeti tényezők hatásának feltárása, valamint egy megelőző figyelmeztető rendszer kidolgozása gépi tanulás segítségével. Évente több mint 1000 CO-val kapcsolatos riasztás érkezik a katasztrófavédelemhez és ezzel összefüggésben átlagosan 11 eseménynél 14 haláleset történik. A CO szivárgás fő indokai: a tüzelő berendezés hibája, karbantartás elmaradása, elégtelen légutánpótlás, azonban a kutatás rávilágít arra, hogy az előzőeken túl kimutathatóan jelentőséggel bírnak az időjárási körülmények is. A kutatás során gépi tanulási algoritmusokat (pl. Random Forest, Gradient Boosting) használtam a CO-események előre jelzésére. A modelleket valós múltbeli CO érzékelők által jelzett CO-s eseményeken tanítottam.

Az eredmények igazolták azt a feltevésemet, hogy a műszaki problémák az időjárással együtt komplex módon befolyásolják a CO-s események létrejöttét és megfelelő módszerek kiválasztásával azok előre jelezhetőek. Az előrejelzést komplex módon kell értelmezni, azaz ha van valamilyen műszaki meghibásodás vagy probléma, az adott időjárási helyzettel együtt milyen CO szivárgási kockázatot jelent. Az előrejelzések pontossága 70% feletti volt. Ezeket az eredményeket felhasználva javaslatot tettem egy veszélyességi térkép kialakítására annak érdekében, hogy a lakosság számára ezek a veszélyek megismerhetőek legyenek. A legnagyobb biztonságot továbbra is a CO érzékelők jelentik, hiszen ezek objektív méréseken alapuló riasztást generálnak.

## 5. RÖVIDÍTÉSEK ÉS IDEGEN KIFEJEZÉSEK JEGYZÉKE

1. **Accuracy / Pontosság** – Az összes és a helyesen előre jelzett események aránya.
2. **API** – *Application Programming Interface*: Alkalmazásprogramozási felület, szoftverek közötti adatkapcsolatot biztosít.
3. **Binary classification / Bináris osztályozás** – Gépi tanulási feladat, amely két kimeneti osztály (pl. esemény / nem esemény) közötti döntést hoz.
4. **Colab** – *Google Colaboratory*: Ingyenes online környezet Python futtatására.
5. **EOV** – *Egységes Országos Vetületi rendszer*: Magyarországon használt térképészeti koordinátarendszer.
6. **FN** – *False Negative*: Hamis negatív – elmaradt riasztás.
7. **FP** – *False Positive*: Hamis pozitív – téves riasztás.
8. **Gradient Boosting**: Gépi tanulási technika, amely fokozatosan tanul a korábban elkövetett hibákból.
9. **KAP** – *Katasztrófavédelmi Adatszolgáltató Program*: A katasztrófavédelem belső adatgyűjtő rendszere.
10. **Neural Network**: – *Neurális hálózat*: Gépi tanulási modell, amely az emberi agy működését utánozza.
11. **Point-biserial correlation** – Kétváltozós korrelációtípus, amelyet folytonos és bináris változók kapcsolatának vizsgálatára használnak.
12. **Precision / Precizitás** – Az előrejelzett pozitív találatok közül mennyi a valódi pozitív.
13. **Random Forest**: Gépi tanulási algoritmus, amely döntési fák együttese.
14. **Recall / Fedés** – Az összes valódi pozitív közül mennyit talált meg a modell.
15. **Scikit Learn**: – Python nyelvhez tartozó nyílt forráskódú gépi tanulási könyvtár.
16. **SHAP** – *SHapley Additive exPlanations*: A gépi tanulási modellek döntéseinek értelmezésére szolgáló módszer.
17. **TensorFlow**: – Nyílt forráskódú szoftverkönyvtár mesterséges intelligencia modellek építésére.
18. **Threshold / Döntési küszöb** – Az a határérték, amely felett egy osztályozó modell pozitívként jelzi az eseményt.
19. **TMMJ** – *Tűzeseti Műszaki Mentési Jelentés*: A katasztrófavédelem által készített tűzeseti vagy műszaki mentési adatlap.
20. **TN** – *True Negative*: Valós negatív találat.
21. **TP** – *True Positive*: Valós pozitív találat egy előrejelzési modellben.
22. **Training set / Tanítóhalmaz** – Az a része az adatoknak, amelyet a modell tanulásra használ.
23. **Validation set / Validációs halmaz** – Az adatok azon része, amellyel a modell teljesítményét ellenőrzik.
24. **XGBoost**: Gépi tanulási technika, amely fokozatosan tanul a korábban elkövetett hibákból.

## 6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] KAP, „Katasztrófavédelmi Adatszolgáltató Program,” Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, 2024.
- [2] J. J. Rose, L. Wang, Q. Xu, F. C. McTiernan, S. Shiva, J. Tejero, T. M. Gladwin, „Carbon Monoxide Poisoning: Pathogenesis, Management, and Future Directions of Therapy,” *American journal of respiratory and critical care medicine*, pp. 596–606, 2017. [Online]. Elérhetőség: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27753502/> (2025.03.16.)
- [3] BM OKF, „A szén-monoxid-mérgezés megelőzhető!” 2024. [Online]. Elérhetőség: <https://katasztrofavedelem.hu/329/a-szen-monoxid-mergezes-megelőzhető> (2025.03.16.)
- [4] H. L. Ruan, W-S. Deng, Y. Wang, J-B. Chen, W-L. Hong, S-S. Ye, Z-J. Hu „Carbon monoxide poisoning: a prediction model using meteorological factors and air pollutant,” *BMC proceedings*, 15(Suppl 1), 2021. [Online]. Elérhetőség: <https://bmcproc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12919-021-00206-7> (2025.03.16.)
- [5] C-H. Wang, S-C. Shao, K-C. Chang, M-J. Hung, C-C. Yang, S-C. Liao „Quantifying the Effects of Climate Factors on Carbon Monoxide Poisoning: A Retrospective Study in Taiwan,” *Frontiers in Public Health*, 2021. [Online]. Elérhetőség: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34722435/> (2025.03.16.)
- [6] Leikauf P., *Tűzeléstechnikai elméleti ismeretek gyakorlati alkalmazása a kéményseprő-ipari tevékenységekben.*, 2021.
- [7] S. Sridharan, S. Mangalam „Carbon monoxide risks and implications on maintenance-intensive fuel-burning appliances — A regulatory perspective,” *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 2017. [Online]. Elérhetőség: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7889726> (2025.03.16.)
- [8] R. Andrzejczyk, „Analysis of the Year-Round Operation of Enhanced Natural Ventilation Systems under Transient Weather Conditions in Europe,” *Energies*, 2024. [Online]. Elérhetőség: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/15/3795> (2025.03.16.)
- [9] Farkas J., Huszár T., Kocsis K., Leikauf T., Kéményseprő-ipari szakmai ismeret tansegédlet, Budapest: Katasztrófavédelmi Oktatási Központ, 2018. [Online]. Elérhetőség: [https://bmkszf.hu/dokumentum/2543/KEMENYSEPROIPARI\\_SZAKMAI\\_ISMERET\\_TANSEGEDLETi.pdf](https://bmkszf.hu/dokumentum/2543/KEMENYSEPROIPARI_SZAKMAI_ISMERET_TANSEGEDLETi.pdf) (2025.03.18.)
- [10] G. V. Fracastoro & M. Masoero, „Air Infiltration induced by Heating Appliances.” 1988. [Online]. Elérhetőség: [https://www.aivc.org/sites/default/files/AIVC\\_1988\\_CP09\\_Vol1.pdf](https://www.aivc.org/sites/default/files/AIVC_1988_CP09_Vol1.pdf) (2025.03.18.)
- [11] V. Leblanc & M. A. A. Cox, „Interpretation of the point-biserial correlation coefficient in the context of a school examination,” *The Quantitative Methods for Psychology*. 13., pp. 46-56., 2017. [Online]. Elérhetőség: <https://www.tqmp.org/RegularArticles/vol13-1/p046/p046.pdf> (2025.03.18.)
- [12] M. A. Nikitina. & I. M. Chernuka, „Nonparametric statistics. Part 3. Correlation coefficients,” *Theory and practice of meat processing*, 2023. [Online]. Elérhetőség: <https://www.meatjournal.ru/jour/article/view/286> (2025.03.18.)
- [13] L. Breiman, „Random Forests,” *Machine Learning* 45 „, p. 5–32, 2001. [Online]. Elérhetőség: [https://www.researchgate.net/publication/275342330\\_Random\\_Forests](https://www.researchgate.net/publication/275342330_Random_Forests) (2025.03.18.)

- [14] Z. He, D. Lin, T. Lau, M. Wu, „Gradient Boosting Machine: A Survey,” 2019. [Online]. Elérhetőség: <https://arxiv.org/abs/1908.06951> (2025.03.18.)
- [15] T. Chen, C. Guestrin, „XGBoost: A Scalable Tree Boosting System,” *In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, p. pp. 785–794, 2016. ” [Online]. Elérhetőség: <https://arxiv.org/abs/1603.02754> (2025.03.18.)
- [16] J. Schmidhuber, „Deep learning in neural networks: An overview,” *Neural Networks* , 61, p. pp. 85–117., 2015. [Online]. Elérhetőség: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S08933608014002135> (2025.03.18.)
- [17] S. Lundberg, S-I. Lee, „A Unified Approach to Interpreting Model Predictions,” *Advances in Neural Information Processing Systems* 30, pp. pp. 4765--4774, 2017. [Online]. Elérhetőség: <https://arxiv.org/abs/1705.07874> (2025.03.18.)
- [18] M. C. Iban, O. Aksu, „SHAP-Driven Explainable Artificial Intelligence Framework for Wildfire Susceptibility Mapping Using MODIS Active Fire Pixels: An In-Depth Interpretation of Contributing Factors in Izmir,” *Türkiye. Remote. Sens.*, 16, 2842., 2024. [Online]. Elérhetőség: <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/15/2842> (2025.03.18.)
- [19] Szinell Cs., Merza Á., „Meteorológiai alapismeretek,” 1999. [Online]. Available: [Online]. Elérhetőség: <https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/meteor.pdf> (2025.03.20)

# Idősek tűzbiztos viselkedésének hollandiai tapasztalatai

## Dutch experiences of fire safety behaviour of elderly people

---

Barta-Vámos László  
Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság,  
Tűzvédelmi Főosztály  
Email: laszlo.barta-vamos@katved.gov.hu

---

### Absztrakt:

A cikk egy holland, az idősek tűzbiztos viselkedésének kutatásának értékelésével, és néhány magyar, az állampolgárok tűzvédelmi ismereteivel kapcsolatos felméréssel foglalkozik. A holland kutatás néhány eredménye alapján a cikk javaslatot tartalmaz arra, hogyan lehetne Magyarországon a tűz megelőzési tevékenységet hatékonyabbá tenni.

Kulcsszavak: tűz megelőzés, tűzbiztonság, tűzvédelem, holland, tűzbiztos viselkedés

### Abstract:

The article evaluates a Dutch study on the fire safety behavior of elderly people and introduce some Hungarian surveys on the fire safety knowledge of citizens. Based on some of the results of the Dutch study, the article contains suggestions on how fire prevention activities in Hungary could be made more effective.

Keywords: fire prevention, fire safety, fire protection, Dutch, fire safety behavior

## 1. BEVEZETÉS

A tüzesetek minden évben jelentős károkat okoznak, emberi életben, az emberek testi épségében, és az anyagi javakban. A tüzeseteket nagymértékben az emberi gondatlanság, figyelmetlenség, vagy szándékosság okozza, ritka az emberi tényezőn kívüli tűzkeletkezési ok (például: villámcsapás, öngyulladás). Tekintettel arra, hogy a tüzesetek jelentős százalékban emberi tevékenységre vezethetők vissza, fontos ez ellen tenni. Meg kell vizsgálni, hogy az emberek mely csoportja, mely korosztálya a leginkább veszélyeztetett, és kik vannak a leginkább kitéve a tűz és annak hatásai kockázatának. A témában néhány hónappal ezelőtt már született egy cikk, „*A halálos tüzesetek számának csökkentése és a kritikus kockázati csoportok védelme egyszerűsített tűzkockázat-elemzése*” [1] címmel. A szerzők öt év statisztikai adatainak elemzése alapján megfogalmazták, hogy Magyarországon kik a leginkább veszélyeztetettek a halálos tüzesetek szempontjából. Az ő tájékoztatásukra kell a legtöbb figyelmet fordítani a halálos tüzesetek számának csökkentése érdekében. A Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, illetve a szervezetében működő Országos Tűzmeelőzési Bizottság, valamint a területi tűzmeelőzési bizottságok – a lehetőségekhez képest – mindent megtesznek a tűzmeelőzési tevékenységük során, hogy megszólítsák a legveszélyeztetettebb társadalmi csoportot.

A magyarországi viszonyok, a tűzmeelőzési tevékenységet végző szervezetek támogatása, a tevékenységük fejlesztése, a veszélyeztetett célcsoport hatékonyabb elérése érdekében érdemes külföldi tapasztalatok, kutatási eredmények bemutatása, lehetőség szerinti adaptálása. Először több ország adatait, kutatásait gondoltam megvizsgálni és bemutatni, azonban találtam egy olyan holland disszertációt, amelynek kutatási módszereit, megállapításait, és javaslatait önmagában is bemutatásra érdemesnek találtam. Ebből a tudományos anyagból osztok meg néhány lényeges, Magyarországon is – országos, vagy helyi szinten – hasznosítható gondolatot.

## 2. TŰZBIZTOS VISELKEDÉSSSEL KAPCSOLATOS KUTATÁSOK

Mielőtt bemutatom a holland kutatás eredményeit, tapasztalatait, érdemes megismerni a magyarországi helyzetet, a tűzkockázatnak leginkább kitétt korosztályt, a tűzkár statisztikai adatok alapján. 2019-2023 statisztikai adataiból megállapítható, hogy évente átlagosan 25.357 tüzeset keletkezett, melyek 27 százaléka (6873 tüzeset) otthon jellegű létesítményben (lakásban) történt. A halálos áldozatot követelő tüzesetek (átlagosan évente 117 fő) közel 80 százalékban otthon jellegű létesítményben (átlagosan évente 94 fő) keletkeztek. [1, p. 312.] A társadalmi réteget, illetve a tűzhalottak körülményeit vizsgálva megállapítható, hogy a *statisztika szerint az érintettek többségében 50 év feletti férfiak, mentális, alkohol- vagy drogproblémákkal küzdők, gondozásra és felügyeletre szoruló idős személyek, illetve fogyatékkal élők vagy hajléktalanok alkotják a tűzhalál kritikus kockázati csoportját*. [1, p. 308.] Tíz halálos tüzesetből nyolc-kilenc alkalommal 50 év feletti az elhunyt áldozat. [1, p. 313.]

### 1.1 Néhány adat Hollandiáról

Hollandia egy 37.391 km<sup>2</sup> területen elhelyezkedő 17.942.942 fős európai ország, Magyarország területének (93.012 km<sup>2</sup>) harmadán, közel kétszer annyi ember él (9.584.627 fő élt Magyarországon a forrás szerint). [1] Az európai országok többségéhez hasonlóan Hollandia népessége is idősödik, várható, hogy a 2022. évi 20,1 százalékhoz képest (~3.606.531 fő), 2040-re a népesség 25 százaléka lesz 65 év fölött. [2, p. 11.]

### 1.2 A holland kutatás

Az idősek körében végzett felmérésen alapuló holland kutatás eredményeit veszem górcső alá, majd bemutatom esetleges magyarországi hasznosíthatóságát.

A holland kutatást Margo Karemaker, Soha nem vagy túl öreg tanulni: egy otthoni tűzbiztos beavatkozás kidolgozása idősebb felnőttek részére Beavatkozás Feltérképezés használatával (Never too old to learn: developing a home fire-safety intervention for older adults using Intervention Mapping) című disszertációja tartalmazza. Egy 42 kérdésből álló kérdőívet használtak a tűzbiztos viselkedés társadalom tudatos tényezőinek mérésére, melyet 4414 idősebb felnőtt töltött ki. [3, p. 46.]

A statisztikai adatok alapján, Hollandiában, a 65 év feletti felnőttek túlerepresentáltak a halálos kimenetelű lakástüzekben. Például 2022-ben Hollandiában a lakosság 20,1 százaléka volt 65 éves vagy annál idősebb, azonban a halálos háztartási tüzek áldozatainak 50 százaléka ebből a korosztályból származott. Az idősek halálozási aránya az életkorral még jobban nő, és a kockázat is több mint háromszorosa 85 éves vagy idősebb korban a 65 évnél fiatalabbakhoz képest. Hollandiában a korhoz az olyan gyakori halálos kimenetelű tüzesetek köthetők, mint a ruházat meggyulladása, a bútorok cigarettázás miatti meggyulladása, műszaki hiba, figyelmetlenség sütés-főzés közben, és szándékosan gyújtott tüzek (beleértve a kandallókat is). Emellett fennáll a nem halálos sérülések kockázata is az életkor növekedésével. [3, p. 8.]

Számos tényező magyarázza, hogy az idősebb felnőttek miért válnak nagyobb eséllyel lakástüzek áldozatává. Először is, az idősebb felnőttek nagyobb eséllyel gyújtanak olyan tüzet, amelynek nem ismerik fel a saját magukra jelentett veszélyét, vagy nem tudják pontosan, hogyan reagáljanak a tűzre. Másodszor, az olyan tényezők, mint a fizikai és kognitív hanyatlás, a csökkent információfeldolgozási képesség, a mozgáskorlátozottság, a mentális zavarok és a lényeges információk kihagyása, tovább növelik a tüzesetek bekövetkezési valószínűségét. Az idősebb felnőtteknél a tűz okozta sérülések megnövekedett kockázatához hozzájáruló egyéb tényezők közé tartoznak az olyan fiziológiai változások, mint a látásélesség csökkenése, a bőr elvékonyodása és a gyógyszerek alkalmazása. Ezek a fiziológiai változások gátolhatják éberségüket és reagáló képességüket a tűzzel kapcsolatos vészhelyzetekben. [3, p. 8.]

A disszertáció készítői végeztek egy felmérést is, amely azt mutatta, hogy az idősek korlátozott ismeretekkel rendelkeznek az otthoni tűzbiztonságról. Tudásuk leginkább a tűz forrására vagy a tűz keletkezésének pillanatára irányul. Tesznek azonban megelőző intézkedéseket füstérzékelő felszerelésével és a menekülési útvonalak tervezésével. Ezenkívül a felmérés azt is megmutatta, hogy a tűzbiztonság javítását célzó beavatkozás kidolgozásakor fontos szem előtt tartani, hogy a célcsoport, mely érdekelt feleket tekint megfizethetőnek. Úgy tűnt, hogy az idősek előnyben részesítik a tűzoltóságot, a tűzoltókat a tűzbiztonsággal kapcsolatos információk megosztásában, befogadásában. A kockázat észlelése, a saját hatékonyság, a szokások és az észlelt akadályok befolyásolják az idősek tűzbiztos viselkedését. Az idősek alacsony kockázatúnak ítélik meg egy lakástűz bekövetkezését, és bíznak abban, hogy képesek fellépni tűz esetén. [3, p. 39.]

A tűzbiztos viselkedés 42 kérdéses kérdőívéből egy ötös kérdéscsoportot emeltem ki, mely a tűz megelőzéshez kapcsolódó tűzbiztos viselkedéseket vizsgál. A tűzbiztos viselkedéssel összefüggésben, korábbi tanulmány és a holland tűzvédelmi régiókból rendelkezésre álló adatok alapján, a leggyakoribb hollandiai tűz okok miatt, a leggyakoribb tűzbiztos viselkedés öt típusával kapcsolatos alábbi kérdést tették fel, melyre egy öt fokozatú skálán lehetett válaszolni (1=soha, 5=mindig értékkel):

- 1) a konyhában tartózkodik sütés-főzés közben,
- 2) több elosztót csatlakoztat egymáshoz,
- 3) telefon, iPad, elektromos kerékpár, vagy elektromos roller töltését kizárólag napközben végzi,
- 4) a ruhaszárító gép szűrőjét minden használat után kitisztítja, és
- 5) nem dohányzik a lakásban.

A legtöbb válaszadó nem tapasztalt tüzet saját otthonában, és nem ismert senkit, akinek tűz lett volna az otthonában (77%). A legtöbb válaszadó azt is megjegyezte, hogy rendelkezik füstérzékelővel az otthonában (83%), vagy tűz esetén ismeri a menekülési útvonalat az otthonából (95%). [3, p. 54.]

A legtöbb válaszadó arról számolt be, hogy tűzbiztos viselkedést tanúsított otthonában. Különösen egy elosztó egyidejű használatával (4,24-es érték) és a ruhaszáritó szőszszűrőjének minden ciklus utáni tisztításával (4,22-es érték) kapcsolatban adták a válaszadók a „gyakran” vagy „mindig” értéket. Azonban az eredmények összességében azt mutatták, hogy van még min javítani a tűzbiztos viselkedés fejlesztésében, főleg a házban való dohányzás (3,02-es érték), az elektromos berendezések napközbeni töltése (3,71-es érték) és a sütés-főzés közben a konyhában való tartózkodás (3,88-as érték) esetén. [3, p. 56]

A felmérés eredményei – a pozitív viselkedésen felül – azt is kimutatták, hogy az idősebb felnőttek nem érezték magukat érzékenynek a lakossági tüzek kockázatára. A kutatásból azt a következtetést is levonták, hogy a tűzbiztos viselkedést meghatározza az észlelt viselkedéskontroll, az attitűd és a reagálási hatékonyság. Ezen túlmenően a kutatás kimutatta, hogy az idősebb felnőttek a segítségnyújtásokat, azokat az embereket, akik maguk is átéltek lakástüzet, az önkormányzatot és a lakásfenntartó cégeket szintén megbízható kommunikációs forrásként tekintik az otthoni tűz megelőzés vonatkozásában. Az eredmények azt sugallják, hogy az észlelt viselkedéskontroll, attitűd és reagálási hatékonyság olyan fontos tényezők, amelyekre meg kell próbálni célozni és hatást gyakorolni a jövőbeni tűzvédelmi tájékoztatások során, amelyek elősegíthetik az idősebb felnőttek tűzbiztos viselkedésének fejlődését. [3, p. 46]

A kutatás eredményeként javasolják a Tűzbiztonság otthon (Fire Safety at Home) program szisztematikus fejlesztését. A javasolt figyelemfelhívás kifejezetten a tűzbiztos viselkedés előmozdítását célozza a főzéssel, az elosztók használatával, az elektronikus eszközök töltésével, a szárító szőszszűrőjének tisztításával, valamint a benti dohányzás korlátozásával, melyekkel a mögöttes társadalmi tudatos tényezők változtatásán dolgoznak. [3, p. 123.]

A „Tűzbiztonság otthon program” egy 15 perces általános bevezetővel kezdődik, amely felvázolja a program felépítését és kiemeli a tűzbiztonság témáját. Ezután a résztvevőket három csoportra osztják, mindegyiket különböző helyiségekbe osztják, ahol olyan tevékenységeket folytatnak, amelyek célja a tűzbiztos magatartás megértése és gyakorlása. 25 perc elteltével a csoportok körbejárják a szobákat. A három terem mindegyikének látogatása után minden résztvevő összegyűlik egy általános tárgyalóteremben, ahol átfogó megbeszélést folytatnak a programmal kapcsolatos tapasztalataikról és gyakorlati lépéseikről az otthoni tűzbiztonság javítása érdekében. A találkozó végén a résztvevők egy szórólapot kapnak, amely összefoglalja a programot és tanácsokat ad az otthoni tűzbiztos magatartás javításához, illetve megkapják a kutatócsoport elérhetőségeit, ha kérdéseik lennének a programmal kapcsolatban, valamint helyet a személyes megjegyzések és a megvalósítási szándékok feljegyzésére. A „Tűzbiztonság otthon program” keretében a „Beavatkozás Feltérképezéssel” arra törekedtek, hogy növeljék annak valószínűségét, hogy a program eredményes végrehajtást követően hatékonyan előmozdítja a tűzbiztos magatartás fejlődését. [3, p. 123.]

### 3. Magyar kutatások

A Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (továbbiakban: BM OKF) megrendelésére a Századvég Politikai Iskola Alapítvány 2019-ben készített egy „*Az állampolgárok tűzvédelmi tudatosságának felmérése című közvélemény-kutatás részletes elemzése*” című iratot [2, p. 21.] illetve 2022-ben a füstmentes.hu, a Magyar Tűzoltó Szövetség (MTSZ), valamint a Magyar Biztosítók Szövetsége (MABISZ) közös kezdeményezésére is történt egy a lakosság tűzbiztonsággal kapcsolatos ismereteit felmérő országos kutatás. [2]

Az állampolgárok az Országos Tűzmelegelőzési Bizottság honlapján is tesztelhetik tudásukat, melyet a BM OKF Tűzvédelmi Főosztály munkatársai évenként értékelnek.

