

VÉDELEM

Tudomány

A KATASZTRÓFAVÉDELEM ONLINE SZAKMAI, TUDOMÁNYOS FOLYÓIRATA

11. ÉVFOLYAM 2. SZÁM (2026)



Szerkesztőbizottság:

Dr. Berki Imre

Katasztrófavédelem Központi Múzeum
igazgató

Dr. Bognár Balázs t. dandártábornok

Katasztrófavédelmi Tudományos Tanács
elnök

Dr. Hábermayer Tamás t. ezredes

Katasztrófavédelmi Tudományos Tanács
alelnök

Dr. Jackovics Péter t. ezredes

Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság
Veszélyhelyzet-kezelési Főosztály főosztályvezető

Dr. Kanyó Ferenc t. ezredes

Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság
tűzoltósági főfelügyelő

Dr. Mógor Judit t. vezérőrnagy

Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság
hatósági főigazgató-helyettes

Prof. Dr. Pátzay György

Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Katasztrófavédelmi Intézet Iparbiztonsági Tanszék
professor emeritus

Dr. Tóth András t. alezredes

Zala Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság
polgári védelmi főfelügyelő

Szerkesztőség:

Főszerkesztő:

Dr. Hábermayer Tamás t. ezredes

Olvasószerkesztő:

Dr. Ackermann Zsuzsanna t. alezredes

Takács Gergely t. főhadnagy

Technikai szerkesztő:

Dr. Tóth András t. alezredes

Dr. Győző-Molnár Árpád t. alezredes

ISSN:

ISSN 2498-6194 (Online) 11. évfolyam

Felelős kiadó:

Dr. Varga Ferenc t. dandártábornok főigazgató

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

Tartalomjegyzék

Kovács Ferenc

Mesterséges intelligencia és térinformatika az erdőtüzek megelőzésében:
Egy proaktív döntéstámogató modell 1-15

Iváncsik Renátó

Lítium akkumulátor töltőállomások tűzvédelmi monitorozása – kémiai folyamatok detektálása
hőkamerás technológiával 16-37

Hózer Benjámín, Dr. Gyimesi Anna, Dr. Bérczi László

Az 1972-es Csertő utcai tűzvész tanulságai, a jelen tűzvédelmi kihívásaira:
1. rész: mentőtűzvédelem 38-62

Kalocsa Márió

Az automatizált parkolási rendszerrel felszerelt gépjárműtárolók tűzoltási sajátosságai 63-74

Dr. Jackovics Péter

A fukushimai katasztrófa tanulságai: 75-88
A 2011-es nemzetközi mentőmissziótól a 15 éve tartó rehabilitációs folyamatokig

Horváth Tímea, Dr. Hábermayer Tamás

A kockázat alapú gondolkodás gyakorlati elemei a kritikus szervezeteknél III. rész:
A kritikus szervezetek gyakorlatai 89-102

Vásárhelyi Örs, Szabó Rafael

Integrált biztonságirányítás és kiberreziliencia veszélyes üzemekben 103-117

Mesterséges intelligencia és térinformatika az erdőtüzek megelőzésében

Egy proaktív döntéstámogató modell

Artificial Intelligence and Geospatial Information in Forest Fire Prevention

A Proactive Decision Support Model

Kovács Ferenc t. alezredes
szerző

Csongrád-Csanád Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság
Szegedi Katasztrófavédelmi Kirendeltség, tűzoltósági felügyelő
Email: Ferenc.Kovacs.Csongrad@katved.gov.hu

Absztrakt:

A cikk a hazai erdőtüz védelem stratégiai korszerűsítésének lehetőségeit vizsgálja, középpontba helyezve a reaktív kárfelszámolásról a proaktív kockázatmenedzsmentre történő paradigmaváltást. A cél egy olyan integrált védelmi rendszer bemutatása, amely a térinformatika (GIS) és a mesterséges intelligencia (AI) eszközeivel támogatja a döntéshozatalt, minimalizálva a beavatkozási időt és a környezeti károkat. A tanulmány első része a dinamikus kockázatbecslés módszertanát tárgyalja. A bemutatott GIS-alapú modell az „Overlay” (rávetítéses) technológia segítségével szintetizálja a statikus környezeti tényezőket (erdőállomány, domborzat) és a valós idejű meteorológiai változókat. A dolgozat különös figyelmet fordít a klímaváltozásnak leginkább kitett alföldi fenyvesekre és a városi-erdei érintkezési zónákra (WUI), ahol az emberi és természeti kockázatok halmozottan jelentkeznek. A prevenció fejezet a biológiai és műszaki kockázatsökkentés új irányait elemzi. Részletesen bemutatásra kerül a „zöld tűzgáták” (Green Firebreaks) koncepciója, amely a gyúlékony fenyvesek lombos fafajokkal történő sávok tagolásával gátolja a koronatüzek kialakulását és terjedését. A műszaki megoldások között a tanulmány kitér a modern monitoring rendszerekre, összehasonlítva a különböző optikai és infravörös elven működő detektálási technológiákat, amelyekkel a riasztási lánc drasztikusan lerövidíthető.

Kulcsszavak: erdőtüz védelem, dinamikus kockázatbecslés

Abstract:

The article examines strategic modernisation of domestic forest fire protection, focusing on shifting from reactive damage elimination to proactive risk management. The paper aims to present an integrated protection system that supports decision-making through geographic information systems (GIS) and artificial intelligence (AI), minimising intervention time and environmental damage. The first part of the study discusses dynamic risk assessment. The GIS-based model synthesises static environmental factors (forest stand, relief) and real-time meteorological variables using the “Overlay” technology. The paper pays special attention to the Great Plain pine forests and urban-forest interface zones (WUI), which are most exposed to climate change and where human and natural risks cumulatively increase. The prevention chapter analyses new directions in biological and technical risk reduction. The concept of “Green Firebreaks” is presented in detail, preventing the formation and spread of crown fires by dividing flammable pine forests into strips of deciduous trees. Among the technical solutions, the study covers modern monitoring systems and compares various optical and infrared detection technologies, thereby shortening the alarm chain.

Keywords: forest fire protection, dynamic risk assessment

1. BEVEZETÉS

A korszerű tűzvédelmi stratégia alapköve a paradigmaváltás a hagyományos, reaktív szemléletű kárfelszámolás felől a proaktív kockázatmenedzsment irányába. Ez a metodika nem más, mint a statikus környezeti tényezők (pl. erdőállomány típusa, domborzat, biomassza-terhelés) és a dinamikus változók (meteorológiai paraméterek, talajnedvesség) valós idejű szintézise, amely alapján meghatározható a beavatkozó állomány szükséges készülségi foka. A kockázatbecslés a modern döntéstámogató rendszerek alappillére, amely három fő dimenzióban növeli a védekezés hatékonyságát. A prediktív modellezés lehetővé teszi a „beavatkozás előtti” fázis optimalizálását. A veszélyeztetett szektorok előzetes azonosításával a hivatásos és az önkéntes állomány riasztási fokozata célzottan emelhető. Ez a „készenléti pozicionálás” drasztikusan csökkenti a felvonulási időt, ami a tűz korai fázisban történő megfojtásának feltétele. Erőforrás-allokáció és költséghatékonyság, azaz a kockázati térképezés lehetővé teszi az erőforrások (humán erő és technika) fókuszált diszlokációját. A preventív járőrszolgálatok útvonalának tervezése vagy a technikai monitoring rendszerek (AI-alapú kamerahálózatok, szenzorok) telepítése nem véletlenszerűen, hanem a kockázati súlypontok alapján történik, ami jelentős költségmegtakarítást és hatékonyságnövekedést eredményez. A kockázatelemzés kritikus eleme a vízutánpótlás tervezése. A modell segítségével kijelölhetők azok a vízhiányos, de magas kockázatú zónák (pl. Homokhátság), ahová indokolt a mobil víztározó kapacitások (pl. tartályok, medencék) előtelepítése (pre-positioning). Ez extrém tűzveszély esetén biztosítja a folyamatos oltóvíz-ellátást, ami a műveleti siker (a tűzfront megállítása) kritikus feltétele. Ezzel a logisztikai támogatás optimalizálása is megvalósítható.

2. VESZÉLYEZTETETT HELYEK AZONOSÍTÁSÁNAK MÓDSZERTANA

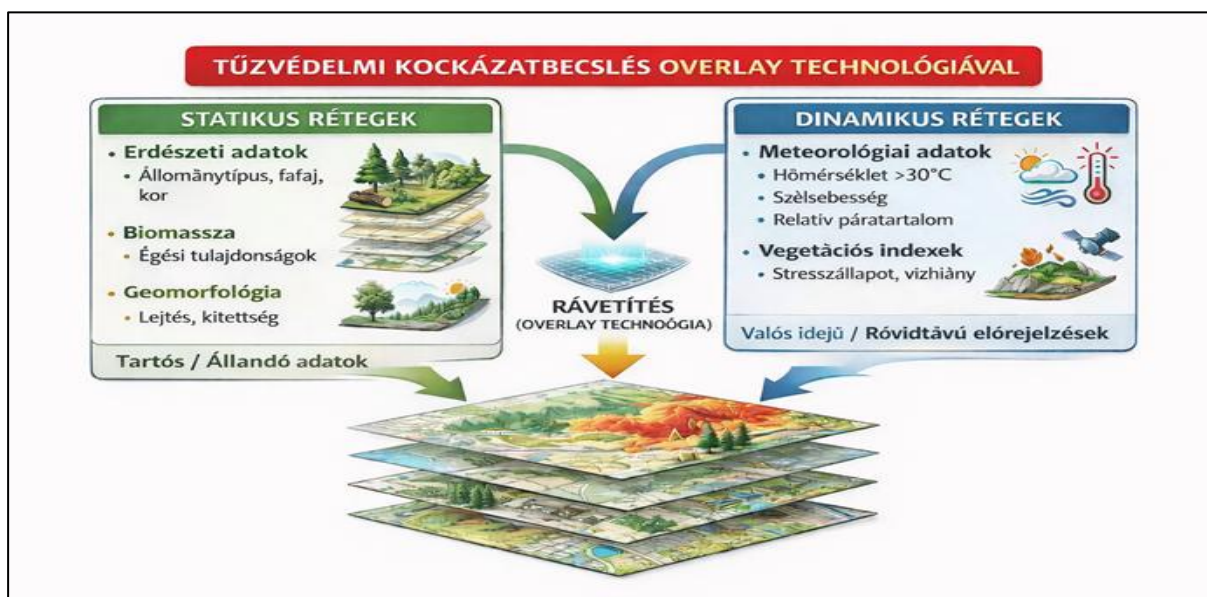
2.1 Az időjárási adatok integrálása a veszélyeztetett helyek azonosításába

A meteorológiai input paraméterek (hőmérséklet, szélvektorok, relatív páratartalom) térinformatikai feldolgozása és a területi adottságok szintézise alapján három, kritikus kockázati zónát definiálhatunk. Az alföldi fenyvesek és borókások (Kiskunság, Homokhátság) régiója mutatja a legmagasabb időjárási érzékenységet és a legrövidebb reakcióidőt. A laza szerkezetű homoktalajok rendkívül alacsony vízretenciós (vízmegetartó) képessége miatt a biomassza kiszáradása itt zajlik le a leggyorsabban. Már egy rövid, 3-4 napos hóhullám és a kritikus 30% alatti relatív páratartalom együttes jelenléte esetén ezek a területek (kiemelten a Bugac és a Kiskunság térsége) az ország leggyűlékonyabb "hotspotjaivá" válnak. A kockázatbecslés fókuszában itt a finom éghető anyagokban (tűlevél, száraz fű) fellépő, nagy terjedési sebességű felszíni tüzek korai detektálása áll. Középhegységi területeken a kockázati mátrix meghatározó eleme a szélviszonyok és a domborzat interakciója. A meteorológiai modellekből kinyert alapszélsőségek a mély völgyekben (csatornahatás) és a meredek lejtőkön (Mátra, Bükk, Bakony) lokálisan felerősödnek. A kockázatelemzésnek itt azonosítania kell azokat a kritikus topográfiai pontokat, ahol a kéményhatás érvényesül, azaz a domborzat "húzza" a tüzet felfelé. Műveleti szempontból ezek a legveszélyesebb zónák, mivel a beavatkozás lehetősége korlátozott, és a menekülési útvonalak hiánya közvetlen életveszélyt jelent az állományra. Városközeli erdők (Wildland-Urban Interface – WUI) kategóriában a meteorológiai kockázatokat súlyoznunk kell az antropogén (emberi) tényezőkkel. A szakirodalom ezt a területet Városi-Erdei Érintkezési Zónának (angol terminológiával: *Wildland-Urban Interface – WUI*) nevezi. [1] Ez az a speciális térszerkezetű határfelület, ahol az épített környezet (lakóházak, infrastruktúra) közvetlenül érintkezik vagy keveredik a gyűlékony vegetációval. A hazai viszonyok között (pl. a Budai-hegység agglomerációja, a Mecsek déli lejtői vagy a balatoni nyaralóövezetek) a WUI-zónák jelentik a legkomplexebb védelmi kihívást. A kockázatbecslés során itt két alaptípust kell megkülönböztetnünk. Érintkezési zóna (Interface WUI), ahol a zárt településszerkezet éles határvonallal találkozik az erdőtümbbel (pl. lakótelep az erdő szélén). Itt a tűz frontálisan támadja az épített környezetet.

Keveredési zóna (Intermix WUI), ahol az épületek szórványosan, a vegetáció közé ékelődve helyezkednek el (pl. hegyvidéki nyaralóövezetek, tanyavilág). Tűzvédelmi szempontból ez a kritikusabb típus, mivel a növényzet (biomassza) minden oldalról körülveszi a védendő objektumokat, és a menekülési útvonalak is a tűzön keresztül vezetnek. A kockázatbecslési algoritmusban a WUI területek kiemelt súlyozást kapnak, mivel magas a gyújtási valószínűség. A statisztikák szerint a tüzesetek 90%-a emberi tevékenységre (pl. grillezés, kerti hulladékégetés, dohányzás) vezethető vissza, ami itt koncentrálódik. Tűz esetén az erőforrásokat meg kell osztani a tűzoltás és a lakosság evakuálása/védelme között, ami taktikai hátrányt jelent. Ezért egy "átlagos" aszályos hétvége a WUI-zónában – amennyiben az élénk turisztikai aktivitással párosul – exponenciálisan magasabb kockázati értéket generál, mint egy távolabbi, klimatikusan szárazabb, de embertől elzárt erdőtömb.

2.2 Térinformatikai elemzés

A veszélyeztetett zónák precíz identifikálása ma már elképzelhetetlen a többrétegű, térinformatikai alapú (GIS-based) kockázatelemzés nélkül. A Földrajzi Információs Rendszer (Geographic Information System) definíciója szerint egy olyan integrált hardver- és szoftver-keretrendszer, amely alkalmas a térbeli referenciával rendelkező adatok gyűjtésére, menedzselésére, manipulálására és komplex analízisére (Burrough, 1986). A statikus térképekkel ellentétben a GIS a geometriai objektumokhoz leíró adatbázist (attribútumtáblát) rendel, lehetővé téve a különböző adatrétegek közötti logikai műveletek elvégzését. [2] A tűzvédelmi kockázatbecslés során az ún. Overlay (Rávetítés) technológiát alkalmazzuk, amely három fő információs szint szintézisét jelenti. Statikus rétegek téradatbázis tartalmazza az erdészeti üzemtervi adatokat (állománytípus, fafaj, kor), a biomassza égési tulajdonságait, valamint a geomorfológiai viszonyokat (lejtés, kiettség), amelyek hosszú távon változatlanok. A dinamikus rétegek közé tartoznak a valós idejű, vagy rövid távú előrejelzésből származó meteorológiai inputok (hőmérsékleti anomáliák, relatív páratartalom, szélmezők), valamint a műholdas távérzékeléssel mért vegetációs indexek, amelyek a növényzet aktuális vízhiányát (stresszállapotát) mutatják. A fenti rétegek matematikai súlyozásával előálló végeredmény egy Dinamikus tűzkockázati térkép. Ez nem csupán egy vizualizáció, hanem egy döntéstámogató eszköz, amely cellaszintű pontossággal mutatja meg a tűzoltásvezetőnek a gyulladási valószínűséget és a várható tűzintenzitást, támogatva ezzel az erők előzetes diszlokációját.