Mindezekon túl, a BM OKF gyűjti a tűzoltói beavatkozások adatait, különös tekintettel a halálos tüzesetekre, és értékeli, elemzi azokat. Sajnos Magyarországon nincsenek olyan kutatási programok, amelyek az állampolgárok tűzbiztos viselkedését tanulmányozzák, mint Hollandiában. A „Technológiával a Füstmentes Otthonokért!” kampány keretében készült országos reprezentatív kutatás eredményeként megjelent, hogy a 18-70 évesek magyarok jól érzékelik, mi vezethet az otthonok kigyulladásához, de mégsem tesznek meg mindent azért, hogy elkerüljék a baleseteket. A válaszadók 86 százaléka szerint a nyílt láng használatára kell leginkább odafigyelni a tüzesetek megelőzése érdekében. A válaszadók 69 százaléka említette meg az elektromos eszközöket kockázati forrásként. A megkérdezettek 25 százaléka dohányzott, azonban a válaszadók 98 százaléka fel tudott sorolni valamilyen dohányzással kapcsolatos veszélyt, legtöbbször a dohányzás közbeni elalvást, vagy az ágyban dohányzást. Az elméleti tudás és a gyakorlati cselekvés között nagy eltérést tártak fel. Bár tízből nyolcan tisztában voltak vele, hogy a füst életet is veszélyeztethet, mégis csupán tízből négy otthonban volt szén-monoxid, illetve tízből mindössze egy otthonban volt hő- és füstérzékelő berendezés. [5]

### 3. KÖVETKEZTETÉS

A holland kutatás rámutat arra, hogy milyen mélységében, részletességében lehet vizsgálni az emberek (tűzbiztos) viselkedését a tüzesetek megelőzésével összefüggésben. Olyan emberi tulajdonságokat, nézőpontokat, gondolkodásmódot vizsgáltak, amelyekben hatás gyakorlásával, figyelemfelhívással lehet a tűzbiztonság szintjének javítása irányába eredményeket elérni. Ehhez létrehoztak egy „Tűzbiztonság otthon programot”, mely „Beavatkozás Feltérképezésen” alapul, és gyakorlati módszerekkel hívja fel az emberek figyelmét otthonuk tűzbiztonságának javítására. Magyarországon akár a hivatásos katasztrófavédelmi szervek, akár közvéleménykutatással foglalkozó szervezetek (tűzvédelmi szakemberek által összeállított kérdések alapján) lokális, vármegyei, vagy országos szinten néhány egyszerű kérdés segítségével fel tudnák térképezni az emberek tűzvédelmi tudatosságát, hogy mennyire tűzbiztos a viselkedésük saját otthonukban. Ehhez első sorban javasolt megvizsgálni a magyarországi fő lakástűz keletkezési okokat, esetlegesen az új technológiákból (lítium-ion akkumulátorok töltése) származó kockázatokat, és a holland felméréshez hasonlóan, meghatározni egy öt szintű skálán a megválaszolendő kérdéseket. A felmérésnek javasolt időkeret is adni. Egy közvéleménykutatást végző szervezet valószínű, hogy egységnyi idő alatt hatékonyabban, módszertan szempontjából megalapozottabban tud elvégezni egy felmérést, mint a hivatásos katasztrófavédelmi szervek, a jogszabályban rögzített feladatok ellátásának biztosítása miatt. Amennyiben a kérdőív főleg az idősebb, egyedülálló embereket szólítaná meg, a kitöltés elősegítéséhez fel lehetne használni a szociális tevékenységet végző falugondnoki, karitatív szervezeteket, önkormányzatokat. A kutatás eredményei alapján a hivatásos katasztrófavédelmi szervek hatékonyabban tudnák koordinálni a tűzmeelőzési tevékenységet, célzottabb kommunikációt tudnának folytatni adott rétegek, köztük a tűzkockázatnak, a halálos tüzesetek kockázatának leginkább kitett emberek irányába. A felmérés eredményétől függően akár a politikai döntéshozatal felé is lehetne javaslatot tenni a tüzesetek visszaszorítása, a tűzmeelőzési tevékenység támogatása, magyarországi „Tűzbiztonság otthon program” elindítása érdekében.

### Összegzés

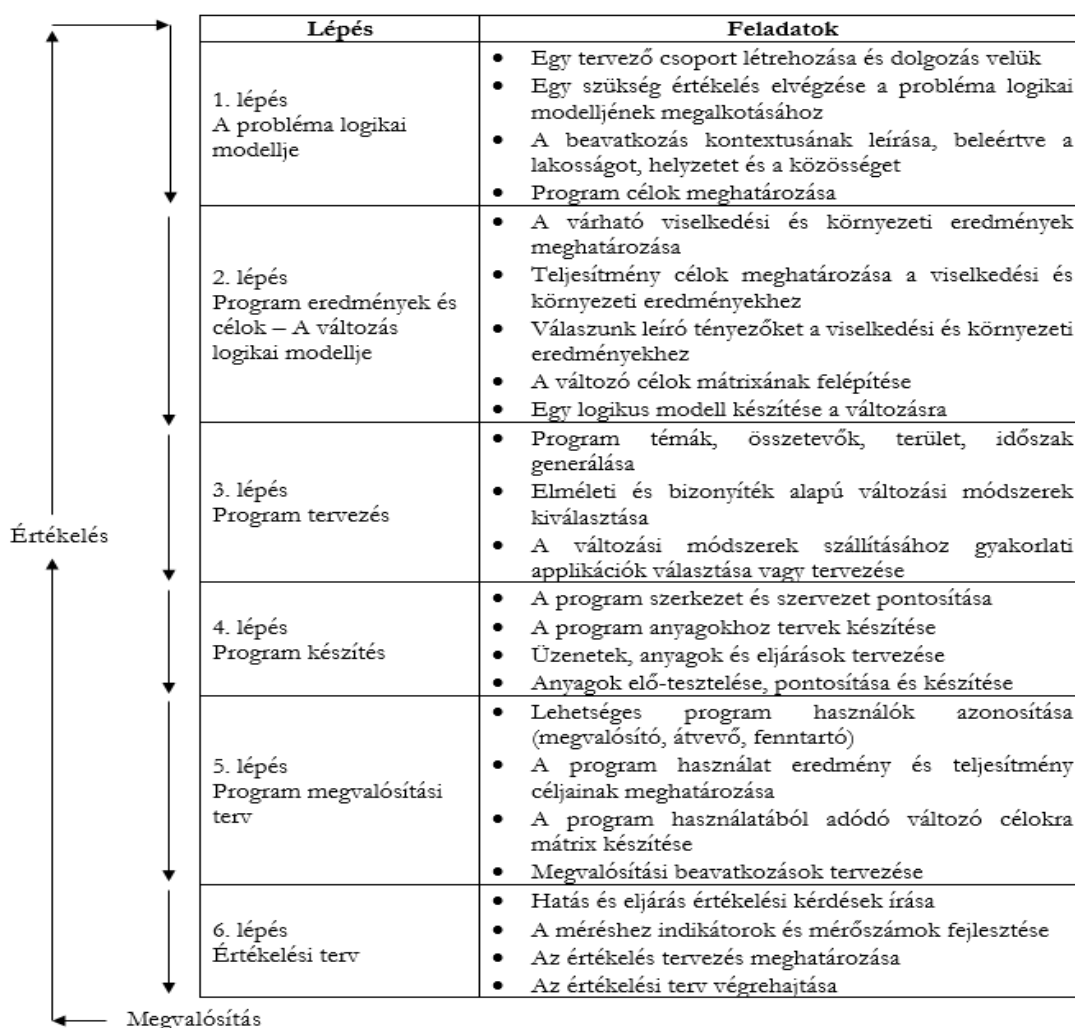
A tüzesetek célirányos, megalapozott meelőzése érdekében javasolt feltérképezni, hogy az emberek – főleg a kockázatnak leginkább kitett csoport – tűzbiztonsággal kapcsolatos gondolkodása milyen, viselkedése tűz esetén hogyan alakulhat. A feltérképezéshez jó példát mutat a holland disszertáció, amelyet szükség szerinti részletességgel fel lehet használni a tűzbiztonság feltérképezéséhez, az emberek tűzbiztos viselkedésének felméréséhez szükséges kérdések megfogalmazásához. A felmérést követően konkrét – akár projekt keretében, más országgal közösen megvalósítható – programot (tűzbiztonság otthon) is lehetne indítani a tüzesetek csökkentése érdekében.

Egy megfelelően előkészített, társadalmi kutatáson, felmérésen alapuló program hatékonyan hozzájárulhat az emberi gondatlanság, oda nem figyelés miatt keletkező tüzesetek megelőzéséhez, a sérülések, halálesetek számának csökkenéséhez. A hivatásos katasztrófavédelmi szervek, illetve a szervezetükben működő tűzmegelőzési bizottságok hatékonyabban tudnák tűzmegelőzési tájékoztatási tevékenységüket végezni, és Magyarország tűzbiztonsági helyzetét javítani.

#### 4. MELLÉKLETEK

##### Fogalommagyarázat

**„Beavatkozás Feltérképezés” (Intervention Mapping (IM)):** Egy szisztematikus megközelítéssel kidolgozott beavatkozás várhatóan jobb eredményekhez vezet, ezért az IM protokollt használták a „Tűzbiztonság otthon program” kidolgozásához. Az IM hat lépést ír le az elméleten és bizonyítékokon alapuló beavatkozás kifejlesztéséhez, miközben a programtervezésben részt vesz a részvételen alapuló megközelítésben. Minden lépés több feladatból áll, és ezek elvégzése egy alapot hoz létre, amely útmutató a következő lépéshez. Mind a hat lépés együttesen létrehoz egy tervet a beavatkozás tervezésére, végrehajtására és értékelésére, elméleti, empirikus és gyakorlati információk alapján. Ezen túlmenően az IM specifikus eljárásokat biztosít a tevékenységek tervezéséhez, és segíthet az elméleti alapú determinánsok és a változtatások megfelelő módszereinek egyeztetésében. [3, p. 82]



1. ábra, A beavatkozás feltérképezésének hat lépése, (Forrás: ld. [3, p. 15])

## 5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Hábermayer T., Varga I., Kricskovics A., Vénosz M. „A halálos tüzesetek számának csökkentése és a kritikus kockázati csoportok védelme egyszerűsített tűzkockázat-elemzéssel”, *Scientia et Securitas*, 2024, 5. évfolyam 3. szám, pp 308–322 Elérhetőség: <https://akjournals.com/view/journals/112/5/3/article-p308.xml> (2025.03.07.)
- [2] Az EU országai, „Hollandia”, Elérhetőség: [https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/eu-countries/netherlands\\_hu](https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/eu-countries/netherlands_hu) (2025.03.07.)
- [3] M. Karemaker, „Never too old to learn: developing a home fire-safety intervention for older adults using Intervention Mapping”, *Maastricht University*, 2024, pp 149 Elérhetőség: <https://cris.maastrichtuniversity.nl/en/publications/never-too-old-to-learn-developing-a-home-fire-safety-intervention> (2025.03.07.)
- [4] Századvég Politikai Iskola Alapítvány, „Az állampolgárok tűzvédelmi tudatosságának felmérése című közvélemény-kutatás részletes elemzése”, 2019, 21 p.
- [5] Magyar Biztosítók Szövetsége, „Az otthoni tüzesetek túlnyomó része megelőzhető lenne, csak a megfelelő tudás és a technológiák ismerete hiányzik”, Elérhetőség: <https://mabisz.hu/az-otthoni-tuzesetek-tulnyomo-resze-megelőzhető-lenne-csak-a-megfelelo-tudas-es-a-technologiak-ismerete-hianyzik/> (2025.03.07.)

# Rendkívüli események kezelését célzó külföldi projektek és informatikai fejlesztések bemutatása

## I. rész: az FSX Magnitude határokon átnyúló gyakorlat (2024. október 24-27., Baden-Württemberg, Németország)

### Presentation of foreign projects and IT developments aimed at managing extraordinary events Part I: the FSX Magnitude Cross-Border Exercise (October 24-27, 2024, Baden-Württemberg, Germany)

---

Dsupin Gyula tű. alezredes  
polgári védelmi főfelügyelő  
Borsod-Abaúj-Zemplén Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság  
Email: Gyula.Dsupin@katved.gov.hu  
ORCID: 0009 0005 9512 4026 

---

#### Absztrakt:

A cikksorozattal rendkívüli káresemények külföldi kezelését és az ott fejlesztett beavatkozásokat támogató alkalmazásokat szeretném bemutatni. Az első ilyen programmal 2024. év végén a németországi MAGNITUDE gyakorlat alkalmával volt lehetőségem megismerkedni a szervezők, a beavatkozók, illetve a nemzetközi segítségnyújtásban résztvevők szemszögéből. A gyakorlat egy olyan összetett projekt volt, amit az Európai Unió 2023. évi költségvetés keretében finanszíroztak. A Német Belügyminisztérium által koordinált Knowledge for Action in Prevention and Prededness (KAPP) felhívás a belügyi ágazati digitalizáció és az önkormányzati célok miatt Baden - Württemberg tartományba, az alábbi konzorciumi partnerekkel valósult meg:

- Szövetségi Belügyminisztérium BMI (Ausztria),
- Resilience Solutions International (Ausztria),
- Hochschule Furtwangen University (Németország),
- Münchener Bundeswehr Egyetem (Németország),
- Polgári Védelmi Főtitkárság (Görögország),

Svájc társult partnerként a Szövetségi Polgári Védelmi Hivatalon keresztül, továbbá Franciaország és Németország szövetségi szinten a helyi hatóságok, mentőerők és önkéntes segítségnyújtó szervezetek bevonásával vett részt a határokon átnyúló földrengés utáni kárfelszámolást célzó gyakorlat végrehajtásában.

Kulcsszavak: projekt, Baden-Württemberg, KAPP, MAGNITUDE, digitalizáció

#### Abstract:

With this series of articles, I would like to present the management of extraordinary damage events abroad and the applications that support interventions developed there. I had the opportunity to get acquainted with the first such program at the end of 2024 during the MAGNITUDE exercise in Germany from the perspective of the organizers, the interveners and those involved in international assistance. The exercise was a complex project funded under the 2023 budget of the European Union. The Knowledge for Action in Prevention and Prededness (KAPP) call coordinated by the German Ministry of the Interior was implemented in the state of Baden-Württemberg with the following consortium partners for the digitalization of the interior sector and local government goals:

- Federal Ministry of the Interior BMI (Austria),
- Resilience Solutions International (Austria),
- Hochschule Furtwangen University (Germany),
- Bundeswehr University Munich (Germany),
- General Secretariat for Civil Protection (Greece),

Switzerland as an associated partner through the Federal Civil Protection Office, and France and Germany participated in the implementation at federal level with the involvement of local authorities, rescue forces and voluntary aid organizations.

Keywords: project, Baden-Württemberg, KAPP, MAGNITUDE, digitalization,

## 1. BEVEZETÉS

2024. október 24-27. között a Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság képviseletében, EU Megfigyelői program keretében részt vettem Németország, Ausztria, Franciaország és Svájc által közösen szervezett Full Scale Exercise Magnitude (teljes körű komplex földrengés kárfelszámolási) gyakorlaton. A forgatókönyv szerint egy hatalmas, 6,9-es erősségű, 19 km-es földrengés történt a Felső-Rajna régióban, amelynek epicentruma Karlsruhe városa közelében volt található. A város központja, valamint a régió több városa is erősen érintett volt az épületek és az infrastruktúra jelentős károsodása miatt. A földrengés hatására a közlekedési útvonalak és az infrastruktúrák működőképessége is nagymértékben károsodott, illetve veszélybe került. Veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek, létesítmények, ipari területek, valamint kulturális jellegű épületek is megsérültek a földrengés során. A feltételezés szerint a földrengés súlyos károkat okozott a természeti környezetben is. A földrengés hatására a védelmi képességek és kapacitások újratervezése vált szükségessé Baden–Württemberg tartományban. Baden - Württemberg a károk miatt segítséget kért az EU-tól német szövetségi szinten (BBK), aminek eredményeképpen az Unió Polgári Védelmi Mechanizmusának (UCPM) aktiválása és a meglévő megállapodások szerinti, a katasztrófa elhárítás és kárfelszámolási feladatok koordinálása vált szükségessé, Franciaország és Svájc határvidékéről megsegítésre érkező beavatkozó szervezetek esetében. Az alapszituáció szerint az eseménykezelés a katasztrófa reagálási rendszer feltérképezése, a hiányzó, problémás kérdések azonosítása, és javaslattétel előkészítése volt a UCPM működési feltételeinek megerősítése miatt.

## 2. A PROJEKT ÉS A GYAKORLAT CÉLJAI

### 2.1 A projekt bemutatása

Az FSX MAGNITUDE gyakorlat célja volt, hogy javítsa a lakosságvédelmi feladatokért felelős ügynökségek és a segélyszervezetek képességeit, felkészültség és beavatkozás szintjén, egy nagy kiterjedésű katasztrófahelyzetben a Baden – Württemberg tartományban található Mannheim, Bruchsal és Mosbach térségében. A gyakorlat főleg a veszélyhelyzeti reagálást és eseménykezelést komplex módon célozta meg. A többszörös veszélyt jelentő eseménysor miatt középpontban, a földrengések lépcsőzetes hatásai álltak, illetve azt követően másodlagos veszélyeztető események alakultak ki (árhullámok, veszélyes üzemben illetve vízi ADN áruszállítás során történt balesetek). Mivel a feltételezés szerint a veszélyhelyzet túlterhelte a helyi és nemzeti kapacitásokat, ezért az UCPM aktiválása során más országokból érkező ENSZ INSARAG minősítésű mentőerők átcsoportosítására kellett intézkedni. A gyakorlat idején az EU Host Nation Support (Befogadó Nemzeti Támogatás) irányelvei szerint tesztelték az UCPM együttműködési modulokat a helyi egységekkel és koordinátorokkal, illetve a CBRN (vegyi, biológiai, radiológiai és nukleáris) felderítő csoportokkal. Konkrét célkitűzés volt az USAR (városi-kutató mentő), a Water Rescue (vízimentő), a Helicopters (légimentő) és további CBRN-felderítő csoportok, mint elsődleges beavatkozók együttműködésének fejlesztése.

### 2.2 Megfigyelők kijelölése

A gyakorlatra minden tagállam/résztvevő állam, valamint jogosult nem EU-ország meghívás szerint megfigyelőket delegálhatott. Az EUCPT (EU Polgári Védelmi Mechanizmus) szakértői:

- Natalie Edbald SVÉDORSZÁG csoportvezető,
- Kuijper Edith HOLLANDIA csoportvezető-helyettes,
- Frank Meriot FRANCIAORSZÁG információkezelés szakértő,
- Eva Andersson SVÉDORSZÁG CBRN szakértő,
- Pedro Sousa PORTUGÁLIA USAR szakértő,
- Ivanov Martin BULGÁRIA USAR szakértő.



1. kép CBRN-felderítő csoportok a MAGNITUDE gyakorlaton - Mannheim  
(Forrás: ld. [1])

Delegált megfigyelők voltak:

- Jelena Bjelica Ivanovic BOSZNIA ÉS HERCEGOVINA,
- Nijat Nasiriv AZERBAJDZSÁN,
- Ahmed Kalifa EGYIPTOM,
- Olafur Loftsson IZLAND,
- Andrei Tcaci MOLDOVA,
- Dsupin Gyula MAGYARORSZÁG,
- Sergio Nunez Fernandez SPANYOLORSZÁG,
- Elisei Doru Stefan ROMÁNIA,
- Mindaugas Stakauskas LITVÁNIA,
- Alexander Vassallo MÁLTA,
- Emmanuel Chapeau FRANCIAORSZÁG (ENSZ INSARAG titkárság),
- Sokratis Doukas GÖRÖGORSZÁG,
- Gerald Bauer AUSZTRIA,
- Basheer Bileid LÍBIA.

Az FSX MAGNITUDE megfigyelői delegáláshoz szükséges kritériumok az alábbiak voltak:

Nyelvtudás: angol minimum B2 Profil

Katasztrófa kockázatkezelés, katasztrófaelhárítási tervezési tapasztalat, UCPM gyakorlati tapasztalat, USAR és/vagy CBRN (Kémiai-Biológiai-Radiológiai-Nukleáris) ismeretek.

# MAGNITUDE Full Scale Exercise Project

## ...based on actual risk & actual challenges

 **Magnitude**



2. kép A gyakorlatot valós veszélyeztető hatások alapján tervezték (Forrás: ld. [2])

Baden-Württemberg tartomány nagy részén magas a földrengés veszélye, bekövetkezés esetén egy ilyen esemény percek leforgása alatt az épületek megrongálódásához, illetve összeomlásához is vezethet. A leginkább érintett területek a Sváb-Alpokban és a Lörrach régióban vannak. Csak itt Albstadtban öt alkalommal történt 6,1 magnitudójú (közepes erősségű) földrengés a XX. században. Az 1978-as földrengés átszámolva összesen 127 millió euró kárt okozott. Ekkor sérült meg súlyosan a Hohenzollern-kastély is, amely Baden-Württemberg kiemelt kulturális értéke.

### 2.3 MAGNITUDE gyakorlat forgatókönyve - kialakult esemény

A gyakorlat feltételezése szerint 2024. október 15-én, kedden, hajnali 5 óra 51 perckor hatalmas földrengés rázta meg a Felső-Rajna régiót, amelynek epicentruma a németországi Karlsruhe városa [308 707 lakosú] közelében található. A rengés erőssége 6,9 Mw, mélysége 10 km volt. A város lakossági központja, valamint a régió egyes lakóövezeteiben található épületek, illetve az infrastruktúra jelentős károkat szenvedett. 6 óra 30 perckor a Baden-Württembergi hatóságokat a Belügyminisztérium arra kérte, hogy hívják ki a katasztrófavédelem munkatársait, és használják az ilyen események kezelésére létrehozott ELD-BS (Electronic Situation Dashboard for Civil Protection) polgári védelmi elektronikus helyzetmeghatározó és eseménykezelő rendszert. A földrengés lépcsőzetes hatást váltott ki, amely megrongálta a közlekedési útvonalakat és az infrastruktúrák működőképességét. Emellett nem volt kizárható, hogy az érintett területen található ipari létesítmények, illetve kulturális értékek is károsodtak, mivel Baden-Württembergben számos ilyen védendő helyszín és tárgy is található. A helyi hatóságok reggel 8 órakor közölt elsődleges adatai alapján több száz épület és lakóház megrongálódott, valamint jelentős következményekkel járó károk keletkeztek a kritikus infrastruktúrákban. Legalább 500 ember megsérült, 35 ember meghalt és többen a romok alá szorultak. A szeizmológusok nem zárták ki az utó rengéseket, amelyek további károkat és emberáldozatokat okozhattak volna.



3. kép USAR csapatok gyakorlat közben – Mosbach (Forrás: ld. [3])

## 2.4 Az együttműködés továbbfejlesztése - az ELD-BS rendszer

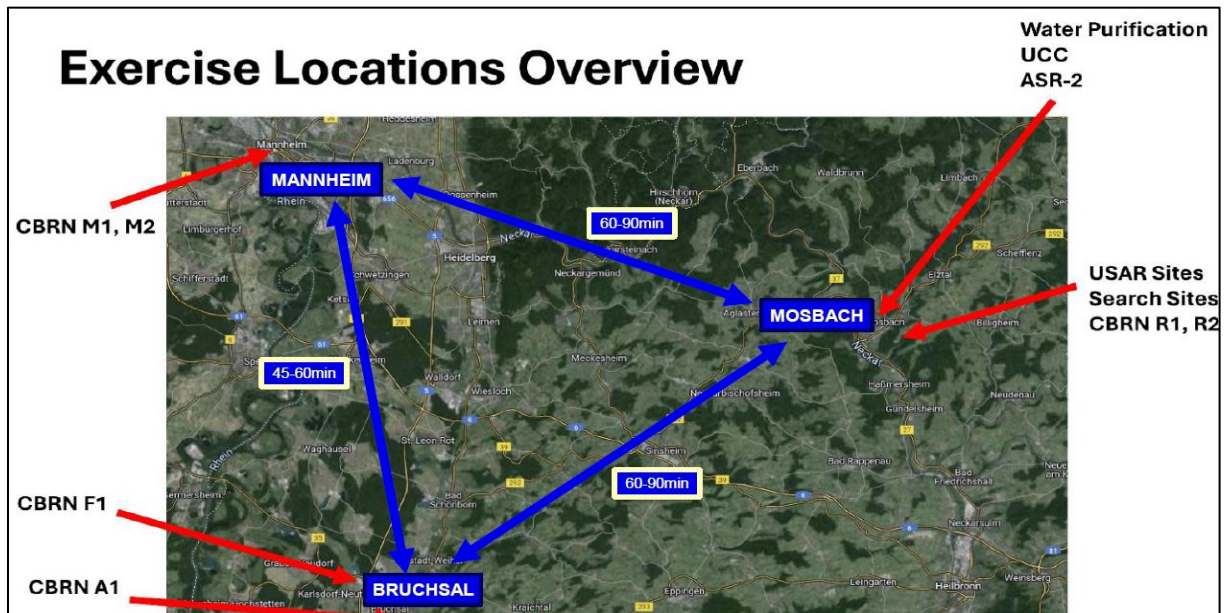
Az Unió Polgári Védelmi Mechanizmusban rendelkezésre álló lehetőségek alkalmazása fontos előrelépés lehet, a hasonló veszélyekkel küzdő országokkal folytatott tapasztalatcserék elősegítése, illetve hazánk általános felkészültsége szempontjából, különösen a kommunikációs rendszerek működésére és ezek szisztematikusabb módon történő alkalmazására, fejlesztésére vonatkozóan, ideértve az információk (különösen a figyelmeztetések, riasztások) megosztását és kiterjesztését az adminisztráció minden szintjén, valamint a lakosságtájékoztatás tekintetében.