1. ábra - A dinamikus erdőtüz-kockázatbecslés térinformatikai (GIS) rétegmodellje (készítette a szerző a Google Gemini segítségével)

A kockázatelemzési modell működési logikáját a mellékletben lévő 1. számú ábra szemlélteti, amely a GIS-alapú rávetítéses technológiát követi. A rendszer alapját (I. réteg) a statikus környezeti elemek képezik, beleértve az erdőállomány típusát és a kritikus infrastruktúrát (WUI zónák). Erre a fix alapra vetítjük rá a dinamikus változókat (II. réteg), ahol a valós idejű meteorológiai adatok mellett már megjelennek a származtatott mutatók, így a Pálfi-féle aszályindex (PAI) és az FWI rendszer értékei is. A rétegek matematikai súlyozásával és metszésével áll elő a döntéstámogatás eredménye (III. réteg), egy olyan kockázati zónatérkép, amely nemcsak a veszély mértékét jelzi színkódokkal, hanem közvetlen utasítást ad az erőforrások allokációjára, vagyis arra, hogy hová kell előzetesen átcsoportosítani a tűzoltó egységeket és a technikai eszközöket.

2.3 Súlyozási szempontok a kockázatelemzésben

A veszélyeztetettség számszerűsítése során egy súlyozott döntési mátrixot alkalmazok. A kockázatbecslési modell megbízhatóságát alapvetően a bemeneti változókhoz rendelt súlyozási koefficiensek kalibrációjának pontossága determinálja. A módszertan kidolgozása során a nemzetközi szakirodalomban elfogadott protokollt követtem, amely – Chuvieco et al. (2010) ajánlása alapján – nemcsak a természeti adottságokat, hanem az antropogén eredetű gyújtóforrások (pl. közlekedési infrastruktúra közelsége) térbeli integrációját is alapkövetelményként kezeli. [3]

2.3.1 Vegetációs súlyozás: Az éghetőanyag-modellek osztályozása

A statikus kockázati tényezők hierarchiájában a vegetáció típusa és állapota képviseli a legnagyobb súlyt. A súlyozás bázisát itt a növényzet gyulladási hajlama és az égés során felszabaduló hőenergia intenzitása adja. A térinformatikai (GIS) adatbázisban az egyes erdőtürelésekhez a következő logikai súlyokat rendeltem (1-től 10-ig terjedő ordinális skálán). Túlevelű állományok (Súly: 9–10 / Extrém kockázat) Ez a kategória jelenti a legmagasabb kockázati faktort. Fizikai-kémiai magyarázata, hogy a fenyőfélék (erdeifenyő, feketefenyő) gyanta- és terpéntartalma rendkívül magas, ami égés közben „kémiai gyorsítóként” funkcionál, növelve a lánghosszt és a terjedési sebességet. További kockázatonövelő tényező az örökzöld lombosítvány vertikális folytonossága, amely hajlamosítja a koronatűz kialakulására. Rothermel (1972) alapvető tűzterjedési modellje szerint ez a típus a legnehezebben kontrollálható, és itt a legmagasabb a röptűz kialakulásának valószínűsége is. [4] Cserjések és borókások (Súly: 7–8 / Magas kockázat) Kiemelt kockázatu kategória, különös tekintettel a hazai viszonyokra (pl. Kiskunság). A boróka magas illóolaj-tartalma miatt robbanásszerű égésre képes. Struktúráját tekintve a sűrű aljnövényzet és a cserjeszint vertikálisan növeli a tűz terjedési lehetőségét, ami biztosítja a folytonos éghető anyagot, amely a felszíni tüzet felvezeti a fák lombkoronaszintjébe, koronatűzet generálva. Lombos erdők (Súly: 3–5 / Mérsékelt kockázat) Közepes vagy alacsony kockázati besorolás. A keménylombos állományok (tölgyesek, bükkösök, cseresek) szövetei élő állapotban magasabb nedvességtartalmat tárolnak, így a gyulladáshoz szükséges aktiválási energia is magasabb. Fontos azonban megjegyezni a szezonálisitást, ugyanis vegetációs időszakban (nyáron) alacsony kockázattal számolhatunk a zöld lombosítvány nehezebb éghetősége miatt, azonban a nyugalmi időszakban (tavasszal/ősszel) a kockázat megnő, mivel a felhalmozódott száraz avar könnyen lánggra kaphat, bár ez jellemzően csak felszíni tűzként jelentkezik.

2.3.2 Domborzati súlyozás

Bár a domborzat önmagában nem képez éghető anyagot, a kockázatbecslési modellben mint terjedési dinamikát módosító tényező jelenik meg. A GIS-alapú súlyozás során két kritikus alparamétert integrálunk. Az egyik a lejtőszög és tűzterjedés. A lejtő meredeksége és a tűzterjedés sebessége között nem lineáris, hanem exponenciális összefüggés áll fenn. A tűzfizikai modellek pl. McArthur-szabály alapján minden 10 fokos meredekség-növekedés megközelítőleg megduplázza a terjedési sebességet a lejtő irányába. [5] A meredek terepen a lángoszlop dőlésszöge közelebb kerül a felszínhez, így a sugárzó hő (radiáció) és a konvektív hőáramlás intenzívebben éri az előtte álló biomasszát. Ez a folyamat „előmelegíti” a növényzetet, drasztikusan csökkentve a gyulladáshoz szükséges időt. A referenciaérték a sík terep esetében 1,0.

Ehhez viszonyítva egy 20%-os vagy annál meredekebb hegyoldal – a kéményhatás kockázata miatt – kiemelt szorzót 1,5–2,0 kap a kockázati mátrixban. A kitettséget és a közvetlen napsugárzást vizsgálva a domborzat tájolása a biomassza nedvességtartalmát befolyásolja a napsugárzás mennyiségén keresztül. Déli és délnyugati kitettségű területek kapják a legmagasabb hőösszeget és a legalacsonyabb páratartalmat, így itt a vegetáció kiszáradása a leggyorsabb. Északi kitettség esetén az árnyékosabb, hűvösebb mikroklíma miatt a nedvességtartalom tartósabban megmarad, lassítva a gyulladási hajlamot.

2.3.3 Antropogén terhelés súlyozása

A hazai tűzstatisztikák alapján a vegetációtüzek több mint 99%-a emberi gondatlanságra vagy szándékosságra vezethető vissza. Ebből adódóan a tisztán fizikai-biológiai alapú térkép torzítana, ha nem integrálnánk a modellbe a humán aktivitás térbeli lenyomatát. Ezt a GIS rendszerben távolságalapú zónázással, ún. pufferezónák (buffers) kijelölésével kezeljük. [6] Lineáris infrastruktúra vonatkozásában az úthálózat és a vasútvonalak nem akadályként, hanem potenciális gyűjtőforrásvektorként szerepelnek. A modellben az utak tengelyétől számított 50–100 méteres sáv kapja a legmagasabb kockázati súlyt. Ebben a zónában koncentrálnak az eldobott cigarettacsikkekből, a gépjárművek műszaki hibáiból (katalizátor okozta tüzek) és az intenzív humán jelenlétből fakadó gyűjtások. A korábban már tárgyalt WUI zónák a legkritikusabb területi egységek, itt vannak azok az erdőrészek, amelyek közvetlenül érintkeznek lakott területtel. A térinformatikai elemzés során a településhatár 500 méteres sugarú pufferezónája „Extrém” kockázati besorolást kap. Itt a legmagasabb a gondatlan tűzhasználat (kerti hulladék égetése, grillezés, illegális hulladéklerakók gyulladása) valószínűsége, amely könnyen átterjedhet az erdőállományra.