Az ELD-BS egy olyan eszköz, amelyet a német Baden-Württemberg tartomány hatóságai évek óta használnak a beavatkozó erők és eszközök válságkezelési időszakban szükséges racionalizálása és prioritizálása érdekében. A platformot a Fraunhofer IOSB fejlesztette ki Baden-Württemberg tartomány Belügyminisztériumával közösen, amit széles körben használnak kárfelszámolási műveletek és gyakorlatok idején.

Alkalmazható/Támogatott funkciók:

- a rendszer önálló és zárt rendszerű kommunikációt, információ- és adatcserét biztosít válságkezelés idején a Belügyminisztérium, a regionális tanácsok és az alsóbb katasztrófavédelmi hatóságok között, pl. térképalapú kitelepítés-elhelyezés tervezése objektumok adatai szerint,
- átfogó helyzetértékelést és döntéselőkészítést támogatnak az adatszolgáltató rendszerek és eszközök által biztosított információk gyors feldolgozásával a felhasználó/operátor számára,
- a helyzetértékelés mellett erő - és eszköz átcsoportosítást tesz lehetővé a térképfunctió, online alkalmazásával az alsóbb szintű beavatkozó katasztrófavédelmi hatóságok és egységek feltüntetett központi helyzetképe, rendelkezésre állása alapján,

- üzenetek/információk célcsoport-orientált feldolgozása, pl. automatizált információcsere útján a radiológiai helyzetközpontokkal (szövetségi és állami szinten).



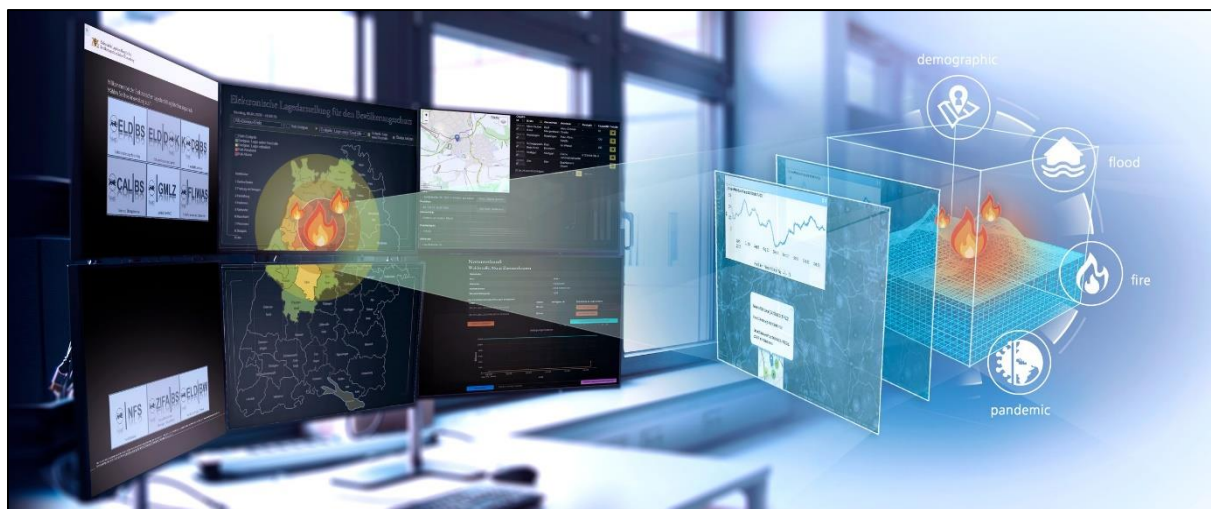
4. kép MAGNITUDE gyakorlat - áttekintő térkép (Forrás: ld. [4])

A felsőbb katasztrófavédelmi hatóságok nukleáris balesetek után elrendelt intézkedéseinek előkészítésére egy térinformatikai alapú krízisobjektum adatbázis (KODB) is működik, ami nagyobb kiterjedésű veszélyhelyzetek idején a kárfelszámolás tervezését támogatja. A rendszer egy komplex döntéstámogató eszközt is alkalmaz a központi „lakossági elhelyezésekhez” (ZEUS), ami a kitelepítés és befogadás feladatait hivatott segíteni. Fontos funkció az integrált egyszeri bejelentkezési eljárás és a felhasználóbarát kialakítás. A rendszer rendelkezik ELD-DOK dokumentumcsere-portál funkcióval, ami a katasztrófaelhárítási tervek eléréséhez a kormányzati szervek szintjén, illetve a lakosság részére is biztosít elérhetőséget a betekintési jogosultságok megszerzését követően. Az ELD-DOK különlegessége a tartományi kormányzatokon átívelő alkalmazhatósága mellett a folyamatos fejlesztés, bővítés lehetősége, a hasznosság növelése és a használó hatóságok számára hozzáadott érték biztosítása. Főbb alkalmazási területek: személyzeti, létszámtervezési munka hierarchikus támogatása, a természeti és civilizációs válsághelyzetek és általános veszélyhelyzetek kezelése a katasztrófavédelemben. Az elektronikus helyzetkijelzőt évek óta széles körben használja a Baden-Württembergi Belügyminisztérium minden közigazgatási szinten, a műveleti és gyakorlati eseménykezelések előkészítésével és felkészülési feladatokkal összefüggésben.

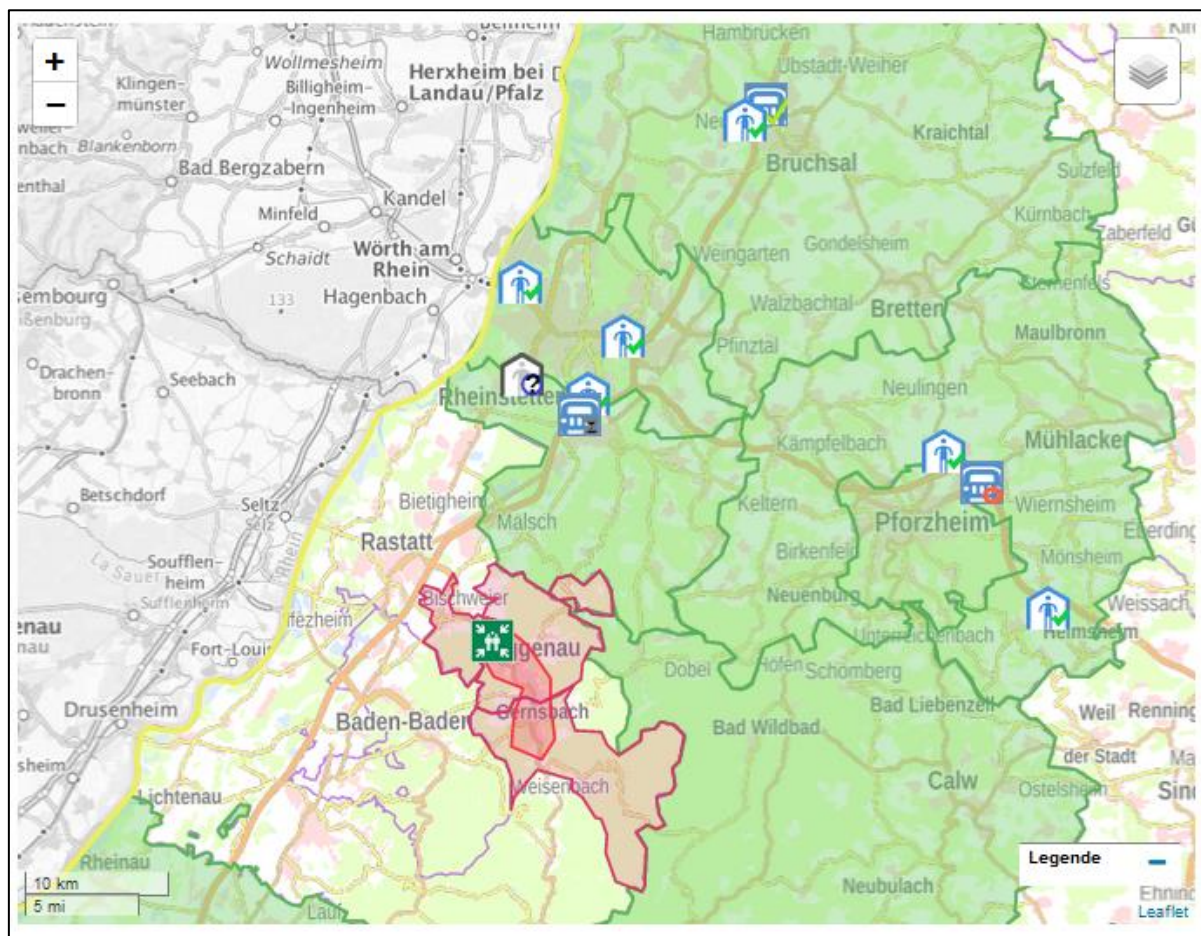
## 2.5 A jelenlegi helyzet áttekintése

Az alkalmazások köre széles: legyen szó nagyszabású áramszünetről vagy állatjárványról, akár heves esőzészről, árvízről vagy akár kiterjedt területet érintő katasztrófáról. Minden lényeges információ elérhető egy úgynevezett klasszikus helyzetkezelő eszközön, a helyzetjelentést támogató polgári védelmi elektronikus helyzetkijelzőjén (ELD-BS) keresztül. Az alkalmazás így azonnal áttekintést nyújthat a városi és vidéki körzetek, valamint a közigazgatási körzetek jelenlegi helyzetéről. Ezen túlmenően egy geoinformáció alapuló krízisobjektum adatbázis is használható pl. árvíz- és áramszünet esetén szükséges tervezési feladatokhoz. A katasztrófavédelmi hatóságok ezt használhatják nagyobb területet érintő műveletek, kitelepítések tervezésekor. Lehetőség van árvízi veszélytérképek integrálására, illetve az árvízzel veszélyeztetett területeken a célzott intézkedések irányítására.

Az úgynevezett veszélytérképeken bizonyos létesítmények, pl. nyugdíjasotthonok, oktatási intézmények, napköziotthonok vagy fogyatékkal élők számára fenntartott létesítmények helyezhetők el az eszköz segítségével és a megfelelő lakosságvédelmi intézkedések ennek megfelelően módosíthatóak a káresemények idején.



5. kép ELD-BS rendszer (Forrás: ld. [5])

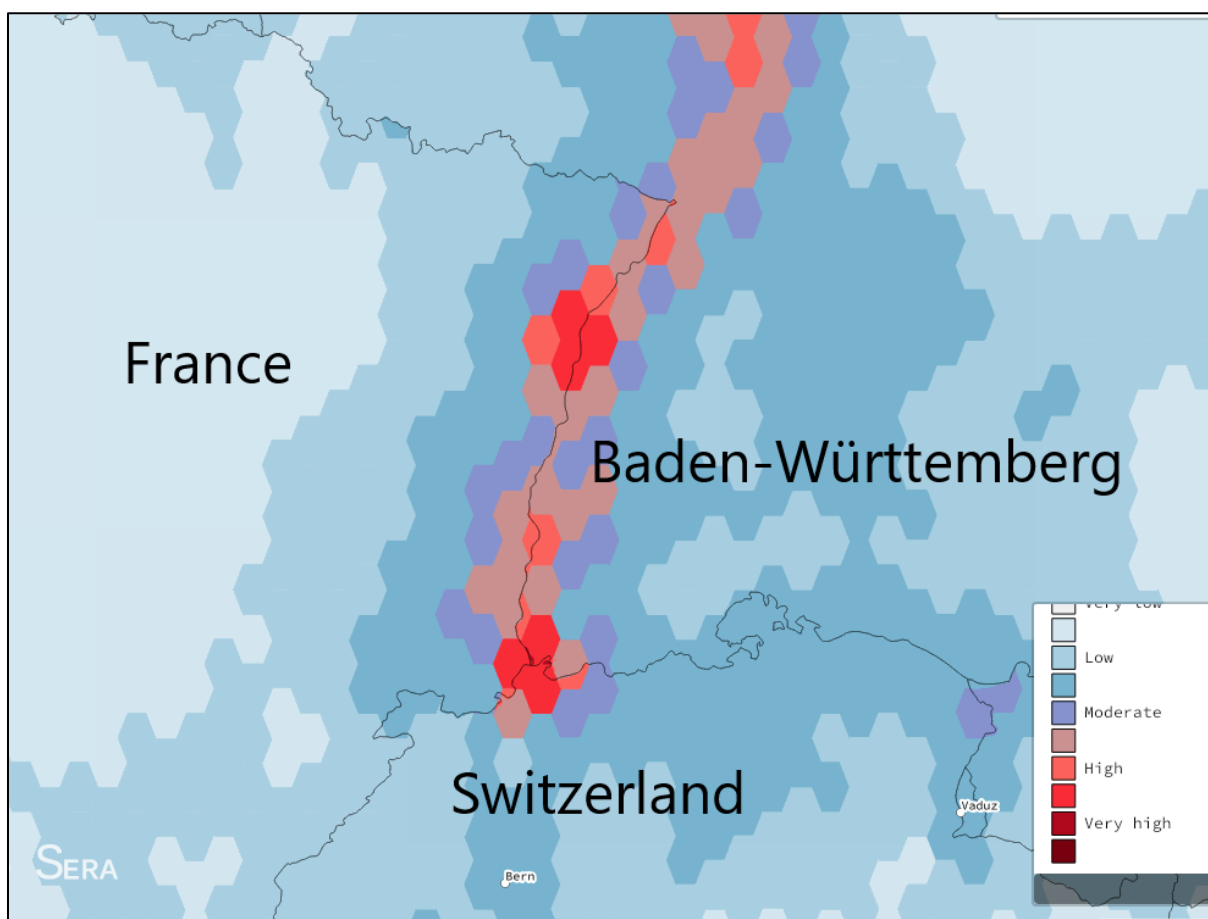


6. kép Kitelepítés tervezésének grafikus megjelenítése a ZEUS rendszerben  
(Forrás: ld. [7])

## 2.6 Együttműködés a válságkezelésben az állam és a szövetségi kormány között

Az alkalmazás különösen az ügynevezett minisztériumközi adatszolgáltatások idején bizonyíthatja működésének fontosságát, mivel az ELD-BS egy összehangolt információcserét tesz lehetővé az érintett adminisztrációs felületet felhasználók között. A kialakult helyzettől függően más külső felhasználók - például a Bundeswehr (Szövetségi Védelmi Erő) vagy más szövetségi hatóságok bevonása esetén - is segíteni tudják az információáramlást az állam és a szövetségi kormány közötti válságkezelési együttműködés idején. A Belügyminisztérium a digitális eseménykezelés mellett sürgősségi találkozási pontok létrehozását is kezdeményezte települési szinten. A városok és az önkormányzatok ezentúl olyan találkozási pontokat alakíthatnak ki, ahol a lakosság alapvető szükségleteit fogják tudni biztosítani (pl. élelmiszer, ivóvíz), továbbá sérültek ellátása miatti elsősegélynyújtó helyet működtethetnek majd, illetve lakosságtájékoztatásként közvetlenül információkat kaphatnak az aktuális helyzetről. A „sürgősségi gyülekezési - találkozási pontok” működtetése miatt az önkormányzatoknak alapvető egészségügyi felszereléseket és technikai eszközöket is biztosítanak majd az ellátások, elhelyezések idejére.

„A helyi találkozási pontok fontos önkormányzati megközelítést jelentenek a lakosság védelmében. Ez a gyakorlatban megvalósuló polgári védelem, ami megmutatja a lakosoknak, hogy válsághelyzetekben is számíthatnak a hatékony eseménykezelésre” – magyarázta korábban Thomas Strobl belügyminiszter [6].



7. kép Földrengés veszélyeztetettség kockázati térkép (Forrás: ld. [8]).

### 3. KÖVETKEZTETÉS

A katasztrófák nem ismernek határokat, ezért 2001 októberében az Európai Bizottság létrehozta az EU Polgári Védelmi Mechanizmusát. Baden-Württemberg pedig ezt a kínákozó lehetőséget kihasználva akart felkészülni egy olyan szintű veszélyhelyzet kezelésre, ahol a lehető legjobb módon tudja megvédeni a helyi lakosságot. Ezért Ausztriával, Görögországgal, Svájccal és Franciaországgal együtt az első teljes körű olyan gyakorlatot hajtották végre Németországban az Európai Polgári Védelmi Mechanizmus részeként, ahol a Felső-Rajna régióban bekövetkező földrengés forgatókönyvét szimulálták katasztrófaeseményként. A 36 órás teljes körű kárfelszámolási gyakorlat során a partnerek az alábbi intézkedések végrehajtását gyakorolták és vizsgálták:

- a nemzetközi segítségnyújtás gyakorlása (UCPM/HNS Guidelines) és határokon átnyúló/nemzeti koncepciók tesztelése,
- a nemzetközi segítségkérés és az egységek megérkezése, fogadása és az együttműködési feltételek biztosítása, összehangolása,
- a meglévő határokon átnyúló megállapodásokban foglalt feladatok végrehajtása,
- a szomszédos/partnerországok közötti átfogó együttműködés felülvizsgálata és optimalizálása,
- meglévő koncepciók tesztelése alapján Baden-Württembergben a lakosság polgári védelemmel és az UCPM-el kapcsolatos tudatosságának növelése,
- lakosságtájékoztatási feladatok működése (lakosság, veszélyeztetett célcsoportok, intézmények esetében),
- kockázati tudatosság, kritikus infrastruktúrák kockázatkommunikációja, médiatámogatás alkalmazása a veszélyhelyzeti lakosságtájékoztatásban,
- a veszélyeztetett környezetben élő lakosság elhelyezésére szolgáló létesítmények evakuálása,
- workshop a kommunikációról és információcseréről,
- CBRN támogatás földrengés miatt kialakult ipari veszélyhelyzetek idején,
- veszélyes anyagokkal kapcsolatos felderítés, mintavétel, elemzés, döntéstámogatás,
- a földrengéssel érintett területeken helyreállítási, víztisztítási és fertőtlenítési feladatok.

Az elmúlt években folyamatosan nőtt a természet által okozott rendkívüli, illetve az emberi tevékenység miatt bekövetkező civilizációs ipari káresemények száma. Ezeket az eseményeket már nem minden esetben tudják csak egy ország védelmi szervezetei egyedül kezelni, ezért különösen fontos a határokon átnyúló páneurópai együttműködés elmélyítése, összehangolása. Az UCPM különösen fontos szerepet tölt be ebben az esetben Európa határain belül és azon túl is. Baden-Württembergben a Belügyminisztérium a polgári védelmi feladatokért felelős legfelsőbb szintű szervezetként több mint 11 millió ember védelméért felel, ezért a felkészülések eredményeként készen akar állni a tartományi vezetés arra, hogy a lakosság védelme érdekében megfelelően, valamint magas színvonalon kezelje a jövőbeli szélsőséges időjárási és rendkívüli eseményeket. A gyakorlatnak köszönhetően Baden-Württemberg polgári védelmi rendszere kiterjedt káresemények esetén az UCPM-et a tartomány számára fontos és elérhető többlet polgári védelmi erőforrás-rendszerként azonosította. Baden-Württemberg számára az UCPM támogatás folyamata a megsegítő erők alkalmazásának tervezésével olyan abszolút hozzáadott értéket képviselt, aminek köszönhetően a szomszédos Svájc és Ausztria mellett a helyi segélyszervezetek és vezetőik megismerkedhettek egy olyan stratégiai folyamattal, amelyet ezután tovább kívánnak majd bővíteni az elkövetkező időszaki határon átnyúló együttműködési feladatok idején. A tudományos ismeretek alapján Baden-Württemberg térségében továbbra is elképzelhető a földrengés, mint rendkívüli természeti esemény, ami miatt további, például CBRN-helyzetekre, valamint rendkívüli anyagi károokra és személyi sérülésekre kell számítani.

Ezekon túlmenően a gyakorlat forgatókönyve lehetővé tette a rendszeres kommunikáció elősegítését az információcsere és kapcsolattartás módjának partnerországok közötti továbbfejlesztésével. A védekezésben résztvevő szervezetek hazai katasztrófavédelmi feladatainak ellátására már rendelkezésre áll több egymást kiegészítő, (Marathon Terra, HELIOS, illetve a Központi Kockázatkezelő Alkalmazás) jelentést továbbító és adatnyilvántartó rendszer is. Ezeknek a működését, illetve a meteorológiai, szeizmológiai előrejelző dinamikus rendszerekkel egy közös felületre integrálását vizsgálva egy olyan magasabb szintű lehetőséget kaphatunk, ami a nagyobb kiterjedésű káresemények kezelésére is alkalmas az ország védelmével és biztonságával összefüggő tevékenységek, veszélyhelyzetek időszakában.

#### 4. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] CBRN beavatkozás fotó – Mannheim (készítette a szerző - 2024.10.25.)
- [2] Full-Scale Earthquake Response Exercise in the cross- border-region of Germany, Austria, France and Switzerland [előadás]. Mosbach (2024.10.26.)
- [3] USAR csapatok gyakorlat közben – Mosbach (készítette a szerző – 2024.10.25.)
- [4] Fraunhofer hivatalos weboldal Áttekintő térkép [Online]. Elérhetőség: <https://www.iosb.fraunhofer.de> (2024.11.29.)
- [5] Fraunhofer hivatalos weboldal ELD-BS rendszer [Online].Elérhetőség: <https://www.iosb.fraunhofer.de> (2024.11.29.)
- [6] Baden-Württemberg Staatsministerium hivatalos weboldal [Online].Elérhetőség: <https://stm.baden-wuerttemberg.de/de/startseite> (2025.01.25.)
- [7] Baden-Württemberg Staatsministerium hivatalos weboldal Kitelepítés tervezésének grafikus megjelenítése a ZEUS rendszerben [Online]. Elérhetőség: <https://stm.badenwuerttemberg.de> (2024.11.29.)
- [8] Full-Scale Earthquake Response Exercise in the cross- border-region of Germany, Austria, France and Switzerland [előadás]. Mosbach (2024.10.26.)

# Az Európai Unió katasztrófavédelmi politikájának elemzése és lehetséges irányai II.

## Examination and Possible Directions of the European Union's Civil Protection Policy II.

---

Lieutenant Gergely Takács  
National University of Public Service, Doctoral  
School of Law Enforcement  
PhD student  
Email: gergely.takacs@katved.gov.hu  
ORCID: 0009-0003-2232-5041 

Ret. Major General Dr. Árpád Muhoray, PhD  
National University of Public Service, Doctoral  
School of Law Enforcement  
Professor  
Email: muhoray.arpad@uni-nke.hu  
ORCID: 0000-0003-3832-293X 

---

### Absztrakt:

A szerzők előző cikkükben összefoglalták és bemutatták az Európai Unió katasztrófavédelmi szakpolitikájának fejlődését a 80-as évektől napjainkig, külön fejezetben szóltak az akkori kihívásokról, és az azokra potenciálisan adható rendszerszintű válaszokról. Az azóta eltelt közel egy évben több olyan fontos változás is érintette nem csak a szakterületet, hanem tágabb értelemben az európai biztonságot és védelmet is. Megtörtént az új veszélyhelyzet-kezelésért felelős uniós biztos kiválasztása, összefoglaló jelentés készült az EU polgári-katonai felkészültségéről, a NATO legerősebb tagja a szövetségből való kilépés gondolatával játszik, mindezen felül a természeti katasztrófák klímaváltozás miatti növekedésével és szélsőségesebb hatásaival is számolnunk kell. Bár mindezek az események egy egyre kiszámíthatatlanabb jövő képét festik fel, a jelenleg rendelkezésünkre álló információk sokkal pontosabb támpontot tudnak adni arról, hogy várhatóan mi fogja meghatározni az Európai Unió katasztrófavédelmi szakpolitikájának irányait.

Kulcsszavak: Európai Unió, katasztrófavédelem, polgári védelem, szakpolitika, civil-katonai felkészültség, Niinistö jelentés

### Abstract:

In their previous article, the authors summarized and presented the development of the European Union's civil protection policy from the 1980s to the present day. In a separate chapter, they discussed the challenges and the potential systemic responses. In the nearly one year since then, several important changes have affected the field and European security and defense in a broader sense. The selection of a new EU Commissioner for Emergency Management has taken place, a summary report has been prepared on the EU's civil-military preparedness, NATO's most powerful member is toying with the idea of leaving the alliance, and we must also reckon with the increase and more extreme effects of natural disasters due to climate change. Although all these events paint a picture of an increasingly unpredictable future, the current information can provide a much more precise clue as to what is expected to determine the directions of the European Union's civil protection (disaster management) policy.