3. KOCKÁZATKÖZVETÍTÉS RENDSZERE ÉS A TŰZVESZÉLY KIHIRDETÉSE

A kockázatbecslési folyamat operatív végterméke a lakosság és az erdőgazdálkodók felé kommunikált hatósági riasztás. Magyarországon ezt a funkciót egy jogilag szabályozott, preventív intézkedésrendszer, a tűzgyújtási tilalom (fokozott tűzveszély időszaka) valósítja meg. A védekezés jogszabályi hátterét elsődlegesen az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról szóló 2009. évi XXXVII. törvény (Evt.), valamint a végrehajtására kiadott miniszteri rendeletek biztosítják (2009. évi XXXVII. törvény az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról. [7] A fokozott tűzveszély időszakát az agrárminiszter rendeli el, jellemzően a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH) szakmai javaslatára, a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatósággal (BM OKF) történt előzetes egyeztetést követően. A területi hatályt tekintve a korlátozás elrendelhető országos jelleggel, vagy differenciáltan, vármegyei bontásban. A döntéshozatal bázisát a NÉBIH Erdészeti Igazgatósága által napi szinten futtatott FWI (Fire Weather Index) modell adja. Amennyiben a tűzveszélyességi index tartósan (több napon keresztül) eléri a „Magas” vagy „Nagyon Magas” kategóriát, az intézkedés automatikusan életbe lép (4/2008. (VIII. 1.) ÖM rendelet az erdők tűz elleni védelméről. [8.] A fokozott tűzveszély időszakában az 54/2015. (XII.15.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról alapján tilos tüzet gyújtani az erdőterületeken, valamint azok 200 méteres védőzónájában (külterületi ingatlanokon, szántókon), beleértve a kijelölt tűzrakó helyeket is. [9] Ez a 200 méteres pufferezóna kritikus jelentőségű, mivel a hazai vegetációtüzek domináns része agrárterületről terjed át az erdőállományra.

3.1 A lakossági tájékoztatás csatornái és hatékonysága

A riasztási rendszer hatékonyságát alapvetően determinálja az információ célba juttatásának sebessége. A jelenlegi hazai gyakorlatban a tájékoztatás két fő formában valósul meg. Passzív tájékoztatás formájában a NÉBIH és a Katasztrófavédelem hivatalos portáljain közzétett interaktív térképek. Ennek korlátja, hogy a lakosoknak aktívan keresnie kell az információt, automatikus értesítést nem kap. Aktív tájékoztatás formája többek között a közszolgálati médiumokban (TV, rádió) közzétett felhívások, valamint a VÉSZ applikáció, a BM OKF Veszélyhelyzeti Értesítési Szolgáltatása (VÉSZ) "push" üzenetet küld az okostelefon-felhasználóknak.

Ennek lefedettsége azonban korlátozott (csak az applikációt letöltők érik el). A technológiai fejlődés lehetővé tenné a cellalapú vagy helyalapú SMS-technológia integrálását az erdőtüzmegelőzésbe. Hasonlóan az árvízi riasztásokhoz, a rendszer automatikus figyelmeztetést küldhetne minden olyan mobilkészülékre, amely belép egy "Piros zónás" (kiemelt kockázatú) erdőterületre (pl. Bükk-fennsík). Az üzenet („*Fokozott tűzveszély! Tűzgyújtás tilos!*”) célzottan érne el a kockázati csoportot (turisták), növelve a prevenció hatásfokát.

3.2 Nemzetközi jó gyakorlatok komparatív elemzése

A hazai rendszer fejlesztése érdekében megvizsgáltam a tűzvédelemben élen járó államok kockázatkezelési modelljeit. Az Amerikai Egyesült Államokban a Nemzeti Meteorológiai Szolgálat (NWS) az ún. "Red Flag Warning" (Vörös Zászló Riasztás) rendszerét alkalmazza. Ez a modell a statikus (hetekig tartó) tilalommal szemben egy rövid távú (24–48 órás), de rendkívül súlyos figyelmeztetés. Pszichológiai hatása erősebb, mivel a lakosság ingerküszöbét a ritkább, de intenzívebb jelzések jobban elérik, elkerülve a „riasztási fásultságot”. (Továbbá a nemzeti parkokban a napi kockázati szintet vizualizáló *Smokey Bear* táblarendszert alkalmazzák. [10] Ausztráliában a "Total Fire Ban" napjain nemcsak a nyílt láng használata, hanem minden szikraképződéssel járó tevékenység (pl. hegesztés, sarokcsiszolás) tilos a szabadban. A jogszabálysértés szankcionálása elrettentő erejű (jelentős pénzbírság és szabadságvesztés), amelynek hazai adaptációja – az erdővédelmi bírság összegének emelésével – megfontolandó lehet. [11.] Franciaországban a dél-európai modell (pl. Provence-Alpes-Côte d’Azur régió) áll legközelebb a hazai viszonyokhoz. Itt a kockázati szinthez (Színkódok: Narancs/Piros/Fekete) igazítják az erdőlátogatási jogokat. A "Fekete" (Fekete zóna) fokozat esetén az erdőterületet fizikailag lezárják (sorompók, hatósági ellenőrzés), teljesen kiküszöbölve az emberi tényezőt. Itt meg kell jegyezni, hogy az Evt. 91. § (1) bekezdése Magyarországon is lehetőséget ad az erdőlátogatás korlátozására. Extrém aszályos időszakban (FWI > 50) ezen jogi eszköz alkalmazása indokolt lenne a kiemelt turisztikai célpontokon. [12]

3.3 A döntéstámogatás protokollja

A kockázatbecslési modellek (FWI, PAI, GIS) és a hatósági intézkedések közötti kapcsolatot egy szigorúan szabályozott intézkedési protokoll teremti meg. Ez biztosítja, hogy a szubjektív mérlegelés helyett objektív küszöbértékek vezéreljék a védekezést. Ez az integrált rendszer teszi lehetővé, hogy a védekezés proaktív válnon. A modell által előrejelzett „Piros” kód már 48 órával az esemény előtt elindítja a riasztási láncot, így mire a tűzveszély fizikailag realizálódik, a jogi korlátozások (tilalom) és a technikai erők már a megfelelő készültségi szinten állnak rendelkezésre. Ezzel a módszertannal a védekezés súlypontja a költséges és magas kockázatú kárfelszámolásról a megelőző logisztikai és jogi felkészülésre helyeződik át. A számított indexértékek és az azokhoz rendelt kötelező érvényű hatósági, illetve műveleti válaszlépések rendszerét a mellékletben lévő 1. számú táblázat szemlélteti.

Kockázati szint	FWI érték	Meteorológiai jellemzők	Hatósági intézkedés (Protokoll)	Műveleti készültség (Tűzoltóság)
I. ALACSONY (Zöld)	< 10	Hűvös, csapadékos idő, magas páratartalom.	Nincs korlátozás.	Normál ügyeleti rend.
II. MÉRSÉKELT (Sárga)	10 – 20	Átlagos nyári időjárás, helyi kiszáradás.	Figyelemfelhívás, tájékoztatás a NÉBIH honlapon.	Riasztási lapok előkészítése.