Keywords: European Union, civil protection, policy, civil-military preparedness, Niinistö report

## 1. INTRODUCTION

The protection of people, the environment and property against disasters cover a broad set of emergencies – a complex topic that requires the active effort of both institutional and individual actors. As a consequence, protection means ongoing measures and actions to maintain a status most desirable for continuous development. In view of recent environmental and man-made, political events, member states of the European Union seem to be in need of cooperation in the field of emergency management more than ever.

According to the European Climate Risk Assessment [1, p. 11.], the European continent has been warming twice as fast as the global average since the 1980s, becoming the fastest-warming continent on Earth. As 2023 was the warmest year on record and the first to exceed 1.5°C, this is foreseen to lead to an increase of number and extremity of heat waves, forest fires, droughts and floods. Though the EU has been occupied with Russia's war of aggression against Ukraine and started to re-evaluate its own defence capacities, the expected increase in number of natural disasters and their extremity is to be tackled in comprehensive approaches that integrate disaster management and civil protection into a broader security strategy that addresses not only the immediate impacts of disasters but also their potential to become hybrid threats as well.

To effectively manage these challenges, the EU has started to actively focus on strengthening its emergency management – both natural, man-made, and hybrid – capabilities. As past developments was the main focus point of the previous article [2], now the topics of present and future will be touched upon: the overall financial framework, the newly appointed head of the EU emergency management, and the guidelines and recommendations set out in a current comprehensive report.

## 2. FIANCIALISING THE QUESTION

The EU budget for civil protection is part of the broader Multiannual Financial Framework (MFF), which sets out the EU's long-term budgetary priorities. The total EU budget for the current period 2021-2027 is approximately €1.2 trillion [3]. Within this framework, the Union Civil Protection Mechanism (UCPM) currently has a budget of around €3.71 billion [4] for this period. This budget is made up of two main parts: €1.263 billion from the MFF allocation and €2.056 billion from the Next Generation EU (NGEU) [5], the latter specifically aimed at addressing recovery needs in the wake of the COVID-19 crisis. The remaining budget is from voluntary donations of other countries and entities (see fig. 1).

The NGEU funds are used to expand the rescEU mentioned in the previous article, i.e. to build strategic reserves such as firefighting and MEDEVAC aircraft, emergency medical teams, medical and CBRN stockpile, etc. The European Commission has achieved this financial “freedom” (since it is a loan) to directly procure and deploy rescEU capacities in the logistics hubs [6] where they will reach their destination as soon as possible after their mobilisation via the Emergency Response Coordination Centre (ERCC). By practically tripling the budget, the EU's civil protection system has become much more proactive and therefore more effective.

As the current multiannual financial framework ends in 2027, the European Commission is already preparing [7] for the next MFF, starting in 2028, through public discussions. The value or importance assigned to a service is given by its budgetary weight, the financial framework intended to be spent on it. In light of the above, it is likely that in the future, in addition to ad-hoc additions, the financial support proportion of the UCPM fund will increase – which currently barely exceeds one thousandth (!) in percentage terms.

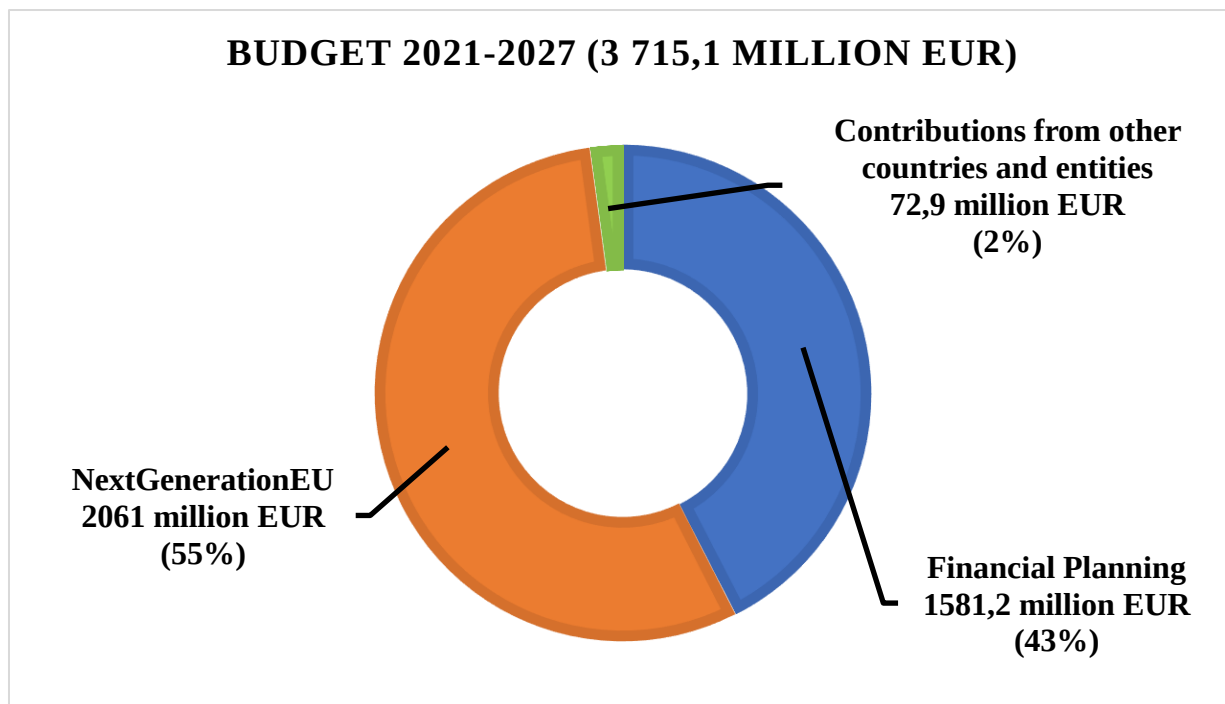


Fig. 1: Civil protection budget distribution. [made by the authors]

### 3. NEW COMMISSIONER, NEW TASKS

The current European Commission, which took office on 1 December 2024, has been given the portfolio of preparedness and emergency management to Hadja Lahbib [8]. Interestingly, the portfolio has also been supplemented with the topic of “equality”, which includes both challenges and opportunities in the next five-year term. While President Von der Leyen outlined her responsibilities in seven points in her mandate for the previous Commissioner, Janez Lenarčič [9], this was explained in 25 (!) points for the new Commissioner – 11 of which deal with the new portfolio<sup>1</sup>.

As the scope of tasks expands, the management of challenges goes beyond their quantity. Since the focus required to complete the increasingly complex tasks of civil protection may shift and lose its priority status, its role may decrease disproportionately in the absence of adequate (not only financial) resources. By placing the tasks of the two previously separate portfolios under one commissioner, this can of course also be said from the “other side”, i.e. the equality portfolio, and is even more pronounced [10, 11]. It can be interpreted as a positive that strengthening narratives related to equality, inclusion, and vulnerable groups<sup>2</sup>, and increasing awareness as widely as possible, can have a positive impact on the resilience of society in the spirit of preparedness and a whole-of-society approach. At the same time, associating the two portfolios may pose dangers in terms of specific interventions and assistance. Although the guiding principles of humanitarian assistance<sup>3</sup> have not changed, the value of gender equality or the idea of inclusion is not uniform across Europe, Africa, or the Middle East. Accordingly, targeted support of these values (besides the main humanitarian principles) for further deployments, missions, or support, assistance may take on an ideological edge that is difficult to reconcile with customary practice.

<sup>1</sup> An interesting fact that the letter of mandate primarily names Ms. Lahbib as the Commissioner responsible for equality, and only secondarily as the Commissioner for preparedness and emergency management.

<sup>2</sup> women, children, the elderly, people with disabilities etc.

<sup>3</sup> mainly humanity and impartiality

The three main questions for the future are what priorities the Commissioner, with a much more expanded mandate, will apply in her work, whether she intends to link the two previously separate portfolios, and to what extent this will maintain or increase the current effectiveness of European civil protection policy. The latter question is nuanced by the fact that several points of her mandate are included in the recommendations set out in the so-called Niinistö report.

#### 4. NIINISTÖ REPORT WITH A FINNISH TWIST

On 30 October 2024, former Finnish President Sauli Niinistö published a report on enhancing Europe's civil and military preparedness and readiness [12]. The main objective of the report is to assess the challenges and make proposals for enhancing the EU's preparedness for future crises. It points out that the Union's emergency management has so far been reactive, and therefore it is essential to develop a comprehensive, proactive preparedness strategy and approach. It considers it essential to ensure continuous operations in all circumstances, in particular to preserve infrastructure, security of supply and social cohesion. This requires civil-military cooperation, coordinated planning and action by the EU and NATO, and public-private partnerships. In addition, the EU needs a comprehensive stockpiling strategy that enhances resilience to crises, in particular in terms of protecting supply chains and the availability of critical resources. He also recommended the development of a legal framework for preparedness, and emphasized the role of citizens in creating security, strengthening social resilience, and increasing social trust.

The Niinistö report builds on Finland's resilience culture [13] and seeks to elevate it to the EU level. Finland already proposed an EU preparedness strategy in March 2024 [14]. The Finnish model [15] is fundamentally civil and adaptive, designed to address threats on all possible levels. The Finnish model takes into account severe weather events, high-impact accidents, water and food supply disruptions, CBRN preparedness, cyberattacks, supply chain protection, migration, etc. Following the example of his country, Niinistö highlights the need for a whole-of-government approach to security and preparedness. Rather than seeing resilience as an isolated policy area under the responsibility of a single government agency, preparedness and security considerations should serve as the basis or benchmark for all public policies and legislation. It is equally important to facilitate formal and effective channels of communication and cooperation between (non)government agencies, both in the planning and implementation of preparedness measures and during emergency management activities. This type of governance model is envisioned to build consensus and trust between stakeholders by making them "part of the system" without enforcing them directly. The link between security and economic growth is a key concept to be embraced to ensure the common goal of the well-being of citizens.



Fig. 2: The building blocks of a fully prepared Union [12, p. 31.]

#### 4.1 EU-NATO, civil-military cooperation

In terms of security, the report honestly takes stock of the shortcomings at EU level: “We do not have a clear plan on what the EU will do in the event of armed aggression against a Member State (...) We do not have a comprehensive capacity to bring all necessary EU resources together in a coordinated manner across institutional and operational silos, to prepare for – and if needed, act – in response to major cross-sectoral and cross-border shocks and crises” [12, p. 7.]. However, it notes that it is in the area of civil protection that the EU has “developed preparedness capabilities in individual sectors, in particular in the fields of civil protection and disaster management,” i.e., this is an area that can set a good example for other sectors. Perhaps this is why it is recommended that an operational crisis management centre be established, building on the already functioning ERCC and using it as a platform between different sectors (this proposal is specifically mentioned in two places in the report [12, p. 18., 66.]). Although it states that it must continue to perform the tasks required by civil protection, disaster relief and humanitarian assistance, its “redesign” can also help resolve cross-border, multiple crisis situations.

Another proof of the effective functioning of the UCPM so far is that, in addition to the ERCC, rescEU also emerges as a model for the development of cross-sectoral strategic reserves, which could connect the private sector, Member States and the EU level to „jointly identify a comprehensive set of categories of essential inputs (e.g. foodstuffs, energy, critical raw materials, emergency response equipment, medical countermeasures) and define targets to ensure minimum levels of preparedness in different crisis scenarios, including in the event of an armed aggression or the large-scale disruption of global supply chains” [12, p. 101.].

The report also links the multiple security threats posed by extreme weather and climate change, pandemics and war, and argues that as different crises and threats are experienced differently by different countries, the EU needs to respond more coherently to mitigate and eliminate their impacts. A coherent approach leads to increased resilience, as the EU is only as secure as its weakest member state. The report recommends the development of European preparedness baselines, similar to NATO’s seven baseline requirements but covering a much broader range of actors, sectors and threats to reflect all the areas in which the EU is active.

Addressing emergencies within a unified security approach, as the report suggests, is critical to addressing the growing frequency of hybrid threats in the region. The open societies of EU Member States are increasingly targeted by disinformation and sabotage operations, as well as threats to disrupt social peace. In order to combat the rise of hybrid activities, the report recommends that the gaps be closed through enhanced dialogue between the EU and NATO, in particular building on the resilience norms introduced by NATO. A practical element of this is the continuation of the joint command and field exercises with NATO, covering different sectors and actors, within the framework of PACE, with a special focus on the interoperability of decision-making mechanisms (such as in the case of the IR2024 exercise).

Despite the above, the report states that most crises are not military in nature and do not require an exclusively military response, because the nature of hybrid threats is inherently a gray area - therefore, preparedness is given serious emphasis in order to more effectively prevent worst-case scenarios.

## **4.2 Enhancing Preparedness**

According to Niinistö, the EU has adapted to the crises of recent years and is fundamentally prepared to face the challenges. However, their complexity and diversity have over time exceeded the EU's capacity to act, which requires more effective preparedness. While the EU can be considered prepared in individual sectors, it does not have the capacity to combine all available EU resources in a coordinated manner across different institutions in the event of a major, multi-sectoral shock.

Therefore, in addition to expanding the existing response infrastructure, the creation of a new instrument is also proposed within a so-called “European Preparedness and Readiness Investment Framework” [12, p. 29.]: the Defending Europe Facility (DEF) and the Securing Europe Facility (SEF). The former aims to bring together all instruments and programmes related to civil security (e.g. law enforcement and border management) on the one hand, and civil protection and other disaster response operations, as well as relevant critical infrastructures, on the other. In the spirit of preparedness, a certain amount should be allocated in all instruments and programmes, so that the EU could spend 20% (!) of its entire budget on security and emergency situations. The report emphasizes that this also aims to expand the idea of necessary preparedness as widely as possible. To support this, it also urges the development of an improved and comprehensive risk assessment process, building on existing national and EU-level sectoral risk assessments, which, in addition to

natural hazards, also includes security threats - such disaster scenarios are already being developed within the framework of the PreparEU [16] programme.

In line with the seemingly unrelated security threats, one of the central challenges is to change the attitudes and mindsets of citizens. Even after two years of the Russian war of aggression against Ukraine, many Europeans do not seem to feel that they are ever in danger of a lasting crisis – a kind of “collective cognitive dissonance” [12, p. 31.] the report calls it. For Europeans, NATO has provided sufficient security without them meeting the minimum defence spending requirements set by the Alliance. It is necessary to shake the population and organisations out of the mindset that security is a natural part of life, otherwise they will see no reason to participate in the prevention of crises.

It is a specific suggestion that, in the spirit of bottom-up, i.e. individual-based social resilience, “EU should strive to further raise household preparedness to ensure that every EU citizen is equipped to provide for themselves for a minimum of 72 hours in case the normal provision of basic services is disrupted in a crisis” [12, p. 76.]. According to the results of the EuroBarometer survey published on 30 September 2024 [17], nearly 60% of those surveyed do not feel prepared, and nearly half of them (46%) admit to not knowing what to do in the event of a disaster.

Since government institutions rely on their work in many Member States, the idea of supporting volunteers and also NGOs with EU funds, so that citizens actively participate in voluntary activities from a young age [12, p. 78.]. It should also be noted that according to this survey citizens’ rely on the help of their families and friends first, and emergency services (firefighters, police, emergency health care, civil protection etc.) the second, while local authorities or governments are only in the 5<sup>th</sup> place.

In light of the above, active citizen participation and rising risk awareness is the way to equip citizens with the necessary knowledge and skills to overcome challenges during disasters and crises. This contribution of resilience encouraged to form from the bottom builds resilience through trust in governance and public authorities, while having the potential of focusing less resources from governmental agencies.

This is expected to be a direct support to NGOs and volunteers from the EU through tenders, educational and awareness rising or preparedness programmes that are not only targeting professionals, but – keeping in mind the new tasks Mrs. Lahbib has been tasked with – with civilians and vulnerable groups in its focus. To be effective, the mindset is to be shaped from the constant feeling of security to the understanding that well-being experienced is a condition that has to be maintained constantly and by working together.

As a side note in terms of preparedness, it is interesting that Niinistö proposes strengthening European intelligence cooperation. This includes not only information sharing, but also the development of a common situational awareness so that the entire Union perceives common threats in the same way to minimise the risk of contradictory (duplication of) responses to crises.

By preparing for a disaster or emergencies, you will be able to better cope with the situation



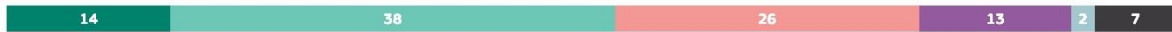
You need more information to be able to prepare for disasters or emergencies



You know how emergency services will alert you in the event of a disaster



It is easy to find information on how to prepare for disasters or emergencies from public authorities and emergency services in (OUR COUNTRY)



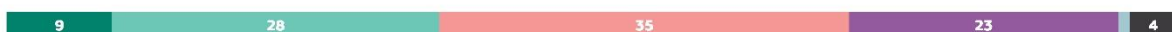
You know what to do in the event of a disaster



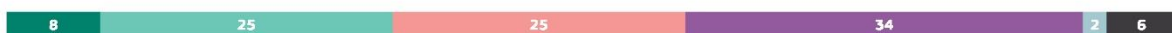
You do not have time or financial resources to prepare for disasters or emergencies



You feel you are well prepared for disasters or emergencies that may happen in the area where you live



Emergency services or authorities (e.g. police, firefighters, civil protection, local and national authorities) encourage you to take training or prepare for disasters or emergencies



Your employer or school encourages you to take training or prepare for disasters or emergencies



● Totally agree ● Tend to agree ● Tend to disagree ● Totally disagree ● It depends on the type of disaster (SPONTANEOUS) ● Don't know

Fig. 3: The „Personal preparedness in the event of a disaster” answers in the EuroBarometer

The report calls for strengthening the Single Intelligence Analysis Capacity (SIAC), including a general deepening of intelligence exchange between EU member states. Although a certain level of trust is part of international cooperation (and in this case, its enhancement), the idea of setting up an EU-level agency for joint information sharing and intelligence does not seem viable. Member states do not have common intelligence, espionage, national security standards, and due to the nature of the activity, their ad-hoc or ongoing sharing (e.g. a country's nuclear security portfolio) is (can) not necessarily based on trust.

## 5. CONCLUSION

In parallel to war, even peace is difficult to start with no money. In view of the trend regarding future spending, the funds needed to be allocated to mitigate consequences of natural disasters and climate change is definitely on the rise (see fig. 4.). Since these events can be viewed of direct causes or elements of hybrid emergencies, other means of financial support is foreseen to be linked.

Since civil protection constitutes many different fields, there is hardly any stakeholder that cannot be involved voluntarily – or based on the threat defined, otherwise.

Billion EUR (2023 prices)

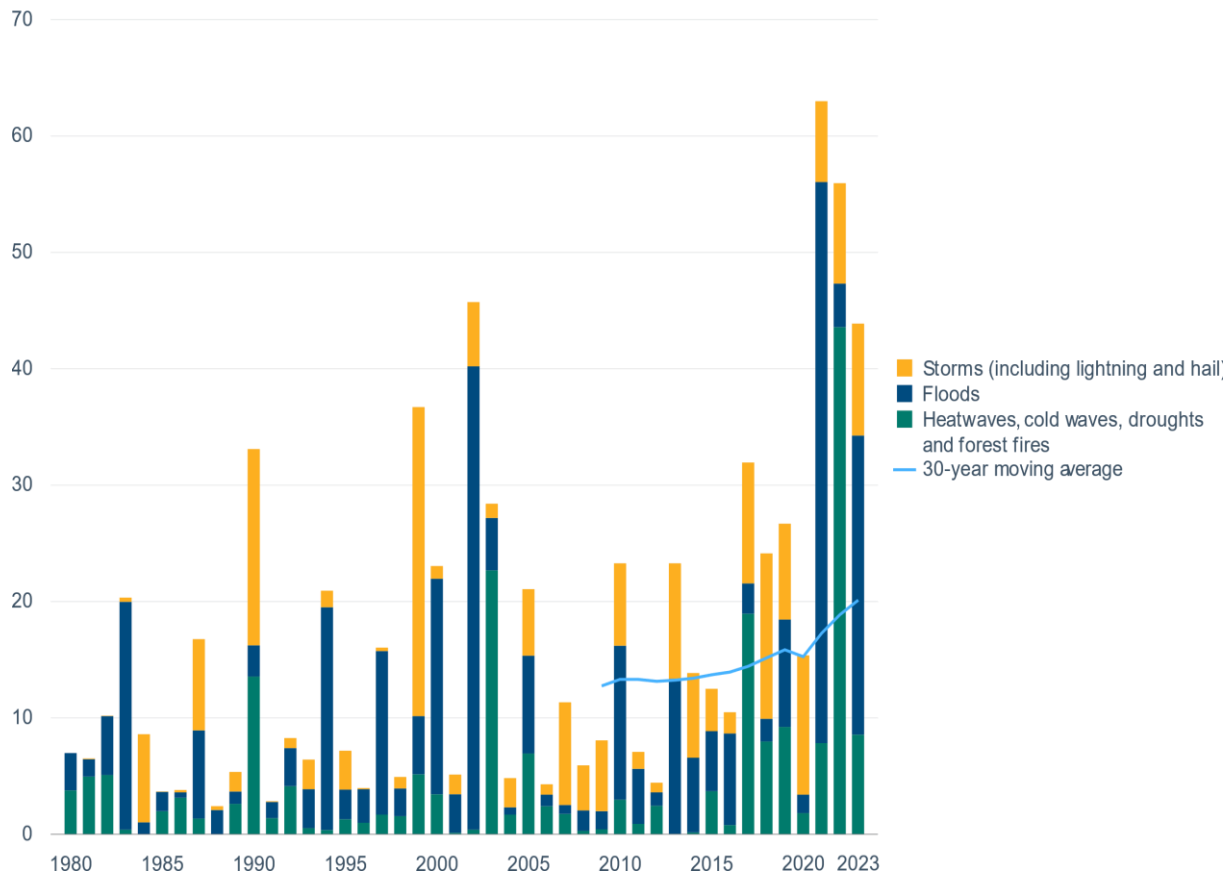


Fig. 4: Annual economic losses caused by weather-and climate-related extreme events in the EU Member States [18] (billion EUR)

As the need for civil-military cooperation increases, a kind of “militarisation” of non-military actors and a “awareness-raising” of the military towards civilian actors can be expected at the same time. The former can be achieved first in the form of mandatory measures and procedures prescribed by law for strategic and critical infrastructure sectors, and the latter by ensuring the most transparent possible provision of logistical and human resources. Although the nature of the response to an incident may require a lack of transparency, such cases can be offset by the long-established civilian trust in state actors and organisations.

The authors suggested in their previous article that the next step in the EU-level response is likely to be a (centralised) institution operating within a supranational framework, due to the fundamental respect of national sovereignty, which goes beyond the purely voluntary assistance of the Member States [12, p. 13.]. The same idea is also reflected in the Niinistö report: “Far from their original purpose, vetoes can be abused as bargaining chips for unrelated policy negotiations, based on national interests. In a more extreme scenario, the veto mechanism may even be instrumentalised by foreign competitors and rivals who could exploit the dependencies and vulnerabilities of individual Member States to interfere with and undermine EU decision-making through targeted pressure. A hostile actor could use a single Member State’s strategic dependencies or other forms of leverage and prevent the whole EU from taking decisions that would impose consequences on a hostile actor” [12, p. 62.]. Since “the veto right can be abused”, in our opinion, this suggests the establishment of a qualified majority decision-making mechanism in the event of future complex emergencies.

## 5. BIBLIOGRAPHY

- [1] European Environment Agency, *European Climate Risk Assessment*. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment> (17.03.2025.)
- [2] G. Takács and Á. Muhoray, "Az Európai Unió katasztrófavédelmi politikájának elemzése és lehetséges irányai I. rész," *Védelem Tudomány a Katasztrófavédelem online szakmai, tudományos folyóirata*, vol. 9, no. 2, 2024. [Online]. Available: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/16103> (17.03.2025.)
- [3] European Centre for Development Policy Management, *Inside the EU's Long-Term Budget: Multiannual Financial Framework Explained*. [Online]. Available: <https://ecdpm.org/work/inside-eus-long-term-budget-multiannual-financial-framework-explained> (17.03.2025.)
- [4] European Commission, *Civil Protection Performance*. [Online]. Available: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/eu-budget/performance-and-reporting/programme-performance-statements/civil-protection-performance\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/eu-budget/performance-and-reporting/programme-performance-statements/civil-protection-performance_en) Accessed: (17.03.2025.)
- [5] European Commission, *Multiannual Financial Framework 2021–2027 Commitments*. [Online]. Available: [https://commission.europa.eu/publications/multiannual-financial-framework-2021-2027-commitments\\_en](https://commission.europa.eu/publications/multiannual-financial-framework-2021-2027-commitments_en) (17.03.2025.)
- [6] European Parliament, *New UCPM 2021–2027 Report*. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/carriage/new-ucpm-2021-2027/report?sid=8501> (17.03.2025.)
- [7] European Commission, *Communication COM(2025) 46 final*. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52025DC0046> Accessed: Mar. 17, 2025.
- [8] European Commission, *Hadja Labbib – Commissioner Profile*. [Online]. Available: [https://commission.europa.eu/about/organisation/college-commissioners/hadja-labbib\\_en](https://commission.europa.eu/about/organisation/college-commissioners/hadja-labbib_en) (17.03.2025.)
- [9] European Commission, *Janez Lenarčič – Commissioner Profile*. [Online]. Available: [https://commissioners.ec.europa.eu/janez-lenarcic\\_en](https://commissioners.ec.europa.eu/janez-lenarcic_en) (17.03.2025.)
- [10] The Brussels Times, *What Makes Labbib Right for EU Crisis Management and Equality?*. [Online]. Available: <https://www.brusselstimes.com/1232677/what-makes-labbib-right-for-eu-crisis-management-and-equality> (17.03.2025.)
- [11] Eurac Research, *The Difficulties of a Double Mandate: Competing Equality Portfolios in the European Union*. [Online]. Available: <https://www.eurac.edu/en/blogs/eureka/the-difficulties-of-a-double-mandate-competing-equality-portfolios-in-the-europea> (17.03.2025.)
- [12] European Commission, *Safer Together: The Path Towards a Fully Prepared Union*. [Online]. Available: [https://commission.europa.eu/topics/defence/safer-together-path-towards-fully-prepared-union\\_en](https://commission.europa.eu/topics/defence/safer-together-path-towards-fully-prepared-union_en) (17.03.2025.)
- [13] Finnish Institute of International Affairs, *The Niinistö Report on Preparedness*. [Online]. Available: <https://fiia.fi/en/publication/the-niinisto-report-on-preparedness>. Accessed: (17.03.2025.)

- [14] Finland Abroad, *Finland Proposes EU Strategy for Preparedness Union*. [Online]. Available: [https://finlandabroad.fi/web/eu/current-affairs/-/asset\\_publisher/cGFGQPXL1aKg/content/finland-proposes-eu-strategy-for-preparedness-union-1/384951](https://finlandabroad.fi/web/eu/current-affairs/-/asset_publisher/cGFGQPXL1aKg/content/finland-proposes-eu-strategy-for-preparedness-union-1/384951) (17.03.2025.)
- [15] Finnish Government, *Valtioneuvoston Julkaisuja 2025:3*. [Online]. Available: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/166026/VN\\_2025\\_3.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/166026/VN_2025_3.pdf?sequence=4&isAllowed=y) (17.03.2025.)
- [16] Civil Protection Knowledge Network, *PREPAREU Project*. [Online]. Available: <https://civil-protection-knowledge-network.europa.eu/projects/prepareu>. (17.03.2025.)
- [17] European Commission, *Eurobarometer Survey on Public Perception*. [Online]. Available: <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/3228> (17.03.2025.)
- [18] European Environment Agency, *Economic Losses from Climate-Related Events*. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/economic-losses-from-climate-related>. (17.03.2025.)

# Illékony szerves vegyületek eltávolításának környezetbiztonsági aspektusai

## Environmental security aspects of the removal of volatile organic compounds

Bencsik Dániel  
Nemzeti Közszerológati Egyetem  
doktorandusz  
Email: bencsik.daniel@uni-nke.hu  
ORCID: 0000-0002-1131-0317 

### Absztrakt:

A fenntartható ivóvízellátás és a mezőgazdasági felhasználások iránti növekvő igény miatt a szennyvíz újra hasznosítása egyre nagyobb jelentőséggel bír. Hozzájárul a korlátozott édesvízforrásoktól való függés csökkentéséhez, és a vízkészletek megőrzése által enyhíti az éghajlatváltozás hatásait. Az újrahazsnosítás fontos szempontja azonban, hogy a fogyasztókhoz ne jussanak el veszélyes szennyezőanyagok. A tanulmány célja olyan számítógépes szimulációk alkalmazásának bemutatása, amelyek képesek számszerűsíteni az illékony szerves komponensek eltávolítását a kezelés és újrahazsnosítás során, tekintettel az üzemeltetési költségekre és a tisztított víz minőségére. A kutatás keretében elkészült egy biológiai szennyvíztisztító létesítmény modellje – aktívzén-szűrőkön alapuló utókezeléssel –, amellyel számszerűsíthető az üzemeltetési paraméterek üzemi- és karbantartási költségekre, valamint az elfolyóvíz-minőségre gyakorolt hatása. A szimulációs eredmények igazolják, hogy a biomasza tartózkodási idejének növelésével csökkenthető az aktívzén-szükséglet, különösen a 6 napnál rövidebb tartományban; azonban, környezetbiztonsági szempontból az ezen érték alatti üzemeltetés mindenképp kerülendő, a mikroszennyezők exponenciális koncentráció-növekedése miatt. Érzékenységvizsgálat alapján 10-12 nap tartományú iszap tartózkodási idő biztosítása mellett optimálható az energiaszükséglet – a biológiai kezelés levegőellátásának hatékony szabályozásával együtt. Üzemi haváriák esetén, modellkísérlet alapján gyors és hasznos beavatkozásnak bizonyult az intenzifikált levegőztetés, amely az illékony szennyezők hatékonyabb sztrippelését<sup>1</sup> biztosítja az aktívzén-oszlopokra való betáplálás előtt. A kutatás rávilágít a modellezés által nyújtott lehetőségekre a fenntartható üzemállapotok és haváriatervek kialakításában szennyvíz-újrahazsnosításnál.

Kulcsszavak: környezetbiztonság, mikroszennyezők, modellezés, szennyvíz, VOC

### Abstract:

With the growing demand for sustainable drinking water supplies and agricultural applications, the practice of wastewater reuse is becoming increasingly important. It contributes to reducing our dependence on limited freshwater sources and mitigating the effects of climate change by conserving water resources. Regarding the recycling of wastewater, however, it must be ensured that hazardous pollutants do not reach consumers. This paper aims to present an application of mathematical modelling to quantify the removal of volatile organic components during treatment and reuse, with regard to operating costs and treated water quality. The study features the model setup of a biological wastewater treatment plant – with post-treatment supplemented by activated carbon filters –, with the goal of quantifying the impact of process parameters on operating and maintenance costs, among effluent water quality. Results of the model simulation demonstrate that increasing the retention time of biomass reduces activated carbon consumption, especially within a range shorter than 6 days; however, from the perspective of environmental security, an operating status below this value should be avoided due to an exponential increase in micropollutant concentrations. Sensitivity analysis has shown that energy demand can be optimised by operating the facility with a sludge residence time in the range of 10-12 days – provided that air supply to biological treatment trains is efficiently regulated. Model runs have shown that, in case of operational emergency scenarios, intensified aeration is a swift and useful operator intervention that provides more efficient stripping<sup>1</sup> of volatile pollutants before loading onto activated carbon columns. The research highlights the potential of dynamic modelling in implementing sustainable operating conditions and emergency planning in wastewater reuse.

Keywords: environmental security, micropollutants, modelling, VOC, wastewater

<sup>1</sup> Sztrippelés: oldott gázok kihajtása a folyadékból

<sup>1</sup> Stripping: driving out dissolved gases from the liquid

## 1. BEVEZETÉS

A nyersanyagfogyasztás és a szennyezőkibocsátások az emberi közösségek fejlődése és növekedése során hajlamosak bizonyos területeken koncentrálni. A környezetre gyakorolt folyamatos antropogén hatások miatt figyelmet kell szánni a modern civilizáció szempontjából kulcsfontosságú közművek biztonságos üzemeltetésére. Nem szabad megengedni, hogy bizonyos, az emberi egészségre káros anyagok eljussanak a fogyasztókhoz, illetve, hogy a környezeti tényezőket hátrányosan befolyásolják.

A szennyvíz újrahasznosításának gyakorlata egyre nagyobb jelentőséggel bír az ivóvízforrások iránti növekvő igény, valamint a fenntartható mezőgazdasági gyakorlat elterjedése miatt. Hatékonyan csökkenti a korlátozott édesvízforrásokra nehezedő nyomást, és a tisztított szennyvízből növényi tápanyagok visszanyerését teszi lehetővé. Az alacsony jövedelmű országokban jelentős kockázatot okoz a kezeletlen szennyvíz közvetlen használata vagy a szennyezett vízfolyások közvetett felhasználása [1].

Scheierling és mtsai. (2011) iránymutatást adtak a tisztított szennyvízzel kapcsolatos stratégiai terv kidolgozásához, és kiemelték a szennyvízkezeléssel kapcsolatos döntéshozók paradigmaváltásának szükségességét [2, pp. 420-440.]. Az újonnan felmerülő, aggodalomra okot adó szennyezőanyagok kiemelt figyelmet kaptak, a velük kapcsolatban ismert vagy vélt környezeti és egészségügyi kockázatok miatt [3].

Az illékony szerves vegyületek<sup>2</sup> (VOC) közül, amelyek természetes és mesterséges forrásokból egyaránt kerülnek a környezetbe, a benzol, a toluol, az etilbenzol és a xilol<sup>3</sup> izomerjei (BTEX) a legjelentősebbek közé tartoznak [4, pp. 476-482.]. Mérgező és karcinogén jellegük miatt figyelmet kell fordítani a kezelőüzemekben dolgozó személyzet és az üzemek közelében élők egészségére. A BTEX-vegyületek emberi egészségre gyakorolt lehetséges káros hatásai kiterjednek az idegrendszerre, a májra, a szívre és a vesére [5].

## 2. ILLÉKONY SZERVES VEGYÜLETEK ELTÁVOLÍTÁSÁNAK MODELLEZÉSE

A szennyvíztisztítás során az illékony szerves komponensek különböző utakon, például biológiai lebomlással, szorpcióval (megkötéssel) és sztrippeléssel (a folyadékból történő kihajtással) távoznak. A kommunális szennyvízkezelés azonban főképp csak részleges csökkenést biztosít a VOC-k kezdeti koncentrációjához képest a nyers szennyvízben. A szennyezőanyag-koncentrációk jelentős csökkentéséhez a biológiailag kezelt víz további tisztítására van szükség, elsősorban fizikai-kémiai módszerekkel [6].

### 2.1 VOC-k eltávolítási mechanizmusai

A biológiai szennyvíztisztítási folyamatok során a szerves vegyületeket mikroorganizmusok metabolizálják<sup>4</sup>, széntartalmukat az eleveniszapos medencékben a lebegő biomassza szubsztrátként<sup>5</sup> használja fel a növekedéshez. Mello és mtsai. (2019) bizonyos VOC-k 99%-os eltávolítási hatékonyságát érték el kötött biomasszát alkalmazó aktívszén-töltettel, ezáltal a biológiai lebontást kombinálva az adszorpcióval, tehát a fizikai-kémiai megkötés folyamatával [7].

<sup>2</sup> Volatile organic compound - VOC: illékony szerves vegyület

<sup>3</sup> Benzol, toluol, etilbenzol, xilolok - BTEX

<sup>4</sup> Metabolizmus: biokémiai anyagcsere-folyamat, amelyet a környezetvédelmi biotechnológiában szennyezőanyagok eltávolítására alkalmaznak

<sup>5</sup> Szubsztrát: biokémiai reakcióban átalakuló komponens, amelyet a mikroba képes felhasználni a szaporodáshoz

Bár napjainkra már számos fejlett, például membránokon [8, pp. 440-445.], mikroalgákon [9, pp. 101-107.] vagy szén nanocsöveken [10, pp. 1005-1025.] alapuló technológiát fejlesztettek ki, e tanulmánynak nem célja, hogy átfogó áttekintést adjon a területen alkalmazott legkorszerűbb technikákról; a BTEX-eltávolítás módszertanára és továbbfejlesztésére összpontosít.

Lee és mtsai. (1998) olyan vegyületek biológiai lebomlásának modellezése felé tettek jelentős lépést, amelyek az eleveniszaphoz adszorbeálódnak, közvetlenül fokozva azok lebomlását és csökkentve az elfolyó vízzel való távozásukat. Emellett megállapították, hogy a közepes vagy nagy illékonysággal rendelkező vegyületek sztrippelése, azaz kihajtása a medencék vízfelületéről jelentős lehet [11, pp. 1118-1131.]. Pomiès és mtsai. (2012) 18 matematikai megközelítést gyűjtöttek össze a mikroszennyező anyagok szennyvízből való eltávolításának modellezésére, és a legtöbb szerző álláspontja alapján arra a következtetésre jutottak, hogy csak az oldott mikroszennyező anyagok bonthatóak le biológiailag, bár fontos megjegyezni, hogy nem találtak kísérleti bizonyítékot ennek az állításnak az alátámasztására. Az egyszerűsített (elsőrendű kinetikán alapuló) matematikai megközelítések nem veszik figyelembe az összetett metabolikus útvonalakat és a szennyvíztisztítás különböző fokozatai közötti kapcsolatokat, illetve nem tükrözik az üzemeltetés során fellépő dinamikus viselkedést. Mindezek ellenére, ezen modellezési eszközök hasznosak a mikroszennyező anyagok eltávolítási folyamatainak megértését célzó kutatások elvégzésében, de még nem állnak készen a folyamattervezésben való felhasználásra [12, pp. 733-748.].

E tanulmány célja, hogy bemutassa a VOC-tartalmú szennyvíz kezelését és újrafelhasználását modellező numerikus eszközök gyakorlati alkalmazását. Ezek leírják a szennyezőanyagok sorsát a szennyvíztisztító telepeken olyan dinamikus matematikai módszerek segítségével, amelyek képesek alkalmazkodni az üzemeltetésben bekövetkező változásokhoz. A tanulmány újdonsága abban rejlik, hogy a módszereket teljes üzemkonfigurációra alkalmazza, továbbá az üzemeltetési költségek minimalizálásának és a szennyvízminőség javításának lehetőségeit együttesen vizsgálja. Feltárja két kulcsfontosságú üzemeltetési tényező – az iszap tartózkodási idő és a levegőellátás – BTEX-lebontásra és -sztrippelésre gyakorolt hatását.

## 2.2 Modellalkotás

A szennyvíztisztítási folyamatok modellezése összetett és több almodellt foglal magában, mint például a vízmérleg modellje, a befolyó szennyvíz összetevőinek modellje [13, pp. 283-293.], a fázisátvitelmodell [14, pp. 473-479.], a gáz-beoldódási modell, a folyamatszabályozási modell és a biokinetikai modell. A biokinetikai modellezés széles körben alkalmazott megközelítés a szennyvíztisztító rendszerekben lejátszódó biológiai folyamatok leírására. A biokinetikai modellek közé tartoznak az eleveniszap-modellek, amelyek a mikroorganizmusok viselkedését szimulálják az egyik legelterjedtebb szennyvíztisztítási technológia biológiai reaktorában, az eleveniszapos medencében [15, pp. 165-182]. Az üzemszintű modellek ezzel szemben egy teljes létesítményre kiterjednek, fejlettebb tisztítási folyamatok szimulációs képességeit biztosítják. Több részfolyamatot is figyelembe vesznek; mint például az iszapkezelés, a pH és a kémiai egyensúly, a csapadékképzés és a gáz-folyadék anyagtranszport. Mindezek segítségével üzemkonfigurációkat tesznek lehetővé, amelyek például mechanikai előkezelést vagy akár szennyvíz-újrahasznosítási fokozatot is magukba foglalnak. Ezek a modellek a létesítmények energiagazdálkodására és üzemeltetési költségeire is kiterjeszthetők, továbbá képesek figyelembe venni a berendezések üzemeltetési korlátait az iparbiztonság tekintetében [16, pp. 1023-1036.].

A Nemzetközi Vízügyi Szövetség iránymutatásokat tett közzé a szennyvíztisztítás területén alkalmazott jó modellezési gyakorlatról. A protokoll keretét biztosít a matematikai modellek kidolgozásához és alkalmazásához, és célja annak biztosítása, hogy a modelleket szabályszerűen és következetesen használják. Az iránymutatások olyan témaköröket tárgyalnak, mint a modellalkotás, a verifikáció, az érzékenységvizsgálat és a bizonytalanság-elemzés [17].

A tanulmány céljának megfelelően a kézirat feltárja a VOC-eltávolítás kommunális szennyvíztisztításban való alkalmazásait, a létesítményszintű modellezésben rejlő lehetőségek bemutatásán keresztül. Ezek segítségével összekapcsolhatóak a szennyvíz tisztítására és a víz újrafelhasználására irányuló kezelés koncepciói. A legjelentősebb eltávolítási mechanizmusok – biokémiai reakciók és gáz–folyadék egyensúly – a leghatékonyabban a Gujer-mátrix formátumban írhatóak le [18]. A mátrix tartalmazza a kémiai sztöchiometriai együtthatókat és a folyamatok sebességét, amelyekből a közönséges differenciálegyenletek kibonthatók és számítógépes algoritmusok segítségével megoldhatók. Biokinetikai modellekben az állapotváltozók (komponensek) tömeg egyensúlyának matematikai leírása egyszerűsített áramlási viszonyokra alapozó skaláris transzportegyenletekre támaszkodik, ahol a diffúziós sebességeket elhanyagolhatónak feltételezzük – ezek általános formáját az (1) egyenlet írja le.

$$V_r \frac{dC_i}{dt} = Q_{in}(C_{i,in} - C_i) + \text{rate}F_{C_i}, \quad (1)$$

ahol  $V_r$  a reaktor hasznos térfogata ( $m^3$ ),  
 $C_i$  az  $i$ -edik komponens koncentrációja ( $g/m^3$ ),  
 $Q_{in}$  a betáplált szennyvíz hozama ( $m^3/d$ ),  
 $C_{i,in}$  az  $i$ -edik komponens koncentrációja a betáplált szennyvízben ( $g/m^3$ ),  
 $\text{rate}F_{C_i}$  az  $i$ -edik komponens egységnyi tömegre vonatkoztatott reakciósebesség ( $g/d$ ).

E tanulmány céljainak eléréséhez, továbbá a szimulációk gyorsasága és átláthatósága érdekében a MiniSumo nevű folyamatmodell szolgál alapul biokinetikai modellként – amely a nyílt forráskódú szimulációs platformon, a Sumo22 keretében érhető el. Ugyanis ez egy egyszerű, de jól kalibrált üzemszintű modell, ami a szennyvíztisztítás legfontosabb és legáltalánosabb alapfolyamataira összpontosít; név szerint az egylépéses nitrogéneltávolításra, a mikrobák oxigénszükségletére és az iszaptermelésre, -kezelésre [19]. A modellben a biológiai reakciók párhuzamosan zajlanak le, a BTEX-vegyületek teljes mértékben szén-dioxiddá és biomasszává alakulnak át. Feltételezett, hogy a szénlebontásra alkalmas biomasszának egy közös csoportja metabolizálja a BTEX-szennyezőanyagokat. A metabolizmus során a mikroorganizmusok vagy oxidálják őket oldott oxigén jelenlétében, vagy pedig oxigénmentes környezetben távolítják el őket, amikor csak nitrátionok állnak rendelkezésre (denitrifikáció során). Eltérő esetben –  $O_2$ , illetve  $NO_3^-$ -ionok hiányában – a vegyületek erjedés útján kerülnek lebontásra. Oxigén jelenlétében a metabolikus útvonalak reakciósebessége nagyobb, mint az oxigénhiányos körülmények között végbemenő reakcióké [20, pp. 279-293].

A tisztítás során fontos figyelembe venni a VOC-k szennyvízből légkörbe kerülését. Ezen illékony vegyületek gáz- és folyadékfázis közötti átadását Fick kétfilm-elméletével számszerűsítjük. A MiniSumo gáz-folyadék átadási koncepciója egyaránt képes az oldható gázok folyadékba való beoldódásának, és a folyadékból történő kihajtásának, sztrippelésének modellezésére. Az egyensúlyi folyamat állapotváltozókra gyakorolt hatását a folyamatmodell Gujer-mátrixa írja le [21]. Fick első törvénye szerint egy gáznemű komponens átadási sebességét a (2) egyenlet írja le általános módon, ahol az oldódás vagy a sztrippelés hajtóerejét a telítési koncentráció és a folyadékfázis koncentrációjának különbsége határozza meg.

$$\frac{dC_i}{dt} = k_L a_i \cdot \overbrace{(C_i^* - C_i)}^{\text{hajtóerő}} \quad (2)$$

$C_i^* > C_i \rightarrow$  oldódás  
 $C_i^* < C_i \rightarrow$  sztrippelés

ahol  $k_L a_i$  a folyadékoldali anyagátadási együttható ( $1/d$ ),  
 $C_i^*$  az  $i$ -edik gáznemű állapotváltozó telítési koncentrációja a folyadékfázisban ( $g/m^3$ ).

A Higbie-féle penetrációs elmélet alapján a folyadékoldali tömegátadási együttható értékei az  $O_2$  és a többi oldott gázkomponens diffúziós tényezője alapján arányosan kiszámíthatók [22, pp. 365-388.]. Az elméletet Jiang és mtsai. (2010) alkalmazták VOC-k sztrippelésének becslésére levegőztetett medencékből [6, 1189-1196.].

A Fick-törvény szerint, amint azt a (2) egyenlet szemléltette, egy komponens telítési koncentrációja – az oldhatósági határ a folyadékban – dönti el, hogy az egyensúlyi folyamat az oldódás vagy a sztrippelés irányába mozdul-e el.

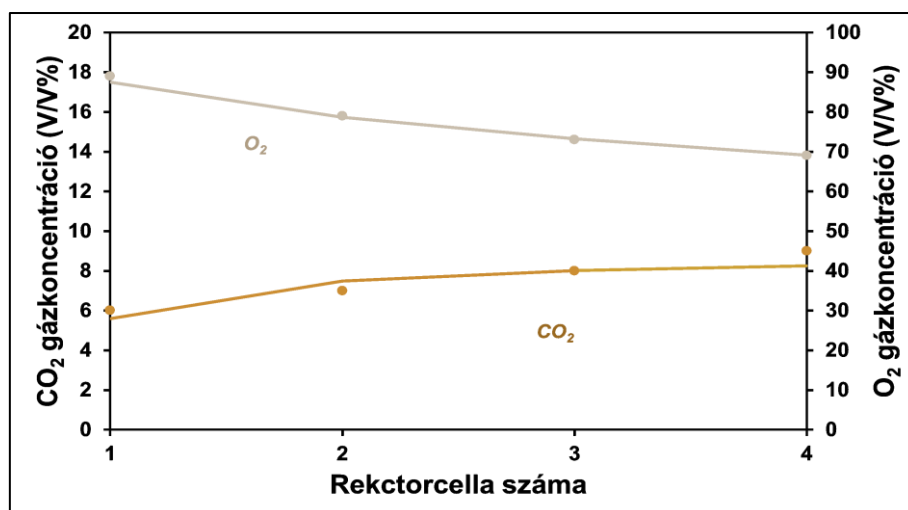
A folyadékfázis telítési koncentrációit a Henry-törvény értelmében a komponensek parciális nyomása alapján, a gázösszetételre vonatkoztatva számoljuk [23, pp. 4399-4981.].

### 2.3 A modell verifikációja

Egy modell verifikálása során a szimulációs eredményeket különböző üzemi körülmények között (lehetőleg különböző műszaki konfigurációkból vagy létesítményekből) szerzett mért adatokkal összevetve teszteljük [17]. A tanulmányban a gázoldás/sztrippelés modelljének érvényességét a reaktorokból távozó gáz összetételén keresztül lehet értékelni, megerősítést kapva, hogy a numerikus módszerek képesek számszerűsíteni az oldható gáznemű komponensek átadásából származó anyagáramokat. Ez a cikk két kiválasztott szennyvízkezelési technológián vizsgálja az elmenőgáz-koncentrációk előrejelzésének pontosságát; egy zárt gáztérrel rendelkező nagy tisztaságú oxigén alapú levegőztetett rendszeren – a gáztér  $O_2$ - és  $CO_2$ -tartalma alapján –, és egy hagyományos eleveniszapos telepen – ahol az  $N_2O$ -kibocsátást mérték a medence folyadékfelületén. Az ellenőrzésre kiválasztott első konfiguráció a kaliforniai Sacramentóból származó nagy hatásfokú félüzemi rendszer, amelynek célja csak a szervesanyag-eltávolítás, és amely négy reaktorcellával (egy reaktorkaszkáddal) rendelkezik. Ezenkívül a nagy tisztaságú oxigén technológia első generációján alapul, amely mechanikus levegőztetést alkalmaz a folyadékfelület feletti zárt gáztérrel.

A levegőztető medencék fedettek, oxigéndús környezetet és hatékony anyagátadást fenntartva, és ilyen körülmények között a szén-dioxid, amelyet rendszerint a légkörbe juttatnak, felgyülemlik a gáztérben; pontos alapot szolgáltatva a gáz-folyadék transzport modell ellenőrzésére, a gázok anyagmérlegének nyomon követésére. Ezek a kísérleti üzemek meglehetősen stabil terhelési körülmények között üzemeltethetők, ami lehetővé teszi a koncentráció-gradiensek összehasonlítását gyakorlatilag állandósult állapotban. A biológiai kezelés során a folyadékfázisban a széndioxid-termelés az oxigénfogyasztáshoz kapcsolódik, 1 mól  $O_2$  felhasználása 1 mól  $CO_2$  keletkezésével jár, ezért az oxigénfelvételi és -átadási sebességek pontos szimulációja mellett a gázfázis modellje tesztelhető a  $CO_2$  koncentrációprofilok robusztus előrejelzése tekintetében [24].