Kockázati szint	FWI érték	Meteorológiai jellemzők	Hatósági intézkedés (Protokoll)	Műveleti készülség (Tűzoltóság)
III. MAGAS (Narancs)	21 – 40	Tartós kánikula (>30°C), szél, alacsony pára.	Tűzgyújtási tilalom elrendelése (Vármegyei/Országos).	Fokozott készülség. Önkéntesek (ÖTE) készenléthe helyezése.
IV. EXTRÉM (Piros)	> 40	Aszály + Viharos szél + Kiszáradt biomasza.	Erdőlátogatási tilalom (Evt. 91.§) mérlegelése.	Erők átcsoportosítása, mobil víztározók telepítése, légi felderítés.

1. táblázat - Számított indexértékek és műveleti válaszleépések (készítette a szerző)

3.4 Megelőzés és kockázatsökkentés

A modern erdőtűz-védelem paradigmája szerint a kockázatsökkentés nem izolált technikai intézkedések ad hoc jellegű alkalmazása, hanem egy szigorú logikai láncolatra felfűzött, integrált védelmi rendszer. A hatékony prevenció stratégia célja a tűzesemények bekövetkezési valószínűségének minimalizálása, illetve a már kialakult tüzek terjedési dinamikájának lassítása. A kutatásom során a kockázatsökkentő tényezőket négy stratégiai beavatkozási területre, úgynevezett védelmi pillérre bontva rendszereztem:

Ökológiai reziliencia-növelés (Biológiai védelem): Az erdőállomány szerkezetének preventív átalakítása (pl. fafajcsere, elegyítés) a természetes ellenálló képesség fokozása érdekében.

Infrastrukturális védelem (Műszaki gátak): A tűz terjedését fizikailag akadályozó létesítmények (védősávok, tűzpázták) és a beavatkozást támogató műszaki hálózat (feltáró utak) kiépítése.

Biomassza-menedzsment (Tűzterhelés-szabályozás): A rendelkezésre álló éghető anyag mennyiségének és folytonosságának kontrollált csökkentése.

Monitoring és detektálás: A korai észlelés technológiai támogatása (szenzorhálózatok, távérzékelés) a reakcióidő minimalizálása céljából.

3.5 Biológiai kockázatsökkentés: Erdőszerkezet-átalakítás

A preventív védekezés leghatékonyabb, hosszú távú stratégiai eleme a biológiai alapú kockázatsökkentés. Ahogy a térinformatikai (GIS) elemzést tárgyaló fejezetben igazoltuk, hazai viszonylatban a homogén fenyvesek jelentik a kritikus veszélyforrást. A beavatkozás célja ezen állományok esetében a rezisztencia (ellenálló képesség) növelése. A gyakorlatban ez a lombosítás és elegyítés erdőművelési módszerével valósítható meg, melynek során az egynemű fenyves tömböket sávos vagy mozaikos elrendezésben telepített lombos fafajokkal (pl. tölgy, cser, akác) tagoljuk. A beavatkozás azon az ökológiai tényen alapul, hogy a lombos fák leveleinek nedvességtartalma (Leaf Moisture Content) a kritikus nyári időszakban is szignifikánsan magasabb, továbbá zárt koronájuk árnyékoló hatása révén a talajszint mikroklímáját nedvesebben tartják, gátolva az avar kiszáradását. A kialakított védősávok a szakirodalomban „zöld tűzgátként” (Green Firebreaks) ismertek: ezek a zónák megszakítják az éghető biomasza horizontális folytonosságát, megtörik a tűzfront lendületét, és drasztikusan csökkentik a kontrollálhatatlan koronatűz kialakulásának kockázatát. [13] A tűlevelű és a lombos állományok közötti tűzvédelmi különbség három alapvető fizikai-kémiai tényezőre vezethető vissza. A tűlevelűek (különösen a hazai Pinus fajok: erdeifenyő, feketefenyő) szövetei evolúciós okokból, magas koncentrációban tartalmaznak gyantaszármazékokat és illékony szerves vegyületeket (terpéneket). Ezek az anyagok a tűz közeledtével, a sugárzó hő hatására már alacsony hőmérsékleten (100–200°C) gázosodnak, és az oxigénnel keveredve robbanásszerű, exoterm (hőtermelő) égést produkálnak.

Ezzel szemben a lombos fafajok (tölgyek, juharok) szövetei minimális illóolajat tartalmaznak. Égési mechanizmusuk endoterm (hőelvonó) jelleggel indul, mivel a lángra kapáshoz szükséges aktiválási energiát a növényi nedvesség elpárologtatása emészt fel, lassítva ezzel a pirolízis folyamatát. [14.] Második tényező tűzvédelmi szempontból a növényi víztartalom, amely egyben a legkritikusabb változó. Aszályos periódusban a fenyőfélék tűleveleinek nedvességtartalma drasztikusan lecsökken, miközben az elhalt, gyantás tűlevelek évekig az ágrendszeren maradhatnak. Ezzel szemben a vegetációs időszakban a lombos fák leveleinek víztartalma szignifikánsan magasabb. A „zöld tűzgát” hatásmechanizmusa a víz fizikai tulajdonságain alapul: egy élő tölgyfalevél elpárologtatása (a fázisátalakulás hőigénye miatt) jelentős energiát von el a tűztől, csökkentve a lánghosszt és az intenzitást (kW/m). A harmadik tényező az avarstruktúra. A felszíni tüzek terjedési sebességét a talajszinten felhalmozódott holt biomassza szerkezete determinálja. A fenyőávar esetében elmondható, hogy a magas lignintartalom és a savas kémhatás miatt lassan bomlik. A tűlevelek alakjukból adódóan laza, magas levegőtartalmú (aerált) réteget képeznek, amelyben az oxigénellátottság kiváló, így a tűz gyorsan terjed. Ezzel szemben a lombos avarban a széles levelek a talajra hullva rétegesen összetapadnak, tömörödnek (kompaktálódnak). A nedvesebb mikroklíma és az intenzív talajélet miatt gyorsan humuszosodnak, így a felszíni tűzterhelés itt nagyságrendekkel alacsonyabb, a tűz terjedése pedig a levegőhiány miatt gátolt. A „Zöld Tűzgátak” (Green Firebreaks) hatásmechanizmusa a védekezés-taktika alaptézise, hogy amennyiben a beavatkozó állomány koronatűzzel szembesül, az elsődleges cél a láng „földre kényszerítése”, mivel a 20–30 méter magas lángoszlopokkal szemben a közvetlen oltás lehetetlen. Amikor a fenyvesben tomboló koronatűz eléri a stratégiaileg elhelyezett lombos sávot (zöld tűzgátat), a tűz viselkedése drasztikusan megváltozik. [15] A folyamat fizikája, hogy a lombos fák koronája a magasabb nedvességtartalom miatt nem gyullad meg azonnal a sugárzó hőtől. Ezzel párhuzamosan a tűz „üzemanyaga” (a gyúlékony, gyantás tűlevél) hirtelen elfogy. Ennek következtében a tűz elveszíti termikus energiáját, intenzitása csökken, és a koronaszintről leereszkedik a talajszintre. Ez a momentum teremti meg a taktikai lehetőséget a beavatkozásra: a talajszinten mozgó tűz ellen a tűzoltó egységek már képesek sikeres földi támadást indítani. A lombos állományok passzív védelmi funkciója nyáron is érvényesül. A sűrű, zárt lombkorona árnyékoló hatása miatt a tölgyesekben a talajszint hőmérséklete mérések szerint 5–8 °C-kal alacsonyabb, míg a relatív páratartalom 10–20%-kal magasabb lehet, mint egy ritkás szerkezetű fenyvesben. [16] Ez a nedvesebb mikroklíma önmagában is gátolja a tűz terjedési sebességét. Hazai vonatkozásban meg kell állapítani, hogy a klímaváltozás kényszerítő hatása ellenére a teljes fafajcsere gazdasági okokból nem realitás, ezért a hangsúlyt a stratégiai fragmentációra kell helyezni. Sávos telepítésnél a nagy kiterjedésű, összefüggő fenyves tömböket (pl. Kiskunság) 20–50 méter széles lombos sávokkal szükséges tagolni ("feldarabolni"), amelyek fizikai tűzgyátként funkcionálnak. Mozaikos elegyítést alkalmazva a fenyők közé szórványosan vagy csoportosan ültetett lombos fák csökkentik az éghető biomassza horizontális és vertikális folytonosságát. Összegezve, a lombosítás a passzív tűzvédelem leghatékonyabb ökológiai eszköze, amely a tűzterjedés fizikai gátlása mellett a biodiverzitás növelésével az erdő általános rezilienciáját (ellenálló képességét) is javítja.