A pH-modellezés kulcsfontosságú volt a befolyó  $CO_2$ -tartalom megfelelő beállításához – ami a kémiai egyensúlytól függ –, csakúgy, mint a belépő gázáram pontos beállítása a gázfázis anyagforgalmának reprodukálása érdekében. Az 1. ábrán látható állandósult állapotú eredmények szerint a modellezett  $O_2$ - és  $CO_2$ -gradiensek – folyamatos vonalakkal ábrázolva – a reaktorkaszád gázterének mentén jó egyezést mutatnak Stenstrom (1990) adatpontjaival [24, p. 79.]. A  $CO_2$  térfogatszázalékos értékei egy nagyságrenddel kisebbek, mint az  $O_2$  esetében, így a szimulált értékek több számjegyet szolgáltatnak, mint a forrásadatok; és a koncentrációk a sorba kapcsolt reaktorcellák mentén kialakuló áramlásra (dugóáramlásra) jellemző trendet mutatják, hasonlóan az  $O_2$  gázkoncentrációs adatpontokhoz.

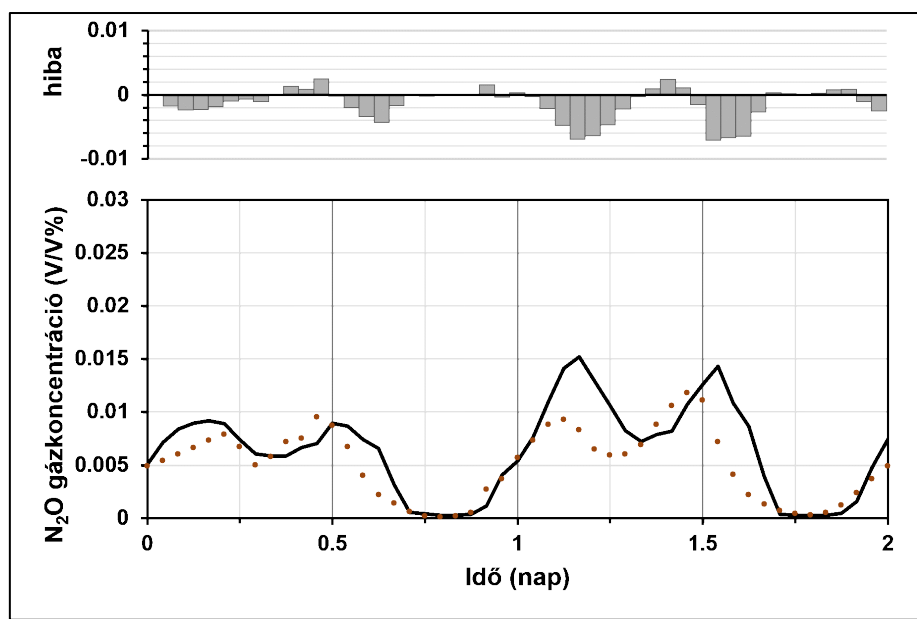


1. ábra: Modell verifikáció O<sub>2</sub>-, CO<sub>2</sub>-gradiens alapján (készítette a szerző, forrás: ld. [24])  
 Üzemi körülmények – víz hőmérséklet: 19,5 °C, vízhozam: 144 m<sup>3</sup>/d, reaktortérfogat: 6,4 m<sup>3</sup>;  
 befolyó szervesanyag-tartalom: 217 mg KOI/l<sup>6</sup>, összes nitrogén: 70 mg N/l; légbeviteli mód:  
 felületi mechanikus levegőztetés, 97 V/V% bemenő O<sub>2</sub>

Az időben változó (tranzien) gázfázis-modell ellenőrzésének referencialétesítménye egy teljes nitrogéneltávolítást biztosító eleveniszapos rendszer az új-zélandi Aucklandben. A biológiai reaktorok négy párhuzamos terhelési sora öt levegőztetés nélküli és hét levegőztetett cellából álló kaszkádkonfigurációban üzemel, amelyben a reaktorok alján elhelyezett finombuborékos levegőztető elemek szolgáltatják az oxigénbevitelt. A verifikációhoz az utolsó levegőztetett egységből mintázott folyamatos, szondával mért adatok a modell által előrejelzett N<sub>2</sub>O gázkoncentrációkkal lettek összehasonlítva. A gázfázis koncentrációja a levegőztetett tartály felületére helyezett gázbúrák segítségével lett regisztrálva. A konfigurációban fontos volt a befolyó szennyvíz jellemzése annak érdekében, hogy az eleveniszap koncentrációja és oxigénigénye tükrözze a valós rendszerét, valamint a levegőztető elemek hatékonysági jellemzőinek beállítása és a levegőztetési modell finomhangolása a szennyeződési állapotuknak megfelelően, hogy az O<sub>2</sub>-bevitel pontosan szimulálható legyen, és alapul szolgálhasson egyéb gázok sztrippelésének számításához.

A 2. ábra Nikolova-Kuscu és mtsai. (2024) által végzett N<sub>2</sub>O mérések (pontokkal ábrázolva) és az N<sub>2</sub>O számítások (folytonos vonalként ábrázolva) 2 napos napszakos profilját, valamint a kettő közötti abszolút hibát illusztrálja [25, p. 7.]. Az első napi mintavételezés szoros illeszkedést mutat, a hiba kisebb, mint 0,005 V/V%, és a második nap során is reprodukálhatóak a dinamikus trendek, de a terheléssel járó két csúcspont csak kevésbé pontosan sikerült kiszámítani, ugyanis a hiba elérte a 0,007 V/V%-ot. Feltételezhető, hogy a befolyó szennyvíz időbeli jellemzésére vonatkozó adatok felbontása nem volt elegendő – az ammóniumkoncentrációra vonatkozó mintavételek gyakorisága nem volt kellően nagy – a csúcsok pontos rögzítéséhez. Az utolsó levegőztetett cellában az oldottoxigén-koncentráció is ingadozott, így a nem optimális levegőztetés-szabályozás is okozhatta az N<sub>2</sub>O-termelés változékonyságát. Az N<sub>2</sub>O-koncentrációkat a folyadékfázisban egyidejűleg mérték, ami lehetővé tette a biológiai N<sub>2</sub>O-termelés (a folyékony fázisban) és az N<sub>2</sub>O-kibocsátás (gázfázisba való sztrippelés) jobb megértését. A regisztrált és a modellezett oldott N<sub>2</sub>O-koncentrációk, amelyek a mintavétel napszakos időszakában hasonlóan illeszkedő tendenciát mutattak, lehetővé tették a kezelés során N<sub>2</sub>O-termelést számszerűsítő modell ellenőrzését, és alátámasztották a gáz-folyadék átadási számítások érvényességét [25].

<sup>6</sup> Kémiai oxigénigény - KOI: a szennyvíz szervesanyag-tartalmának vegyszeres (kálium-dikromát alapú) oxidációjához szükséges O<sub>2</sub> mennyisége



2. ábra: Modell verifikáció  $N_2O$ -profil alapján (készítette a szerző, forrás: ld. [25])  
 Üzemi körülmények – hőmérséklet: 19,8 °C, hozam: 67 392 m<sup>3</sup>/d, reaktortérfogat: 28 200 m<sup>3</sup>;  
 befolyó szervesanyag-tartalom: 705 mg KOI/l, összes nitrogén: 59 mg N/l; légbeviteli mód:  
 finombuborékos levegőztetés, 21 V/V% bemenő O<sub>2</sub>

A kísérleti és üzemi reaktorokon alapuló gázfázis-modell verifikáció eredményei megerősítik, hogy a gáz-folyadék átviteli módszertan alkalmazható mind az O<sub>2</sub>-beoldódásra, mind pedig más oldott gázok sztrippelésére a szennyvíztisztítás során. Myers és mtsai. (2021) szintén megerősítették, hogy a diffúziós képességen alapuló Higbie-elmélet megbízható becslést ad a gázok tömegátadási együtthatójára, összekapcsolva az ismert O<sub>2</sub> tömegátadási adatokkal adott keverési körülmények között [26, pp. 641-651.]. Jelen tanulmány igazolja, hogy a szennyvíz terhelési viszonyaival szinkronizált dinamikus oxigénátadási modell kompatibilis más gáznemű komponensek anyagforgalmának térbeli és időbeli előrejelzésére is.

## 2.4 Modellbeállítások

A VOC-eltávolítási modell alkalmazásainak bemutatása céljából a Nemzetközi Vízügyi Szövetség Benchmark Simulation Model 1<sup>7</sup> (BSM1) tesztkonfigurációjának egy változata lett összeállítva a Sumo22 szimulációs szoftverben. A tanulmány az iszap tartózkodási idő és levegőellátás függvényében vizsgálja az energiafogyasztás csökkentésének és a vízminőség javításának lehetőségeit. Sort kerít egy kockázatelemzési esettanulmányra az üzemeltetés során fellépő lehetséges vészhelyzeti forgatókönyvek figyelembevételével. A kiválasztott technológiai séma egy szimulációs referenciatelep, amely viszonylag egyszerű, szabványos szennyvíztisztító létesítményt határoz meg a definiált befolyó terhelésekkel, és amelynek célja a rendszer teljesítményének értékelése egy adott kritériumrendszer szerint.

A BSM1 üzem egy öt részre tagolt eleveniszapreaktor-kaszkádot tartalmaz, amely a biológiai nitrogéntávolítás eléréséhez széles körben elfogadott elrendezés, két levegőztetés nélküli (anoxikus) és három levegőztetett (aerob) zónából áll. A reaktorkaszád után utóülepítő látja el a fázisszétválasztást [27]. Az 1. táblázat foglalja össze a referencialétesítmény főbb jellemzőit, az átlagos száraz időjárási körülmények tekintetében.

<sup>7</sup> Benchmark Simulation Model 1 - BSM1

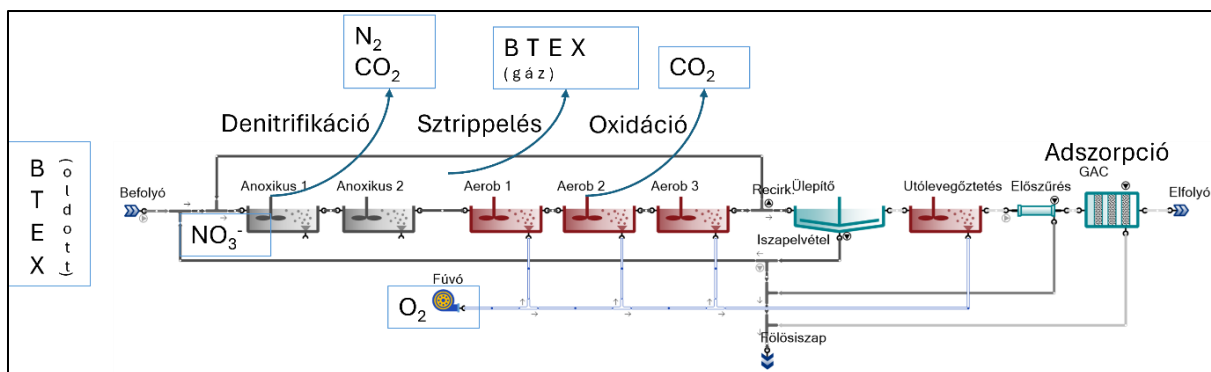
| Paraméter                    | Érték  | Mértékegység      |
|------------------------------|--------|-------------------|
| Nyers szennyvíz              |        |                   |
| Vízhozam                     | 18 446 | m <sup>3</sup> /d |
| Hőmérséklet                  | 20     | °C                |
| Szervesanyag-tartalom        | 360    | mg KOI/l          |
| Oldott szervesanyag-tartalom | 144    | mg KOI/l          |
| Összes nitrogén              | 47     | mg N/l            |
| Ammónium-nitrogén            | 30     | mg N/l            |
| Műtárgyak                    |        |                   |
| Anoxikus 1 zóna térfogat     | 1 000  | m <sup>3</sup>    |
| Anoxikus 2 zóna térfogat     | 1 000  | m <sup>3</sup>    |
| Aerob 1 zóna térfogat        | 1 333  | m <sup>3</sup>    |
| Aerob 2 zóna térfogat        | 1 333  | m <sup>3</sup>    |
| Aerob 3 zóna térfogat        | 1 333  | m <sup>3</sup>    |
| Utóülepítő felület           | 1 500  | m <sup>3</sup>    |
| Utóülepítő vízmélység        | 4      | m                 |

1. táblázat: BSM1 rendszer fő bemenő paraméterei (készítette a szerző, forrás: ld. [27])  
A terhelési paraméterek Vanhooren és Nguyen (1996) által javasolt, a BSM1 szabványos bemeneteiként használt adatok. A referencia-adatbázis egy nagyléptékű eleveniszapos üzem mérései alapján szolgáltat adatokat különböző időjárási viszonyokra [28].

A BSM1 elrendezés mellett a Sumo22 empirikus fúvó- és szivattyúmodelljei is alkalmazhatóak a levegőztetéssel és szivattyúzással kapcsolatos energiaigény és -költségek meghatározására. Üzemeltetési stratégiai szempontból a folyamatmodellezés költségcsökkentési lehetőségeket tárhat fel a szabályozási stratégiák kikísérletezésével, és rámutathat a környezetvédelmi előírások betartásához szükséges beavatkozásokra. A Sumo22 egy nyílt forráskódú környezet, amelyet dinamikus környezeti modellezésre fejlesztettek ki, különös tekintettel a települési és ipari szennyvíztisztító telepekre [19].

A 3. ábra alapján a tanulmány az eredeti BSM1 konfigurációt granulált aktív szén<sup>8</sup> (GAC) eljárással és ezt megelőzően mikroszűrőssel egészíti ki. Utóbbira azért van szükség, hogy mechanikai védelmet nyújtson a GAC-oszlopok előtt, leválasztva a túlfolyó lebegő anyagokat az ülepítés után. A GAC-egység folyamatmodellje a kimerült ágy cseréjének gyakoriságát a közeg szerves-szénadszorpciós kapacitása és az eltávolított oldott szerves anyagok terhelése alapján határozza meg, következtetve az aktív-szén-fogyasztásra. A tanulmányban a teljes ágytérfogat 50 m<sup>3</sup>; a BSM1 rendszerhez kapcsolódó szennyvíz-minőség és -mennyiség mellett ez körülbelül havonta egy ágycserét tesz szükségessé, feltételezve, hogy az ágy sűrűsége 450 kg/m<sup>3</sup>, és hogy az oldott szerves-szénadszorpciós kapacitása 0,18 g C/g GAC, üzemeltetési tapasztalatok alapján. A mikroszűrőket és a GAC-egységeket félórás, illetve napi ciklusokban iparbiztonsági okokból vissza kell mosni, hogy a lebegő komponensek ne okozzanak eltömődést a szűrőn és a szemcsés közegen. A Sumo22 programban az ágy cseréje automatikusan számítható a megkötött szerves vegyületek tömegárama alapján, szimulálva, ahogy egy kezelőműben karbantartáskor időszakosan eltávolítanák a kimerült töltetet és telepítenének új töltetet, amikor a közeg áttörési pontját eléri. Az ülepítés után egy további, 0,3 óra hidraulikus tartózkodási idejű utólevegőztető zóna biztosítja a szennyvíz minőségéhez szükséges oldott-nitrogén-szint fenntartását. A befolyó víz a BTEX-összetétel tekintetében – a kommunális szennyvízben tipikus koncentrációknak megfelelően – 303 µg/l benzolt, 290 µg/l toluolt, 249 µg/l etilbenzolt és 933 µg/l xilolt tartalmaz [29, pp. 197-206.].

<sup>8</sup> Granular activated carbon - GAC: granulált aktív szén



3. ábra: Tanulmány modellkonfigurációja, BTEX-eltávolítási folyamatok (készítette a szerző)

A Sumo22 forgatókönyv-elemzési funkciójának használatával az iszap tartózkodási idő és az utólevegőztető tartályok léghozama bemeneti paraméterekként lettek meghatározva, amelyeket az állandósult állapotú szimulációk között vagy a dinamikus futtatások során módosítani lehetett. Így hatékonyan kiértékelhető a fűvő energiaigény, az éves aktív szén-szükséglet és az eltávolított BTEX-szennyezőanyagok mennyiségének változásai. A BSM1 iránymutatása szerint az iszap tartózkodási idő<sup>9</sup> (SRT) szabályozása érdekében a Sumo22 automatikusan állítja a fülösiszap elvételét. A BSM1 előírásain túlmenően az aerob reaktortérben az oldott oxigén-koncentráció az elfolyó ammónium-célérték alapján kerül szabályozásra, amelynek beállítása 0,6 mg N/l; 0,5 és 2 mg/l minimális és maximális megengedett oxigénkoncentráció mellett – a megfelelő keveredés biztosítása és a túllegeztetés elkerülése érdekében.

## 2.5 Számítógépes szimulációk kiértékelése

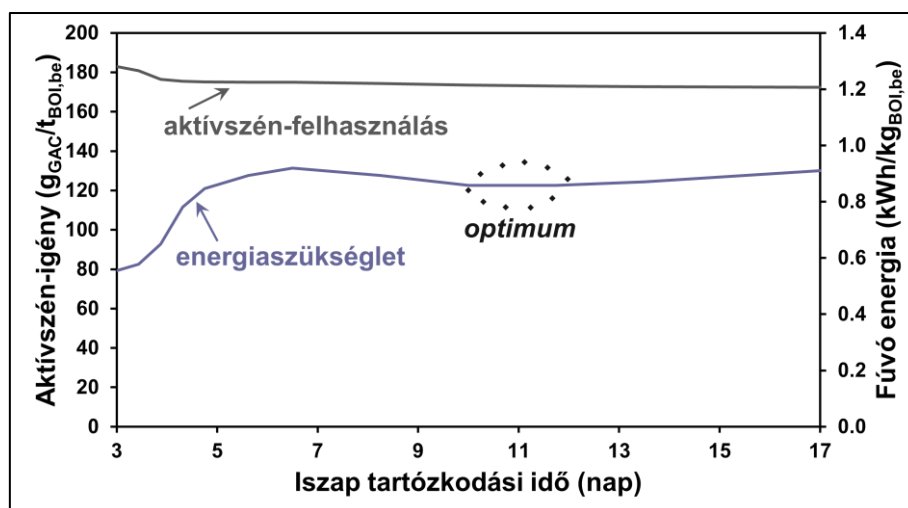
A szimulációs eredmények értelmezéséhez a modell kimeneti beállításai a szennyezőanyag-terhelésre, a szennyvíz-összetételi profilokra és a tisztítottvíz-minőségre vonatkoznak. Emellett kimeneti változóként lettek specifikálva az erőforrásokkal kapcsolatos számítások is, különös tekintettel a levegőztetési igényre és az aktív szén-fogyasztásra. A Sumo22 matematikai szolver algoritmusai látják el az üzemszintű modellezéshez szükséges differenciálegyenletek megoldását. Az esettanulmányok az iszap tartózkodási időre épülő érzékenységvizsgálatot és a haváriaesemény-elhárítás egy felhasználási esetét mutatják be. Ez utóbbi levegőztetés általi sztrippelésen keresztül biztosította a vízminőség stabilizációját.

### 2.5.1 Érzékenységvizsgálat az iszap tartózkodási idő alapján

Az első modellkísérletben a tesztkonfiguráció állandósult állapotban, száraz időszakra jellemző konstans beállításokkal futott a Sumo22 kombinált szolvereinek használatával. Az érzékenységvizsgálat futtatások sorozatát jelentette változó SRT-vel, számszerűsítve a fűvő teljesítményfelvételét és az időszakos GAC-ágycseréhez szükséges aktív szén tömegáramát. Ezekből a változókból és a BSM1 specifikációkra vonatkozó nyers szennyvíz befolyó jellemzőiből kiindulva a 4. ábra szemlélteti a befolyó biokémiai oxigénigényre<sup>10</sup> (BOI) vonatkoztatott levegőztetési energiafogyasztást és aktív szén-igényt, hogy általánosabb eredményeket kapjunk a referenciatelep kapacitásától függetlenül.

<sup>9</sup> Sludge retention time - SRT: iszap tartózkodási idő

<sup>10</sup> Biokémiai oxigénigény - BOI: a szennyvíz szervesanyag-tartalmának mikroorganizmusok általi oxidációjához szükséges O<sub>2</sub> mennyisége

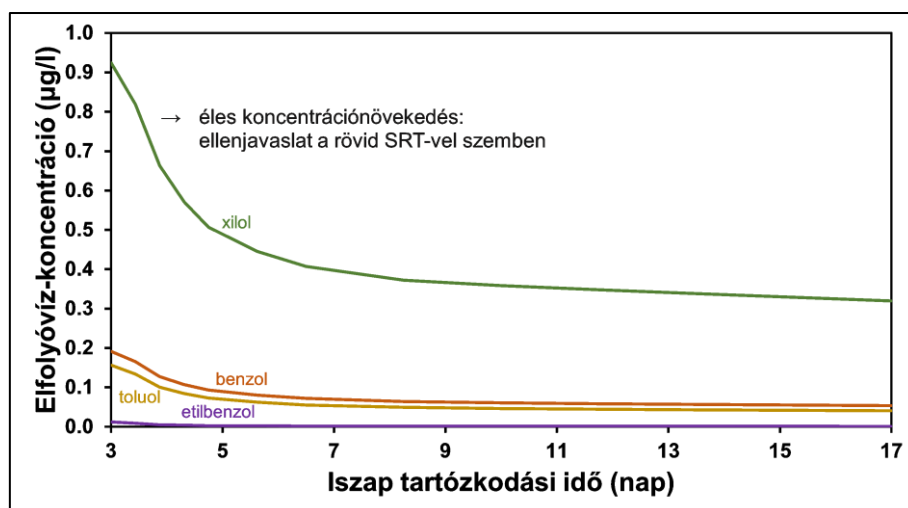


4. ábra: Szimulált erőforrásigény az SRT függvényében (készítette a szerző)

20 °C szennyvízhőmérséklet mellett az eredmények azt mutatják, hogy az aktívszén-szükséglet csökkenése a 3-6 nap SRT-tartományban a legjelentősebb, ugyanakkor a fűvő arányosan sokkal nagyobb teljesítményt igényel a megnövelt biomassza-koncentrációval járó oldottoxigén-igény kielégítéséhez. Ez az SRT-tartomány azonban nem jellemző szennyvíz-újrahasznosító rendszerekre, ugyanis magas vízhőmérsékleten is hosszabb tartózkodási időre van szükség a megfelelő tápanyag-eltávolításhoz, például a teljes nitrogéneltávolításhoz általában 10-15 nap szükséges. Ha az SRT e tartomány alá esik, a folyamat csak részleges eltávolítást biztosít. Ezzel szemben, ha az SRT meghaladja ezt a tartományt, a telep energiahatékonyságának veszteségével járhat [30, pp. 1-6.]. 6 nap felett az aktívszén-igény további csökkenése már kevésbé jelentős.

Ennek az az oka, hogy a GAC-oszlopok által kezelt szervesanyag-terhelés nagy része oldott, biológiailag nem lebomló szerves anyagokból áll, amelyek lebontása nem fokozható a biomassza tartózkodási idejének növelésével. Azonban az ammóniumkoncentráció visszacsatolásának bevezetésével, az oxigénellátás hatékony szabályozása érdekében, az SRT 6 nap fölé emelése bizonyos mértékig csökkenti a levegőztetési energiaszükségletet, mivel így az ammóniumoxidáló baktériumok számára kevesebb  $O_2$  is elegendő a kívánt ammónium-célérték eléréséhez. A szükségtelenül magas SRT specifikáció rontja az energiahatékonyságot, mivel a koncentrált iszap oxigénbevitelének összességében megnő. A BSM1 rendszer optimális SRT tartománya 10-12 nap az ammónia-vezérelt hatékony levegőellátás-szabályozással.

Az üzemeltetési költségek mellett a mikroszennyező anyagok eltávolításának mértéke szintén kiemelten fontos szempont a szennyvíz-újrahasznosításban. Ennek szemléltetése érdekében az 5. ábra a tisztított víz BTEX-koncentrációit mutatja az SRT függvényében. A BTEX-eltávolításban mutatkozó különbség a 3-6 nap SRT-tartományban a legjelentősebb, mivel a GAC-ágyon keresztül nagyobb mennyiségű szennyezőanyag kerül át, hiszen nem jutott elegendő idő a biomassza általi lebontásra. Következésképpen fontos kiemelni, hogy az eleveniszapos technológiát mindig felelősségteljesen szükséges üzemeltetni, nem engedve, hogy az SRT a tápanyag-eltávolításhoz szükséges szint alá csökkenjen, mivel a GAC-kezelés a felhasználási esettől függően (például mezőgazdasági célú újrafelhasználás, ivóvízellátás) nem biztos, hogy a terhelésben lévő többletet kellőképpen adszorbeálja a hatósági előírásoknak megfelelően [21]. Benstoem és mtsai. (2017) a mikroszennyező anyagok eltávolításának hatékonyság-csökkenését figyelték meg egy rosszul működő utóülepítőben, amelyben a fázissztérválasztás üzemzavara eleveniszap-elúszáshoz és biomassza-vesztéshez vezetett [31, pp. 105-118.].



5. ábra: Szimulált elfolyó BTEX-koncentrációk az SRT függvényében (készítette a szerző)

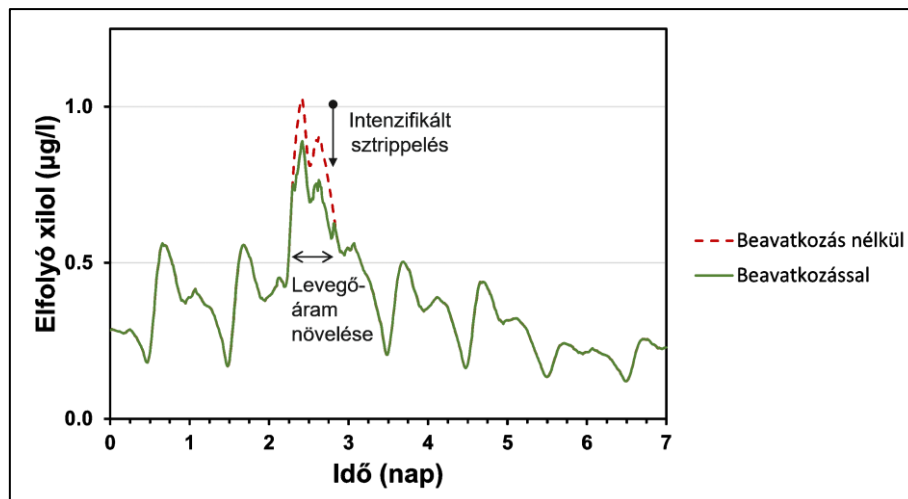
A 4. ábra eredményeiből következtetve, a GAC-egység terhelése nagyrészt oldott, nem biodegradálható vegyületek formájában van jelen; ezért csak korlátozott mértékben lehet csökkenteni a karbantartási költségeket az ágycsere gyakoriságának minimalizálásával, az eleveniszapos folyamat intenzifikálásán keresztül. Az 5. ábra alapján viszont megállapítható, hogy minél hatékonyabb a tápanyag-eltávolítás, annál jobb a szennyvíz minősége, beleértve az alacsonyabb BTEX-koncentrációkat is. A szennyvízből történő széneltávolítást célzó ultrarövid SRT-eljárások (<4 nap) nagy hatékonyságot mutatnak a szervesanyag-leválasztásban és a szennyvíztisztító telepek energia-visszanyerési arányának növelésében [32]. Mivel a szennyvíz-újrahasznosítás során a környezetbiztonságot is feltétlenül szükséges előtérbe helyezni, az ammónium-célértéken alapuló levegőztetés-szabályozás megvalósítása segíthet az SRT optimum meghatározásában az energiahatékonyság érdekében; ugyanakkor elkerülve a rövid SRT-hez köthető veszélyes üzemállapotokat, amelyek exponenciálisan növekvő mikroszennyező-koncentrációkhoz vezetnének.

### 2.5.2 Havária-elhárítási szcenárió

A második esettanulmány a létesítményszintű modellt dinamikus szimulációk keretében vizsgálta, időben változó befolyó terhelés mellett, a BSM1 szabványos vízmennyiségi és vízminőségi paramétereinek felhasználásával. Az előző szimulációs tanulmány szerinti átlagos száraz időszaki terhelési feltételek alapján elvégzett állandósult állapotú számítás követően a modell az egyhetes üzemidőnek megfelelő napi ingadozásokat szimulálta, vízhozam és nyers szennyvíz-koncentrációk tekintetében. A hét közepén egy további csapadékvíz-terhelés lett betáplálva, amely megduplázta a befolyó vízhozam-csúcsot. Ezzel egyidejűleg, a szervesanyag-terheléssel együtt a nitrogéntartalom is változott a csapadék megjelenésével [33, pp. 295-299.]. A 6. ábra a tisztított víz előrejelzett xilol-koncentrációjának két különböző heti profilját hasonlítja össze, ezek közül az egyik modellfuttatás a viharesemény alatt a hét többi részével összhangban lévő üzemállapotot tükrözte, a másik pedig vészhelyzeti reagálást iktatott be az esővíz által befolyásolt vízminőség stabilizálására.

Az előbbi eset eredményei működési változtatások nélkül: a szaggatott piros vonal azt jelzi, hogy a lehulló csapadék által okozott terhelési csúcsot követően a szennyvíz-kibocsátás xilolkoncentrációja meghaladta volna az 1 µg/l-t. Az utóbbi dinamikus modellfuttatás az utólevegőztető tartályok levegőellátásának növelésére irányuló üzemeltetői beavatkozást szimulálta. Az egyesített befolyó szennyvíz-terhelés hirtelen növekedésének idővonalához igazodva, 2,3 nap üzemidő elteltével a tartályfelületre vonatkoztatott léghezam 12-ről 48 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h-ra módosult és ez a változtatás fél napig tartott.

A csapadékvíz-esemény bekövetkezésével a hirtelen terhelésnövekedés figyelmeztetheti az üzemeltetőket, hogy arra reagálva változtassák meg az utólevegőztető tartályok léghozamát. A folytonos zöld vonal szemlélteti, ahogyan a kiugró xilolkoncentráció hatékonyan csökken ezzel a módosítással – tehát az idejében történő beavatkozásnak köszönhető intenzívebb VOC-sztrippeléssel a szennyvíz minősége stabilizálható.



6. ábra: Havária-tervezési szcenárió, elfolyó xilolkoncentráció példáján (készítette a szerző)

Az átlegegőztetés általi sztrippelés elősegíti a biológiai kezelést követően fennmaradó BTEX-szennyezők eltávolítását, amelyek koncentrációja sokkal kisebb, mint a többi fennmaradó szerves szennyezőanyag; így érdemben nem képes az aktív szén-igény minimalizálására, de potenciálisan hasznos a vízminőség stabilizációjára, biztonságos alternatívaként szolgál a kibocsátási előírások betartására üzemzavarok esetén.

A sztrippelés intenzifikálásának a VOC-koncentrációkra gyakorolt hatása rávilágít az üzemszintű modellek kockázatértékelésben való felhasználására. Egy vízbiztonsági terv szerinti megfelelő üzemeltetői felkészültséggel ez egy viszonylag gyors beavatkozással megvalósítható módszer lehet a vízminőség helyreállítására [34, pp. 87-96.], illékony mikroszennyező anyagok tekintetében. A hirtelenszerű csapadékvíz-terhelés esete alapján – amely a GAC-oszlopokra táplált xilol kiugró mennyiségét eredményezte –, a tisztított víz szervesszén-koncentrációjának vagy a befolyó víz hozamának folyamatos nyomon követése visszajelzőként vagy előrejelzőként szolgálhat az üzemeltetésben (helyszíni felügyeleti rendszerekkel összekapcsolva). Így időben változtathatnak a levegőellátáson a hatékonyabb VOC-sztrippelés érdekében, biztosítva az utókezelésből származó víz minőségi határértékeinek betartását.

### 3. KÖVETKEZTETÉSEK

A tanulmány az üzemszintű modellezés által nyújtott lehetőségeket tárta fel a szennyvíztisztítás és -újrahasznosítás területén, illékony szerves mikroszennyezők eltávolításának kérdéseinek vizsgálatával. A sztrippelést és a biodegradációt leíró kinetikai modellek matematikai szimulációs programban futtathatók, és ígéretes eszközként szolgálnak a szennyvíz-minőség becslésére, valamint az üzemek optimalizálására költség- és erőforrás-hatékonyság szempontjából.

A tanulmány modellkísérletei rámutattak a dinamikus modellezés lehetőségeire a környezetbiztonsági és -mérnöki területeken. Vizsgálták az eleveniszapos technológia üzemeltetési paramétereinek hatását bizonyos VOC-vegyületek eltávolítására, valamint a granulált aktív szén fogyasztására az utókezelés során.

Bár számos újonnan felmerülő veszélyes szennyezőanyag létezik, például gyógyszermaradványok, mikroműanyagok, nehézfémek, e tanulmánynak nem volt célja, hogy átfogó elemzést nyújtson az összes lehetséges mikroszennyezőről, amely a szennyvíztisztítás és -újrafelhasználás során keletkezhet.

A tanulmány verifikációs lépése a gázkibocsátások ellenőrzésével megerősítette, hogy az üzemszintű modell a várt módon működik – amely  $O_2$ - és  $CO_2$ -koncentrációkkal és az  $N_2O$ -kibocsátás előrejelzésével valósult meg. A módosított BSM1 telepkonfiguráció esetére – kombinált biológiai és aktívzén-alapú kezeléssel – a modell 99% feletti összesített eltávolítási hatásfokot számít a BTEX-komponensek nagyságrendi csökkenésére, Mello és mtsai. (2019) kísérleti megfigyeléseihez hasonlóan [7]. Azonban további kutatások keretében fontos előrelépést jelentene a modell validálása valós szennyvízkezelő üzemben mért BTEX gázkoncentráció adatok alapján.

Az első esettanulmányból kiderült, hogy az iszap tartózkodási idő 3 és 6 nap közötti növelése csökkenti az aktívzén-igényt ( $20\text{ }^{\circ}C$  hőmérsékleten). Az SRT 6 nap alatti csökkentése azonban a vizsgált BTEX-mikroszennyezők kibocsátásának exponenciális növekedéséhez vezetett. Az SRT 6 nap fölötti növelése kevésbé segítette elő a GAC-szükséglet további csökkentését, viszont ebben a tartományban az ammónia-alapú oldotttoxigén-szabályozás – a biomassza ideális levegőellátásával – minimalizálta az energiaigényt. Az SRT 15 nap fölötti beállítása viszont határozottan az energiahatékonyság rovására ment. Az SRT optimális tartománya a vizsgált konfiguráció alapján 10 és 12 nap között határozható meg.

Mivel a BTEX-vegyületek csak kis koncentrációban fordulnak elő települési szennyvizekben, a GAC karbantartási költségcsökkentése a szennyvíztechnológia optimalizálásával korlátozottan bizonyult, hiszen a GAC-oszlopokra táplált többségében nem biodegradálható és nem illékony anyagok lebontással vagy sztrippeléssel nem távolíthatók el.

A második felhasználási esetben, egyhetes dinamikus szimulációk során, a konfigurációt napi terhelési mintázatok és csapadékos, illetve szárazidei időszakok is jellemezték. Haváriaszerű csapadékeseményeknél az intenzív átlegeztetés általi VOC-sztrippelés hasznos beavatkozásnak mutatkozott a szennyvíz-minőség romlásának megelőzésére a GAC-eljárás előtt. A modellkísérlet rámutatott, hogy szennyvíz-újrahasznosítási üzemzavarok időszerű elhárítása érdekében az intenzifikált sztrippelés hatékony megközelítés lehet az illékony mikroszennyezők eltávolításának stabilizációjára. Emellett kiemelte a létesítményszintű modellek szerepét a vészhelyzeti tervezés és a kockázatértékelés területén, amelyek elősegíthetik az üzemeltetők felkészültségét túlterhelés vagy berendezés-meghibásodás esetén.

A bemutatott modellek betekintést nyújtanak nehezen vagy költségesen mérhető változókba, ezzel segítve a szakembereket a folyamatok mélyebb megértésében. A szimulációk akár valós időben is kapcsolódhatnak a létesítményekhez, hasznos eszközt nyújtva a szennyvíztisztítás optimalizálására [35, pp. 2840-2853.].

Fontos megjegyezni, hogy a tanulmány az üzemszintű folyamatszimuláció gyakorlati alkalmazásaira összpontosít, a VOC-k biológiai szennyvíztisztításban betöltött szerepét és a fizikai-kémiai kezelés lehetőségeit vizsgálva. Az eredmények a BSM1 referencialétesítményen alapulnak, ezért nem általánosíthatók egyéb szennyvízminőségre.

Jövőbeli kutatási célok között szerepel a modellek kiterjesztése további műveleti egységekre, például membránokra, valamint egyéb VOC-k eltávolításának vizsgálatára. További hangsúlyt kell fektetni a kibocsátott gázok kezelésének modellezésére, különösen az egészségügyi kockázatok szempontjából, például a benzol esetében. Továbbá, a kutatások irányulhatnak magas BTEX-koncentrációjú ipari szennyvizekre, például a petrokémiai szektor szennyvízkezelésére.

#### 4. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] S. M. Scheierling, C. R. Bartone, D. D. Mara, és P. Drechsel, Improving Wastewater Use in Agriculture: An Emerging Priority. *World Bank Policy Research Working Paper Series*, 5412, Washington, DC, USA: The World Bank, 2010, <https://doi.org/10.1596/1813-9450-5412>
- [2] S.M. Scheierling, C. R. Bartone, D. D. Mara, és P. Drechsel, “Towards an agenda for improving wastewater use in agriculture”, *Water International*, vol. 36, no. 4, pp. 420–440, 2011, <https://doi.org/10.1080/02508060.2011.594527>
- [3] S. Ofori, A. Puškáčová, I. Růžicková, és J. Wanner, “Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons”, *Science of The Total Environment*, vol. 760, 144026, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144026>
- [4] Z. Sheikholeslami, D. Y. Kebria, és F. Qaderi, “Nanoparticle for degradation of BTEX in produced water; an experimental procedure”, *Journal of Molecular Liquids*, vol. 264, pp. 476–482, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.05.096>
- [5] C. J. Davidson, J. H. Hannigan, és S. E. Bowen, “Effects of inhaled combined Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX): Toward an environmental exposure model”, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 81, 103518, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103518>
- [6] P. Jiang, C.-J. Tzeng, C.-C. Hsieh, és M. K. Stenstrom, “Modeling VOC Emissions in the High-Purity Oxygen Activated Sludge Process”, *Journal of Environmental Engineering*, vol. 136, no. 11, pp. 1189–1196, 2010, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000273](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000273)
- [7] J. M. M. Mello, H. L. Brandao, A. Valerio, A. A. U. de Souza, D. de Oliveira, és A. da Silva, “Biodegradation of BTEX compounds from petrochemical wastewater: Kinetic and toxicity”, *Journal of Water Process Engineering*, vol. 32, 100914, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100914>
- [8] A. Trusek-Holownia és A. Noworyta, “Advanced treatment of wastewater with BTEX”, *Desalination and Water Treatment*, vol. 50, pp. 440–445, 2012, <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.705089>
- [9] A. Takáčová, M. Smolinská, M. Semerád, és P. Matuš, “Degradation of BTEX by microalgae *Parachlorella kessleri*”, *Petroleum & Coal*, vol. 57, no. 2, pp. 101–107, 2015 [Online]. Elérhetőség: [https://www.vurup.sk/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/2017/07/pc\\_2\\_2015\\_takacova\\_317.pdf](https://www.vurup.sk/wp-content/uploads/dlm_uploads/2017/07/pc_2_2015_takacova_317.pdf) (2024.12.30.)
- [10] H. Anjum, K. Johari, N. Gnanasundaram, M. Ganesapillai, A. Arunagiri, I. Regupathi, és M. Thanabalan, “A review on adsorptive removal of oil pollutants (BTEX) from wastewater using carbon nanotubes”, *Journal of Molecular Liquids*, vol. 277, pp. 1005–1025, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.10.105>
- [11] K. C. Lee, B. E. Rittmann, J. Shi, és D. McAvoy, “Advanced steady-state model for the fate of hydrophobic and volatile compounds in activated sludge”, *Water Environment Research*, vol. 70, no. 6, pp. 1118–1131, 1998, <https://doi.org/10.2175/106143098X123480>
- [12] M. Pomiès, C. Wisniewski, J. M. Choubert, és M. Coquery, “Modelling of micropollutant removal in biological wastewater treatments: A review”, *Science of The Total Environment*, vol. 443, pp. 733–748, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.037>
- [13] D. Orhon és E. U. Çokgör, “COD fractionation in wastewater characterization—The state of the art”, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 68, no. 3, pp. 283–293, 1999, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199703\)68:3<283::AID-JCTB633>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199703)68:3<283::AID-JCTB633>3.0.CO;2-X)

- [14] G. G. Patry és I. Takács, “Settling of flocculent suspensions in secondary clarifiers”, *Water Research*, vol. 26, no. 4, pp. 473–479, 1992, [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(92\)90048-9](https://doi.org/10.1016/0043-1354(92)90048-9)
- [15] M. Henze, W. Gujer, T. Mino, T. Matsuo, M. C. Wentzel, G. v. R. Marais, és M. C. M. Van Loosdrecht, “Activated Sludge Model No.2d, ASM2D”, *Water Science & Technology*, vol. 39, no. 1, pp. 165–182, 1999, <https://doi.org/10.2166/wst.1999.0036>
- [16] M. Arnell, M. Ahlström, C. Wärff, R. Saagi, és U. Jeppsson, “Plant-wide modelling and analysis of WWTP temperature dynamics for sustainable heat recovery from wastewater”, *Water Science & Technology*, vol. 84, no. 4, pp. 1023–1036, 2021, <https://doi.org/10.2166/wst.2021.277>
- [17] L. Rieger, S. Gillot, G. Langergraber, T. Ohtsuki, A. Shaw, és I. Takács, *Guidelines for Using Activated Sludge Models*. London, UK: IWA Publishing, 2012.
- [18] M. Henze, L. Grady, Jr. W. Gujer, G. v. R. Marais, és T. Matsuo, *Activated Sludge Model No 1*. London, UK: IAWPRC Publishing, 1987 [Online]. Elérhetőség: [https://www.researchgate.net/publication/243624144\\_Activated\\_Sludge\\_Model\\_No\\_1#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/243624144_Activated_Sludge_Model_No_1#fullTextFileContent) (2024.12.30.)
- [19] Dynamita, *Sumo22 User Manual*. Sigale, France: Dynamita SARL, 2022 [Online]. Elérhetőség: <https://wiki.dynamita.com/en/introduction> (2024.12.30.)
- [20] M. Kasi, T. Wadhawan, J. McEvoy, G. Padmanabhan, és E. Khan, “Effect of carbon source during enrichment on BTEX degradation by anaerobic mixed bacterial cultures”, *Biodegradation*, vol. 24, pp. 279–293, 2013, <https://doi.org/10.1007/s10532-012-9586-1>
- [21] D. Bencsik, T. Wadhawan, F. Házi, és T. Karches, “Plant-Wide Models for Optimizing the Operation and Maintenance of BTEX-Contaminated Wastewater Treatment and Reuse”, *Environments*, vol. 11, no. 5, 88, 2024, <https://doi.org/10.3390/environments11050088>
- [22] R. Higbie, “The rate of absorption of a pure gas into a still liquid during short periods of exposure”, *Transactions of the American Institute of Chemical Engineers*, vol. 31, pp. 365–388, 1935.
- [23] R. Sander, “Compilation of Henry’s law constants (version 4.0) for water as solvent”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 15, no. 8, 4399–4981, 2015, <https://doi.org/10.5194/acp-15-4399-2015>
- [24] M. K. Stenstrom, *Westpoint Treatment Plant oxygen process modeling*. UCLA-ENG 90-17, Los Angeles, California: UCLA School of Engineering and Applied Science, 1990 [Online]. Elérhetőség: [https://www.researchgate.net/publication/267549420\\_WESTPOINT\\_TREATMENT\\_PLANT\\_OXYGEN\\_PROCESS\\_MODELING#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/267549420_WESTPOINT_TREATMENT_PLANT_OXYGEN_PROCESS_MODELING#fullTextFileContent) (2024.12.30.)
- [25] R. Nikolova-Kuscu, L. Fonseca, D. Hume, és S. Bungay, “Using mechanistic models for predicting nitrous oxide emissions from the activated sludge process”, Előadás: *Water New Zealand Conference & Expo 2024*, Claudelands, Kirikiriroa Hamilton: Water New Zealand, 2024.09.25. [Online]. Elérhetőség: [https://www.waternz.org.nz/Article?Action=View&Article\\_id=2895](https://www.waternz.org.nz/Article?Action=View&Article_id=2895) (2024.12.30.)
- [26] S. Myers, A. Mikola, K. Blomberg, A. Kuokkanen, és D. Rosso, “Comparison of methods for nitrous oxide emission estimation in full-scale activated sludge”, *Water Science & Technology*, vol. 83, no. 3, pp. 641–651, 2021, <https://doi.org/10.2166/wst.2021.033> (2024.12.30.)
- [27] J. Alex, L. Benedetti, J. B. Copp, K. V. Gernaey, U. Jeppsson, I. Nopens, M.-N. Pons, L. Rieger, C. Rosen, J.P. Steyer, P. Vanrolleghem, és S. Winkler, *Benchmark Simulation Model No. 1 (BSM1)*. Lund, Sweden: Lund University, 2008 [Online]. Elérhetőség: [https://www.researchgate.net/publication/284618938\\_Benchmark\\_Simulation\\_Model\\_no](https://www.researchgate.net/publication/284618938_Benchmark_Simulation_Model_no)

[\\_1\\_BSM1\\_IWA\\_Taskgroup\\_on\\_benchmarking\\_of\\_control\\_strategies\\_for\\_WWTPs#fullTextFileContent](#) (2024.12.30.)

- [28] H. Vanhooren és K. Nguyen, *Development of a simulation protocol for evaluation of respirometry-based control strategies*. Report University of Gent, Belgium and University of Ottawa, Canada, 1996.
- [29] B. Mrowiec, “Effect of BTX on Biological Treatment of Sewage”, *Environment Protection Engineering*, vol. 35, no. 2, 197–206, 2009 [Online]. Elérhetőség: [https://epe.pwr.edu.pl/2009/Mrowiec\\_2-2009b.pdf](https://epe.pwr.edu.pl/2009/Mrowiec_2-2009b.pdf) (2024.12.30.)
- [30] R. C. Smith, S. O. Elger, és S. Mleziva, “Implementation of solids retention time (SRT) control in wastewater treatment”, *Xylem Anal*, vol. 20, pp. 1–6, 2015.
- [31] F. Benstoem, A. Nahrstedt, M. Boehler, G. Knopp, D. Montag, H. Siegrist, és J. Pinnekamp, “Performance of granular activated carbon to remove micropollutants from municipal wastewater—A meta-analysis of pilot- and large-scale studies”, *Chemosphere*, vol. 185, pp. 105–118, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.118>
- [32] Y. Zha, Y. Wang, S. Liu, S. Liu, Y. Yang, H. Jiang, Y. Zhang, L. Qi, és H. Wang, “Adsorption characteristics of organics in the effluent of ultra-short SRT wastewater treatment by single-walled, multi-walled, and graphitized multi-walled carbon nanotubes”, *Scientific Reports*, vol. 8, no. 1, 17245, 2018, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35374-8>
- [33] L. Li, C. Yin, Q. He, és L. Kong, “First flush of storm runoff pollution from an urban catchment in China”, *Journal of Environmental Sciences*, vol. 19, no. 3, pp. 295–299, 2007, [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60048-5](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60048-5)
- [34] L. Földi, T. Berek, és J. Padányi. (2022) “Hungary’s Energy and Water Security Countermeasures as Answers to the Challenges of Global Climate Change”, *AARMS – Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, vol. 20, no. 2, pp. 87–96, 2022, <https://doi.org/10.32565/aarms.2021.2.7>
- [35] E. Torfs, N. Nicolai, S. Daneshgar, J. B. Copp, H. Haimi, D. Ikumi, B. Johnson, B. B. Plósz, S. Snowling, L. R. Townley, B. Valverde-Pérez, P. A. Vanrolleghem, L. Vezzaro, és I. Nopens, “The Transition of WRRF Models to Digital Twin Applications”, *Water Science & Technology*, vol. 85, no. 10, pp. 2840–2853, 2022, <https://doi.org/10.2166/wst.2022.107>

# A ködgyűjtő rendszerek szerepe és alkalmazhatósága a vízellátásban, árvízi helyzetek megelőzésében

## The applicability and role of Fog Harvesting Systems in Water Supply, prevention of flood situations

Papp Tamás

Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar, egyetemi tanársegéd

Email: Papp.Tamas@uni-nke.hu

ORCID: 0000-0001-5574-8508 

### Absztrakt:

A ködgyűjtő rendszerek olyan innovatív és fenntartható technológiát kínálnak, amely a levegő páratartalmából nyeri ki a vizet, jelentős szerepet játszva a vízhiányos területek vízellátásában. A világ különböző régióiban, mint például a chilei Atacama-sivatagban, Marokkó hegyvidéki falvaiban vagy a nepáli Himalája régióiban, a ködgyűjtők hatékonyan egészítik ki a hagyományos vízforrásokat, csökkentve a vízhiányból eredő kihívásokat. Ezek a rendszerek energiafüggetlenek, alacsony költséggel telepíthetők és fenntartható módon járulnak hozzá a helyi közösségek vízellátásához. A tanulmány bemutatja a ködgyűjtő technológia működését, szerkezeti kialakítását, valamint az üzemeltetésével kapcsolatos tapasztalatokat. A magyarországi vizsgálatok eredményei rávilágítanak a technológia potenciáljára a hazai domb- és hegyvidéki területeken, különösen a tavaszi és nyári időszakokban, amikor a páratartalom magasabb. A ködgyűjtők alkalmazása hozzájárulhat a fenntartható vízgazdálkodáshoz, a közösségek ellenállóképességének növeléséhez, valamint a klímaváltozáshoz való hosszú távú alkalmazkodáshoz.