3.6 Erdőszegélyek, azaz „Árnyékolt Tűzpászták” kialakítása

Az erdőszegélyek szerepe kettős: egyrészt fizikai akadályt képeznek, másrészt aktívan módosítják a mikroklímát (szélsebesség, páratartalom). A nemzetközi szakirodalom ezt a zónát „Fuel Management Zone” (éghetőanyag-kezelési zóna) vagy „Shaded Fuelbreak” (árnyékolt tűzpásztá) néven definiálja. [17] A leghatékonyabb védelmet a lépcsőzetes állományszerkezet biztosítja. A külföldi (főként amerikai és mediterrán) modellek alapján az uralkodó szélirány felől a következő profil kialakítása javasolt: Külső zónában az erdő és a mezőgazdasági terület találkozásánál egy rendszeresen kaszált, alacsony fűsávnak kell elhelyezkednie, amely megakadályozza a tarlótüzek áttérjedését. Cserjeszinten sűrű, de alacsony növésű, nehezen égő cserjék (pl. kökény, galagonya, bodza) sávja. Funkciója a szikraszűrös: a szél által szállított izzó parazsat (röptűz) ez a levéltömeg fizikailag megfogja és kioltja, mielőtt az elérné a belső állományt. Lombos fafajok sávjában magas, sűrű koronájú fák (juhar, hárs, tölgy) telepítése javasolt.

Árnyékolásukkal nedvesen tartják az aljnövényzetet, koronájukkal pedig megtörik a szelet, felfelé kényszerítve a légáramlatot, ami csökkenti a tűz terjedési sebességét. [18] A helyesen kialakított erdőszegély nemcsak passzív fal, hanem aktív áramlómódosító tényező. Mérések igazolják, hogy a sűrű szegélyállományok a nyílt terepen fújó szél sebességét a lombkorona alatt akár 50–70%-kal is csökkenthetik. Mivel a tűz terjedési sebessége a szélesebb négyzetével arányos, ez a beavatkozás drasztikus kockázatcsökkentést eredményez. A lombos fák levelei széles felületükkel „szűrőként” fogják fel a repülő szikrákat, amelyek a magas víztartalmú felületen – gyűjtőhatás nélkül – elhamvadnak.

3.7 Műszaki kockázatcsökkentés: Védősávok, tűzpászták

A biológiai védekezés mellett a prevenció műszaki gerincét a tűzpászták hálózata alkotja. Definíció szerint ezek olyan mesterségesen kialakított lineáris létesítmények, amelyek elsődleges funkciója az éghetőanyag-folytonosság fizikai megszakítása. A gyakorlatban két alapvető típust különböztetünk meg:

Az első típus **az ásványi talajig tisztított tűzpásztá**, mely a hazai erdőgazdálkodásban legelterjedtebb, klasszikus védelmi elem. Kialakítása során a mechanikai talajmegmunkálással (erőgépre szerelt tárcsa vagy eke segítségével) a vegetációt teljes mértékben kiforgatják, feltárva az éghetetlen, tiszta ásványi talajfelszínt. A sáv szélességét a nemzetközi sztenderdek alapján úgy kell meghatározni, hogy az meghaladja a vegetációtípusra jellemző várható lánghosszt. Operatív és logisztikai szempontból a minimum 3–6 méteres szélesség az irányadó, amely nemcsak a tűzterjedést gátolja, hanem biztosítja a gépjárműfecskendők biztonságos felvonulását és manőverezését is. Alkalmazása elsősorban erdőtagok határvonalán, vasúti pályatestek mentén, valamint a nagy kiterjedésű, homogén fenyves tömbök feldarabolására indokolt.

A másik típus a kezelt biztonsági zóna a klasszikus tűzpasztánál szélesebb (20–50 méteres), **pufferzónaként funkcionáló sáv**. Ebben a zónában nem történik teljes talajbolygatás. A cél a biomassza mennyiségének drasztikus csökkentése rendszeres gyéritéssel. Kulcsfontosságú az alsó ágrendszer 2–3 méter magasságig történő felnyesése. Ezzel a beavatkozással megszüntetjük az ún. „tűzlétrát”, megakadályozva, hogy a felszíni tűz felkússzon a lombkoronaszintbe. Funkciója a tűz intenzitásának és hő kibocsátásának mérséklése. A csökkentett intenzitású tüzet a zóna belső oldalán húzódó ásványi sávnál a beavatkozó egységek már biztonsággal lokalizálni tudják. [19] A hazai statisztikák elemzése rámutat, hogy a mesterséges közlekedési folyosók (vasút, közút) kiemelt gyűjtőforrás-vektorként funkcionálnak. A védekezés alapja ezen területeken a jogszabályi kötelezettségen alapuló sávok karbantartás. A vasúti pályatestek környezete extrém kockázati zónának minősül a fékezéskor keletkező szikra, valamint a felsővezeték-hibák miatt. A pályauzemeltető kötelessége a zúzottkő ágyazattól számított védőtávolságon belül a teljes gyommentesítés fenntartása. Vegyszeres (herbicides) kezelés vagy mechanikai talajmarás elmaradása esetén a száraz aljnövényzet könnyen vezeti a tüzet a töltésrézsűről a szomszédos erdőállományba. A közutak mentén a védősáv funkcióját az útpadka és az árokpart látja el. Az eldobott cigarettacsikkok okozta tüzek megelőzésében a „tiszta padka” a leghatékonyabb passzív védvonal. A védősávok taktikai és műveleti jelentősége kettős, és túlmutat a passzív gát funkció: logisztikai és felvonulási útvonal, ugyanis a zárt erdőállomány belseje a sűrű aljnövényzet és a domborzati viszonyok miatt gyakran járhatatlan a nehéz kategóriás terepjáró gépjárműfecskendők számára. A tűzpászták biztosítják azt a szilárd alapú nyomvonalat, amelyen keresztül a gépjárművek megközelíthetik a tüzet, biztosítva a folyamatos oltóanyag-utánpótlást. A beavatkozás biztonságát is növeli, ugyanis az időjárási körülmények hirtelen megváltozása esetén (pl. szélfordulás) a személyi állomány ezen a vegetációmentes sávon tud biztonságosan és gyorsan visszavonulni a gyülekezési pontra. [20]

3.8 Az erdő „tüzelőanyagának” csökkentése

A tűz viselkedését meghatározó tényezők közül az időjárás és a domborzat adottság, emberi beavatkozással nem módosítható. A prevenció egyetlen operatív beavatkozási pontja ezért a harmadik tényező: a rendelkezésre álló éghető anyag mennyiségének és szerkezetének szabályozása. A fakitermelések után visszamaradó gallyazat kiszáradva extrém tűzveszélyt jelent. A modern erdőművelési gyakorlatban a helyszíni aprítás (mulcsozás) az elsődleges eljárás. A zúzott faanyagot a talajba dolgozzák, ami megváltoztatja az anyag szerkezetét: a laza, levegős gallyhalmok helyett (amelyek gyorsan égnek) egy tömör réteg keletkezik. Mivel a mulcs még évekig gyúlékony maradhat, innovatív kísérleti eljárás a bomlási folyamat mesterséges felpörgetése. Ennek során nitrogéntartalmú oldatokat (pl. karbamid) vagy specifikus, korhasztó gombatörzseket (pl. *Phlebiopsis gigantea*) juttatnak a zúzalékra. Ez a kezelés a veszélyes faforgácsot rövid idő alatt veszélytelen, nedvességmegtartó humusszá alakítja. [21] Ahol a gépi zúzás a domborzat (pl. meredek hegyoldalak) vagy a természetvédelmi korlátozások miatt nem kivitelezhető, ott alkalmazható az irányított legeltetés. Kérődző állatok (főleg kecskék és juhok) célzott, rotációs ráengedése a veszélyeztetett védősávokra. A kecskék táplálkozásélettani sajátossága, hogy szelektíven fogyasztják a fás szárú cserjéket és a szúrós bozótot, amelyet a gépi zúzás nehezen ér el. Mivel két lábra ágaskodva akár 1,5–2 méter magasságig is legelnek, megszüntetik a növényzet vertikális folytonosságát. Járulékos haszon a fosszilisanyag-kibocsátásmentes üzemeltetés, valamint az avar paták általi talajba dolgozása. [22] A nyésés és ágletisztítás nem a talajon lévő biomassza mennyiségét csökkenti, hanem annak függőleges eloszlását módosítja. A fenyők alsó, elszáradt ágai elősegítik a tűz terjedését lombkoronába. Az alsó ágrendszer 2–3 méter magasságig történő szisztematikus felnyesése fizikailag megszünteti az összeköttetést a talajszint és a koronaszint között. Ez a technika a pusztító koronátüzek megelőzésének legköltséghatékonyabb módja. Meg kell még említeni a kémiai vegetációkezelést, mely bár az erdőállomány belsejében általában tilos, a lineáris infrastruktúrák (vasúti töltések, távvezeték-nyiladékok) védelmében elengedhetetlen a vegyszeres gyomirtás. Célja a növényzet teljes és tartós eliminálása az ásványi talajszintig. A kezelés kritikus pontja az időzítés. A vegyszerezés után az elszáradt, lábon álló növényzet átmenetileg gyúlékonyabb, mint az élő biomassza, ezért a kezelést kora tavasszal kell elvégezni, hogy a tűzveszélyes nyári időszakra a növényi maradványok már lebomoljanak. Magyarország vonatkozásában specifikum, amelyben a szociálpolitika és a tűzvédelem érdekei találkoznak a „szociális tűzifa” program. A lakossági rőzsegyűjtés (3–5 cm átmérő alatti ágfa) engedélyezése révén a lakosság effektív munkaerőként távolítja el a potenciális gyűjtőanyagot. Ez egy klasszikus „win-win” szituáció: az erdészet számára költségmentes a terület-tisztítás, miközben csökken a lakott területek tűzveszélyeztetettsége.

3.9 Figyelőrendszerek és korai detektálás – a technológiai monitoring

A tűzoltás-taktika alapvető tétele az időtényező. A tűz viselkedésére jellemző, hogy a kezdeti lineáris terjedési szakasz után – a környezeti feltételek függvényében – exponenciális gyorsulási fázisba lép. A monitoring rendszerek elsődleges célja a detektálási idő minimalizálása, azaz a füstoszlop fizikai megjelenése és a riasztás generálása közötti intervallum radikális lerövidítése. A modern, humán munkaerőt kiváltó észlelési architektúra három technológiai pilléren nyugszik:

1. Optikai spektrumú (RGB) elemzés: a rendszer gerincét a magaslati pontokra telepített, nagy felbontású, 360 fokban pásztázó kamerák alkotják. A háttérsoftver valós idejű képfeldolgozást végez. Az algoritmus nem a lángot (amely nappal nagy távolságból láthatatlan), hanem a füstoszlop vizuális mintázatát keresi. A füst sajátos gomolygását, textúráját és szürkeárnyalatait (kontraszt) azonosítja a statikus háttérhez (kék ég, zöld vegetáció) viszonyítva. [23]

2. Infravörös detektálás: a hőkibocsátás mérésén alapuló technológia. Előnye, hogy éjszakai látási képességet biztosít, és képes detektálni a sűrű lombkorona alatt rejtőzködő tüzet is, amennyiben a felszálló hőáramlat megjelenik a koronaszint felett.

3. **Térinformatikai háromszögelés:** a rendszer a hálózati működésben válik teljessé. Amennyiben egy füstjelet két, egymástól távol eső torony szenzora is azonosít, a központi GIS-rendszer a látószögek metszéspontjából méterre pontosan meghatározza a tűz koordinátáit. [24] A globális piacon jelenleg négy domináns rendszer határozza meg a szabványokat, melyek eltérő földrajzi és domborzati viszonyokra optimalizáltak:

1. **IQ FireWatch** (Németország): A Német Űrkutatási Központ (DLR) spin-off fejlesztése, amely eredetileg űrszondák szenzortechnológiáján alapul. [25] Egyetlen, nagy érzékenységgű multispektrális szenzort alkalmaz. Hatékonyságát jelzi, hogy képes akár 15–20 km távolságból detektálni egy 10x10 méteres füstfelhőt. Jelenleg ez a síkvidéki fenyvesek (pl. Brandenburg tartomány) védelmének szabványa. Hazai viszonylatban a Kiskunság és az Alföld védelmére ez a legalkalmasabb technológia (Korai erdőtüzek észlelése – iq.firewatch.com ; 2026.).

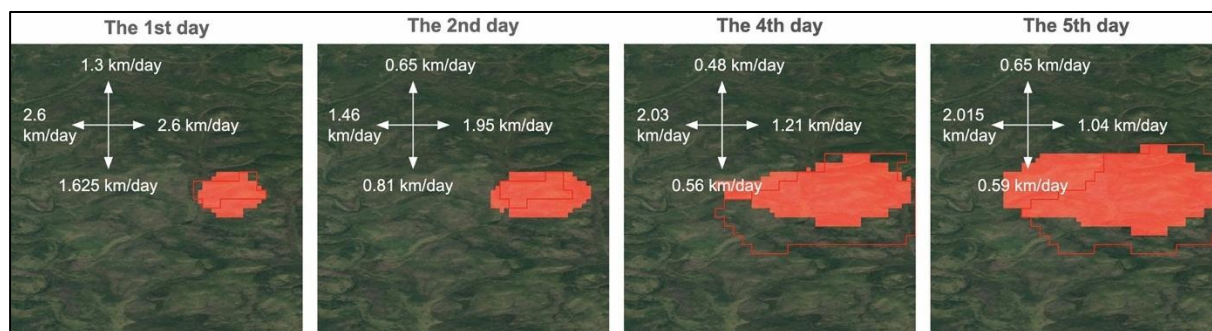
2. **ADELIE** (Franciaország): A Paratronic cég fejlesztése, kifejezetten a komplex, tagolt domborzatra (hegyvidék). A rendszer kombinálja a vizuális adatokat a meteorológiai állomások méréseivel. Kulcseleme a gépi tanulás, ahol a kezelő betaníthatja a szoftvert az állandó, „fals” hőforrások (pl. ipari kémények, kőbányák pora) figyelmen kívül hagyására, minimalizálva a téves riasztásokat. [26]

3. **ForestWatch** (Dél-Afrika): Az Envirovision rendszere, amely a füst dinamikus viselkedésére fókuszál. [27] Olyan mozgásanalízist alkalmaz, amely képes megkülönböztetni a füst „gomolygását” a szél által felkavart porfelhőktől, így sivatagos vagy száraz területeken is megbízható (Forestwatch – Protecting property, defending people, preserving resources; evolutions.biz; 2026.).