### Abstract:

Fog harvesting systems provide an innovative and sustainable technology for extracting water from atmospheric humidity, playing a significant role in water supply for arid and water-scarce regions. In various parts of the world, such as the Atacama Desert in Chile, mountainous villages in Morocco, and the Himalayan regions of Nepal, fog collectors effectively complement traditional water sources, alleviating the challenges caused by water scarcity. These systems are energy-independent, cost-effective to install, and sustainably contribute to local community water supply. The study provides a detailed overview of the functioning, structural design, and operational experiences of fog harvesting systems. Findings from Hungarian experiments highlight the technology's potential in domestic hilly and mountainous regions, particularly during spring and summer when humidity levels are higher. Implementing fog harvesting systems can significantly enhance sustainable water management, increase community resilience, and support long-term adaptation to climate change.

**Kulcsszavak:** ködgyűjtő rendszerek, vízhiány, fenntartható vízgazdálkodás, vízellátás

**Keywords:** fog harvesting systems, water scarcity, sustainable water management, water supply

## 1. BEVEZETÉS

A kék és zöld csapadékgyűjtő rendszerek jelentősége a védelmi tudományban és a katasztrófavédelemben kiemelkedő. Az éghajlatváltozás következtében egyre gyakoribbá váló szélsőséges időjárási események, például a hirtelen lezúduló esőzések vagy az aszályos időszakok, komoly kihívásokat jelentenek az érintett hatóságok számára. Az integrált rendszerek segítenek az árvizek megelőzésében azáltal, hogy csökkentik a csapadék gyors lefolyását, és lehetővé teszik a víz helybeni tárolását. Továbbá hozzájárulnak a vészhelyzeti vízellátás biztosításához, amely kritikus fontosságú lehet egy-egy katasztrófahelyzet során. [1]

Ezek a rendszerek nemcsak a katasztrófavédelmi stratégiák részévé válhatnak, hanem a helyi közösségek ellenálló képességét is növelik [2]. A védelmi tudomány számára a kék és zöld rendszerek alkalmazása lehetőséget kínál a természeti erőforrások fenntartható kezelésére, miközben hozzájárul a lakosság életének és vagyonának védelméhez. Az ilyen megoldások elősegítik a hosszútávú klímaadaptációt, valamint javítják a közösségek felkészültségét és alkalmazkodóképességét a változó környezeti feltételekhez, és nem utolsósorban az üvegházhatású gázemissziók csökkentéséhez is vezet a települési vízgazdálkodásban [3].

## 2. KÖDGYŰJTŐ RENDSZEREK ALKALMAZÁSA

### 1.1 Kék és zöld csapadékgyűjtő rendszerek

Az urbanizációval járó kihívások egyik központi témája a csapadékvíz hatékony kezelése. A nagyvárosokban a burkolt felületek arányának növekedése csökkenti a talaj vízelnyelő képességét, ami árvizekhez, a csatornahálózatok terheléséhez és a vízkészletek kimerüléséhez vezethet. A kék és zöld infrastruktúrán alapuló csapadékgyűjtő rendszerek integrált megoldást kínálnak ezekre a problémákra, miközben a fenntartható városi fejlődést is elősegítik.

A "kék" rendszerek középpontjában a víz, mint természeti erőforrás fenntartható kezelése áll. Az ilyen rendszerek feladata, hogy az esővíz visszatartását, tárolását és hasznosítását lehetővé tegyék. Ezek közé tartozhatnak:

- Esővízgyűjtő tartályok: Az esővíz gyűjtése tetőfelületekről, amelyet később öntözésre vagy nem ivóvízi célokra lehet használni.
- Zárt tároló rendszerek: Nagyobb mennyiségű csapadékvíz ideiglenes vagy hosszútávú tárolására.
- Nyílt vizes felületek: mesterséges tavak és csatornák, amelyek nemcsak a vízgyűjtést, hanem a helyi mikroklíma javítását is szolgálják.

Ezek az elemek csökkentik a csatornarendszerek terhelését, segítik a talajvíz utánpótlását és hozzájárulnak a vízkészletek fenntartásához, különösen az aszályos időszakokban. [4]

A „zöld” rendszerek a természetes ökoszisztémák működését utánozzák, amelyek célja a csapadék helybeni elvezetése és hasznosítása. Ide tartoznak:

- Zöldtetők: Növényzettel borított tetőfelületek, amelyek csökkentik a csapadék lefolyási sebességét, és javítják a hőszigetelést.
- Esőkertek: Olyan növényesített felületek, amelyek beszívódási és szűrőkapacitásukkal csökkentik az esővíz lefolyását.
- Permeábilis burkolatok: A burkolatok olyan formái, amelyek lehetővé teszik a víz talajba szivárgását, miközben stabil közlekedési felületet biztosítanak.

- Városi erdők és parkok: Ezek a területek nemcsak a csapadékvíz gyűjtését segítik, hanem jelentős ökológiai és esztétikai értéket is képviselnek.

A zöld infrastruktúra javítja a városi biodiverzitást, csökkenti a hősziget-hatást, és hozzájárul a lakosság életminőségének növeléséhez.

A kék és zöld csapadégyűjtő rendszerek kombinálása olyan szinergikus hatásokat hoz létre, amelyek együtt hatékonyabbá teszik a vízkezelést. Például a zöldtetők által visszatartott víz a kék rendszerek tárolóiba vezethető, ahol további hasznosításra nyílik lehetőség. Az ilyen integrált rendszerek további előnyei, hogy csökken a csatornahálózatok karbantartási költsége, valamint az árvizek okozta károk, az esővíz kezelése segít a városoknak alkalmazkodni a szélsőséges időjárási eseményekhez. Ezen túlmenően csökken az elszállított csapadék mértéke, ezáltal kevesebb szennyezés kerül a felszíni vizekbe. Társadalmi hatása, hogy javul a városi környezet minősége, és nő a lakosság tudatossága a fenntartható vízgazdálkodás iránt. [4]

Bár a kék és zöld infrastruktúra jelentős előnyökkel jár, alkalmazásuk számos kihívást is rejt magában. Az infrastruktúrák kialakítása jelentős kezdeti befektetést igényel, valamint az érintettek közötti együttműködés és a lakossági elfogadás is kritikus tényezők. Ugyanakkor a technológiai fejlődés, a környezettudatosság növekedése és a nemzetközi példák adaptálása lehetőséget teremt arra, hogy ezek a rendszerek egyre szélesebb körben elterjedjenek, melyek közül a ködgyűjtő rendszerek kerülnek bemutatásra. [5]

## 1.2 A páragyűjtők szerkezeti kialakításai és folyamatos üzeme

A páragyűjtők szerkezeti kialakítása a vízgyűjtés hatékonyságának alapját képezi, hiszen a megfelelő anyagválasztás, méretezés és szerkezeti stabilitás elengedhetetlen a rendszerek eredményes működéséhez. Az SFC típusú (Standard Fog Collector) páragyűjtők általánosan elterjedt szerkezeti elemei közé tartoznak a hálók, a tartókeretek, a gyűjtőcsatornák és a víztároló egységek. A hálók anyaga jellemzően polipropilén Raschel-háló, amely könnyű, tartós és ellenáll az időjárási viszontagságoknak. A hálók árnyékolási sűrűsége meghatározza a ködgyűjtés hatékonyságát: míg a 65-75%-os árnyékolóháló a levegő páratartalmának egy részét képes felfogni, a sűrűbb, 98-99%-os árnyékolóhálók jelentősen növelhetik a vízgyűjtés mennyiségét, különösen magas páratartalmú környezetben. [6]

A páragyűjtő keretét általában könnyű, de tartós anyagból, például alumíniumból vagy rozsdamentes acélból készítik, amely biztosítja a háló feszes rögzítését és ellenáll a szél okozta terheléseknek. A hálót függőlegesen feszítik ki a kereten, így a vízcseppek gravitációs úton a háló alján elhelyezett gyűjtőcsatornába jutnak. A gyűjtőcsatorna anyaga műanyag vagy fém, és enyhe, általában 2%-os lejtési szögben helyezkedik el, hogy a felfogott víz akadálytalanul a csatlakoztatott víztároló edénybe jusson.

A szerkezet kialakításánál fontos figyelembe venni a környezeti kitettséget: a szélsébség, a hőmérsékleti ingadozások és a csapadék befolyásolják a háló feszítettségét és stabilitását. Erős szél esetén például a gyűjtőcsatorna rögzítőelemei (pl. gyorskötözők) idővel meglazulhatnak, ezért a tartósabb rögzítés érdekében ajánlott mechanikus csatlakozókat vagy erősített köteleket alkalmazni. A háló mérete szintén meghatározó: kevésbé szeles régiókban a nagyobb felületű, 2x2 méteres hálók, míg szelesebb területeken a keskenyebb, de magasabb 1x3 méteres konstrukciók bizonyulnak hatékonyabbnak. A megfelelő szerkezeti kialakítás lehetővé teszi, hogy a rendszer tartósan és minimális karbantartás mellett üzemeljen, miközben maximális mennyiségű vizet gyűjt a levegőből. [6]

A páragyűjtők folyamatos üzeméhez rendszeres ellenőrzés és karbantartás szükséges, mivel a környezeti tényezők hatása idővel befolyásolja a rendszer hatékonyságát.

A háló feszítettsége kulcsfontosságú: a szél, a csapadék súlya és a hőmérsékleti ingadozások miatt a rögzítőelemek fokozatosan meglazulhatnak, ami a gyűjtőcsatorna lejtésének megszűnéséhez vezethet. Ennek elkerülésére heti szintű ellenőrzés javasolt, amely során a háló feszességét és a csatorna megfelelő lejtését korrigálni kell.

A gyűjtőcsatornák tisztítása szintén alapvető feladat a folyamatos üzem során. A hálóra hulló szennyeződések – például rovarok, falevelek, por és növényi nyesedékek – idővel felhalmozódhatnak a csatornában, akadályozva a víz áramlását a tároló edény felé. Ezt napi rendszerességgel ellenőrizni kell, különösen az őszi időszakban, amikor a növényi hulladék mennyisége megnő. A téli hónapokban a fagyveszély további kihívást jelent. Fagyponthoz alatti hőmérséklet esetén a gyűjtött víz megfagyhat a gyűjtőedényben, ami károsíthatja a rendszert és akadályozza a további vízgyűjtést. Ilyenkor a gyűjtőedények cseréje szükséges, vagy a víztárolókat szigetelni kell, hogy megelőzzük a víz megfagyását. A háló anyagának tartóssága szempontjából fontos, hogy ellenálljon a téli időjárásnak, ezért a polipropilén Raschel-háló kiváló választás, mivel rugalmasságát alacsony hőmérsékleten is megőrzi. A páragyűjtők működési hatékonysága szorosan összefügg az időjárási viszonyokkal, különösen a szélesebséggel, a relatív páratartalommal és a hőmérséklettel. A folyamatos üzem érdekében a hálókat olyan helyeken célszerű telepíteni, ahol a légáramlás biztosított, de a túl erős szél nem okoz kárt a szerkezetben. A gyűjtési adatok folyamatos monitorozása lehetővé teszi az időjárási tényezők és a vízgyűjtés közötti összefüggések pontosabb meghatározását, ami hozzájárulhat a technológia további optimalizálásához. [7]

### 1.3 Nemzetközi alkalmazási példák

A ködgyűjtő rendszerek a világ különböző pontjain váltak a fenntartható vízellátás kulcsfontosságú elemeivé, különösen azokon a területeken, ahol a hagyományos vízforrások, mint a csapadék, folyók vagy talajvíz, nem elegendők vagy nem elérhetők. Ezek a rendszerek a természetes folyamatokat használják ki: a levegőben lévő páratartalom és a köd apró vízcseppeit gyűjtik össze egyszerű, energiafüggetlen technológia segítségével. Az alábbi példák jól mutatják, hogy a ködgyűjtők hogyan járulnak hozzá a vízellátási problémák megoldásához a világ különböző régióiban.

A chilei Atacama-sivatag a Föld legszárazabb helyeként ismert, ahol rendkívül alacsony a csapadék mennyisége, egyes területeken akár évekig nem esik eső. Ennek ellenére a sivatagban rendszeresen képződnek ködös időjárási jelenségek, amelyek a Csendes-óceán felől érkező páradús légáramlatokból alakulnak ki. Ezt a természeti jelenséget használják ki a ködgyűjtő rendszerek, amelyek napi szinten akár több ezer liter vizet is képesek összegyűjteni. A ködgyűjtők egyszerű polipropilén hálókából állnak, amelyeket szélirányba helyeznek el. Amikor a köd áthalad a háló felületén, az apró vízcseppek megtapadnak a szálakon, majd gravitáció hatására lecsorognak a háló alján elhelyezett csatornába, ahonnan víztároló edényekbe vezetik őket. Az így gyűjtött vizet ivóvízellátásra, mezőgazdasági öntözésre és állattenyésztésre használják fel a helyi közösségek. Az Atacama-sivatagban a ködgyűjtők telepítése nemcsak a vízhiányt enyhíti, hanem lehetőséget biztosít a vidéki közösségek megélhetésének biztosítására is. [8]

Marokkó északi részén, a Berber falvakban, ahol a vízhez való hozzáférés korlátozott, a ködgyűjtők kulcsfontosságú szerepet játszanak a helyi lakosság vízellátásában. A hegyvidéki régiókban, mint például az Anti-Atlas és a Rif-hegység, a ködgyűjtők a magas páratartalmú légáramlatokat hasznosítják, amelyek a tenger felől érkeznek, majd a hegyoldalak mentén felemelkedve köd formájában csapódnak le. A ködgyűjtő rendszerek itt is hasonló elven működnek: a hálókön fennakadó vízcseppek lecsorognak, és tárolókba gyűlnek. A helyi közösségek számára ezek a rendszerek létfontosságú vízforrást biztosítanak, különösen a száraz nyári hónapokban, amikor a hagyományos vízforrások, például a kutak és a patakok kiszáradnak.

A ködgyűjtők segítségével összegyűjtött vizet elsősorban ivóvízként használják, de a mezőgazdaságban és az állattartásban is fontos szerephez jut. Ezzel a technológiával Marokkóban sikerült fenntartható megoldást találni olyan területeken, ahol más víznyerési módszerek nem lennének gazdaságosan alkalmazhatók. [9]

A Himalája térségében, Nepál magashegyi régióiban a ködgyűjtők fontos kiegészítő forrásai lettek a vízellátásnak. Az itt élő közösségek hagyományosan a gleccserek olvadásából származó vízre támaszkodnak, amely azonban a klímaváltozás következtében folyamatosan csökken. A globális felmelegedés hatására a gleccserek visszahúzódnak, ami hosszú távon veszélyezteti a helyi lakosság vízellátását. A ködgyűjtő rendszerek telepítése a Himalája páradús, magashegyi területein lehetőséget nyújt arra, hogy a levegő páratartalmából pótlólagos vízmennyiséget nyerjenek. Ezek a rendszerek kiegészítő megoldásként működnek, biztosítva a vízellátást azokon a területeken, ahol a hagyományos források már nem elegendők. Az összegyűjtött vizet elsősorban ivóvízként és mezőgazdasági célokra használják, hozzájárulva ezzel a helyi közösségek életminőségének javításához és a klímaváltozás hatásainak enyhítéséhez. [10]

A Kanári-szigeteken található Teno Természeti Parkban 1996 óta folynak kutatások a ködvíz gyűjtésének lehetőségeiről, amely a helyi lakosság vízellátását, mezőgazdasági, állattartási és erdőgazdálkodási igényeit hivatott kielégíteni. A park kiemelkedő biológiai értéket képvisel, hiszen itt található a Kanári-babérlombú erdő. Ugyanakkor a térséget komoly vízhiány, erózió és nyári tűzveszély sújtja, ami sürgetővé teszi a vízforrások bővítését.

A kutatások során különböző méretű ködgyűjtőket alkalmaztak, amelyek polipropilén Raschel-hálóval rendelkeznek. A mérések alapján a park legmagasabb pontján, Cruz de Galában (1340 m) télen és tavasszal átlagosan 5,7 l/m<sup>2</sup>/nap ködvíz gyűjthető. Ezzel szemben az alacsonyabb fekvésű, tengerhez közelebbi Teno Alto térségében (850 m) a nyári időszak a leghatékonyabb, ahol a napi átlagos vízhozam eléri a 4,5–5,5 l/m<sup>2</sup>-t. A maximálisan mért napi vízhozam 51 l/m<sup>2</sup>, míg az óránkénti maximum 3,6 l/m<sup>2</sup> volt. [11]

## 1.4 Magyarországi adaptálhatóság

A páragyűjtő hálók alkalmazása Magyarországon egy olyan innovatív és fenntartható megoldást kínálhat, amely alacsony költséggel és külső energiaigény nélkül képes vizet nyerni a levegő nedvességtartalmából, valamint a csapadékból. Három hazai kísérleti helyszínen – Baján, Salgótarjánban és Taranyban – végzett vizsgálatok tapasztalatai alapján fontos következtetések vonhatók le mind a technológia működőképességére, mind pedig a rendszer továbbfejlesztésére vonatkozóan. [12]

A kutatás során használt SFC típusú páragyűjtő hálók megépítési költsége alacsonynak mondható: egy kisberendezés előállítása körülbelül 5000 forintba került. Ugyanakkor a hálók működése igényelt rendszeres karbantartást annak érdekében, hogy az eszközök folyamatosan hatékonyan működhessenek. A gyűjtőcsatornákat például rendszeresen korrigálni kellett, mivel a szél és a víz súlya miatt a gyorskötözők idővel megereszkedtek, ami a lejtési szög változásához vezetett. Emellett a hálók környezetének kitettsége is kihívást jelentett: fagyponthoz alatti hőmérséklet esetén a gyűjtött víz rendszeresen belefagyott a kannákba, és ezeket cserélni kellett.

A három helyszín közötti eltérések jól mutatják, hogy a páragyűjtő hálók hatékonysága erősen függ az adott terület mikroklimatikus viszonyaitól. A Baján telepített háló napi átlagban 188 ml, a Salgótarjánban működő háló 311 ml, míg a Taranyban üzemeltetett háló 445 ml csapadékvíz gyűjtésére volt képes. Ezzel szemben a páragyűjtés eredménye elenyésző volt: átlagosan mindössze 28 ml/nap vizet sikerült kinyerni a levegő páratartalmából, ami gyakorlati szempontból kevésbé hasznosítható. Ugyanakkor a csapadékvíz, amelyet a hálók összegyűjtöttek, öntözési célokra külön tisztítás nélkül felhasználható volt, fedezve például kerti dísznövények vízigényét.



1. kép: Páragyűjtő háló a Nemzeti Közzolgálati Egyetem Víz tudományi Karán (Forrás: ld. [12])

A vizsgálatok során bebizonyosodott, hogy a hálók hatékonyságának növelése többféleképpen lehetséges. Egyrészt a sűrűbb szövésű, 98-99%-os árnyékolóháló alkalmazása jelentős mértékben javíthatná a gyűjtött víz mennyiségét. Másrészt a hálók méretének növelésével, például kevésbé szeles területeken 2x2 méteres, szelesebb régiókban 1x3 méteres hálók alkalmazásával szintén nagyobb eredmények érhetők el. Emellett a technológia helyes elhelyezése is kulcsfontosságú: a tapasztalatok szerint a hálókat olyan területeken érdemes telepíteni, ahol minimális a rongálás kockázata, például kerítések mellé, ahol esztétikailag is jobban illeszkednek a környezetbe. [12]

### 3. KÖVETKEZTETÉS

A ködgyűjtő rendszerek világszerte fontos szerepet töltenek be a fenntartható vízellátásban, különösen ott, ahol a hagyományos vízforrások, például az eső, folyók vagy talajvíz, hiányosak vagy nem hozzáférhetők. A páragyűjtők folyamatos üzemének biztosítása alapos tervezést, rendszeres ellenőrzést és karbantartást igényel. A hálók rögzítésének megerősítése, a csatornák tisztítása és a fagyvédelem mellett a környezeti adottságokhoz igazodó telepítési hely kiválasztása kulcsfontosságú a rendszer hosszú távú, hatékony működéséhez. A fenntarthatóság és a gazdaságosság érdekében a páragyűjtők üzemeltetése minimális energiaigénnyel jár, ami hosszú távon előnyös a vízhiányos területek számára.

A magyarországi vizsgálatok rávilágítottak arra, hogy a páragyűjtés különösen a domb- és hegyvidéki területeken lehet eredményes a tavaszi és nyári időszakban, amikor a levegő relatív páratartalma magasabb, és a csapadékos időszakok gyakorisága is növekszik. Az eddigi kísérletek viszonylag rövid időintervallum alatt zajlottak, így az időjárási tényezők (hőmérséklet, szélsébség, páratartalom) és a csapadékgyűjtés közötti összefüggésekre vonatkozóan még nem lehetett egyértelmű következtetéseket levonni.

A hosszabb távú megfigyelések azonban pontosabb képet adhatnának a technológia hatékonyságáról. A kutatás társadalmi oldalát vizsgálva a kérdőíves felmérés eredményei azt mutatták, hogy a lakosság körében jelentős érdeklődés mutatkozik a páragyűjtő hálók iránt, különösen vidéki területeken, ahol a kertek öntözése költséges és időigényes feladat. A hálók alacsony előállítási és üzemeltetési költsége miatt a technológia széles körű alkalmazása gazdaságilag is indokolt lehet.

Összességében a magyarországi páragyűjtő hálós kísérletek azt mutatják, hogy a csapadékvíz gyűjtésében rejlik a legnagyobb potenciál, míg a levegő páratartalmából nyerhető víz mennyisége egyelőre kevésbé jelentős. A technológia további fejlesztésével, a hálók méretének és anyagának optimalizálásával, valamint a helyszínek körültekintő kiválasztásával azonban a páragyűjtés egyre hatékonyabbá válhat. A hazai viszonyokra adaptált rendszerek kiépítése nemcsak a vízhiányos időszakokban jelenthet megoldást, hanem hosszú távon hozzájárulhat a fenntartható vízgazdálkodáshoz és a környezetbarát technológiák elterjedéséhez Magyarországon. További kísérletekre lenne szükség az ország különböző területein, hogy a technológia hatékonyságát hosszabb időszakon keresztül vizsgálni lehessen, lehetővé téve a gyakorlati alkalmazás széleskörű elterjedését.

#### 4. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Foster, Josh, Ashley Lowe, and Steve Winkelman. "The value of green infrastructure for urban climate adaptation." *Center for Clean Air Policy* 750.1, pp. 1-52. 2011.
- [2] Voskamp, Ilse M., and Frans HM Van de Ven. "Planning support system for climate adaptation: Composing effective sets of blue-green measures to reduce urban vulnerability to extreme weather events." *Building and Environment* 83, pp. 159-167. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.07.018>
- [3] Bencsik D., and Karches T. "Estimation of GHG Emissions of a Fixed Bed Biofilm Reactor Cascade in Wastewater Treatment." *Journal of Environmental Science and Engineering A* 4.11, 2015. <https://doi.org/10.17265/2162-5298/2015.11.001>
- [4] Teston, Andréa, et al. "Comprehensive environmental assessment of rainwater harvesting systems: a literature review." *Water* 14.17, Paper ID: 2716, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14172716>
- [5] Zabidi, Husna Aishah, et al. "A review of roof and pond rainwater harvesting systems for water security: The design, performance and way forward." *Water* 12.11, Paper ID: 3163, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12113163>
- [6] Zeng, M. J., J. G. Qu, and J. F. Zhang. "Design and optimization of an electrostatic fog collection system for water harvesting: Modeling and experimental investigation." *Separation and Purification Technology* 323 Paper ID: 124422, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.124422>
- [7] Fessehaye, Mussie, et al. "Fog-water collection for community use." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29, pp. 52-62. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.063>
- [8] Carter Gamberini, María Virginia, et al. "The Atacama Desert fog collection project at Falda Verde, Chile." *4th International conference on Fog, Fog Collection and Dew*. 2007.

- [9] Bouchaou, Lhoussaine, et al. "Multi-aspect assessment of operational fog collection systems: A rural development perspective, insights from the Sidi Ifni project in Morocco." *Journal of Arid Environments* 222, Paper ID: 105174, 2024.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105174>
- [10] Schemenauer, R. S., B. Bignell, and T. Makepeace. "Fog collection projects in Nepal: 1997 to 2016." *Proceedings of the 7th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Wroclaw, Poland*. 2016.
- [11] Ritter, Axel, Carlos M. Regalado, and Juan Carlos Guerra. "Quantification of fog water collection in three locations of Tenerife (Canary Islands)." *Water* 7.7 (2015): 3306-3319.  
<https://doi.org/10.3390/w7073306>
- [12] Jüngling R. „Öntözési célú precíziós csapadékvíz gyűjtési módok vizsgálata” szakdolgozat, Vízellátási és Csatornázási Tanszék, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Baja, Magyarország, 2024.

VÉDELEM  
Tudomány



A KATASZTRÓFAVÉDELEM  
ONLINE SZAKMAI,  
TUDOMÁNYOS FOLYÓIRATA