4. **Insight Robotics** (Hong Kong / Globális): A legmodernebb hibrid megoldás, amely kifejezetten a WUI zónák (városkörnyéki erdők) védelmére fókuszál. Fix telepítésű hőkamerás robotok és drónok integrációja, amely 5 km-es távolságból 5 méteres pontosságú lokalizációt tesz lehetővé. [28]

Magyarországon kísérleti jelleggel már üzemelnek hasonló rendszerek, például a Bács-Kiskun vármegyei fenyvesekben (KEFAG Zrt. területe). A hazai erdőtüzvédelem jövőbeli fejlesztési iránya a szigetzerű megoldások helyett egy integrált országos monitoring hálózat létrehozása. Ennek keretében a meglévő meteorológiai hálózat és a térfigyelő kamerarendszerek adatait egy központi, mesterséges intelligenciával (AI) támogatott GIS felületen kellene egyesíteni, amely valós idejű döntéstámogatást nyújtana a katasztrófavédelem számára. A vizuális (kameraalapú) megfigyelés korlátait – különösen a tagolt domborzatú, „vakfoltokkal” teli területeken – a legújabb fejlesztési irány, a vezeték nélküli szenzorhálózatok (Wireless Sensor Networks – WSN) hivatottak kompenzálni. Ez a technológia az erdőállomány mélyére, a fák törzsére telepített autonóm, kisméretű mérőegységek (csomópontok) hálózatából áll, amelyek valós időben monitorozzák a mikroklíma paramétereit (hőmérséklet, relatív páratartalom, CO₂-koncentráció). A rendszer nem csupán a statikus értékeket figyeli, hanem a változás dinamikáját (gradiensét). A riasztási algoritmus a hirtelen hőmérsékleti ugrásra (Heat Spike) van kalibrálva: amennyiben a szenzor extrém rövid idő alatt drasztikus emelkedést regisztrál (pl. percek alatt 30°C-ról 60°C-ra), az a tűz fizikai közelségét jelzi. Ez a megoldás ott is képes jelezni a tüzet (pl. mély völgyek, sűrű aljnövényzet), ahol a füstoszlopot a domborzat vagy a lombzat még takarja a távoli kamerák előtt. A modern tűzoltásvezetés paradigmája a reaktív (eseménykövető) magatartásról a proaktív (előrejelző) stratégiára vált. A megfigyelés önmagában nem elegendő; a hatékony beavatkozáshoz szükséges a tűz alakulásának jövőbeni ismerete. Ezt a célt szolgálják a mesterséges intelligenciával (AI) támogatott terjedési szimulációk. A parancsnoki döntéstámogató szoftverek (pl. a nemzetközileg alkalmazott FARSITE vagy Prometheus modellek) komplex bemeneti adatokkal dolgoznak. Dinamikus adatok között a kamerák és szenzorok által mért valós idejű tűzpozíció és széladatok, míg statikus adatokban a domborzatmodell és az éghetőanyag-térkép jelenik meg.

A szimuláció eredménye egy dinamikus térkép, amely időszavos bontásban ábrázolja a tűz várható mozgását (2. sz. ábra). Ez az információ a kárhelyparancsnok számára létfontosságú a kritikus döntések meghozatalához, így többek között mely településrészeket és mikor kell evakuálni, illetve hová kell átcsoportosítani a vízszállítókat és a műszaki egységeket, hogy a tűz útját egy stratégiai védvonalon (pl. egy úton vagy nyiladékon) még az érkezése előtt elvágják. [29]



2. ábra: Tűzterjedési szimuláció (MA-Net modell) (Forrás: ld. [32])

3. KÖVETKEZTETÉS

A cikkben bemutattam az integrált védelmi rendszert, amely a térinformatika (GIS) és a mesterséges intelligencia (AI) eszközeivel támogatja a döntéshozatalt, minimalizálva a beavatkozási időt és a környezeti károkat. Bemutattam a GIS-alapú modellel és az „Overlay” (rávetítéses) technológia segítségével szintetizált a statikus környezeti tényezőket (erdőállomány, domborzat) és a valós idejű meteorológiai változókat. A klímaváltozásnak leginkább kitett alföldi fenyevesekre és a városi-erdei érintkezési zónákra (WUI) fókuszáltam, ahol az emberi és természeti kockázatok halmozottan jelentkeznek. A megelőzés részben a biológiai és műszaki kockázatsökkentés új irányait elemeztem. Részletesen bemutattam a „zöld tűzgátak” (Green Firebreaks) koncepcióját, amely a gyűlékony fenyevesek lombos fafajokkal történő sávos tagolásával gátolja a koronatűzek kialakulását és terjedését. A műszaki megoldások között kitértem a modern monitoring rendszerekre, összehasonlítva a különböző optikai és infravörös elven működő detektálási technológiákat, amelyekkel a riasztási lánc drasztikusan lerövidíthető. A végkövetkeztetés egy operatív döntéstámogató mátrix, amely az FWI (Fire Weather Index) értékeihez rendelve határoz meg konkrét hatósági és műveleti lépéseket. A bemutatott modell alkalmazása lehetővé teszi az erőforrások előzetes, célzott diszlokációját, növelve a védekezés költséghatékonyágát és az állomány biztonságát.

4. IRODALOMJEGYZÉK

- [1.] Radeloff, V. C. et al. (2005). The Wildland-Urban Interface in the United States. *Ecological Applications*, 15 (3), pp. 799–805.
- [2.] Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press.
- [3.] Chuvieco, E. et al. (2010). Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and GIS. *Ecological Modelling*, 221 (1), pp 46-58.
- [4.] Rothermel, R. C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service Research Paper INT-115. 1972.
- [5.] Agee, J. K., & Skinner, C. N. (2005). Basic principles of forest fuel reduction treatments. *Forest Ecology and Management*, 211, pp. 83–96.
- [6.] Ganteaume, A. et al. (2013). A review of the main driving factors of forest fire ignition. *Journal of Environmental Management*, 117, pp. 360–378.

- [7.] 2009. évi XXXVII. törvény az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról. [Online]. Elérhetőség: <http://net.jogtar.hu> (2026.02.16.)
- [8.] 4/2008. (VIII. 1.) ÖM rendelet az erdők tűz elleni védelméről. [Online]. Elérhetőség: <http://net.jogtar.hu> (2026.02.16.)
- [9.] 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról. [Online]. Elérhetőség: <http://net.jogtar.hu> (2026.02.16.)
- [10.] National Weather Service (2024). Red Flag Warning and Fire Weather Watches. NOAA. [Online]. Elérhetőség: https://www.weather.gov/lot/firewx_definition (2026.02.11)
- [11.] Country Fire Authority (2024). Total Fire Bans and Fire Danger Ratings. Victoria State Government. (Country Fire Authority (CFA): Total Fire Bans and Fire Danger Ratings. Victoria State Government; cfa.vic.gov.au,
- [12.] Météo-France (2024). La Météo des forêts: un nouvel outil pour la prévention des incendies
- [13.] Fernandes, P. M. (2013). Fire-smart management of forest landscapes in the Mediterranean basin under global change. *Landscape and Urban Planning*, 110 (1), pp. 175–182.
- [14.] Dimitrakopoulos, A. P., & Papaioannou, K. K. (2001). Flammability Assessment of Mediterranean Forest Fuels. *Fire Technology*, 37 (2), pp. 143–152.
- [15.] Curran, T. J. et al. (2019). Green Firebreaks as a Management Tool for Wildfires. *Journal of Environmental Management*, 233, pp 329–336.
- [16.] De Frenne, P. et al. (2019). Global buffering of temperatures under forest canopies. *Nature Ecology & Evolution*, 3 (5), pp. 744–749.
- [17.] Hotspots Fire Project (2024). Understanding Fuel: Fuel Management Zones Fact Sheet. NSW Rural Fire Service. [Online]. Elérhetőség: <https://www.hotspotsfireproject.org.au/news/2024-12-20/understanding-fuel-fuel-management-zones-fact-sheet> (2026.02.07.)
- [18.] Agee, J. K. et al. (2000). The use of shaded fuelbreaks in landscape fire management. *Forest Ecology and Management*, 127, pp. 55–66.
- [19.] FAO Fire Management: Voluntary Guidelines. Fire Management Working Paper 17. Rome 2006.
- [20.] Rossi, J. L. et al. Fuelbreaks: a part of wildfire prevention. Contributing Paper to Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). 2019.)
- [21.] Insight Robotics (2026). Saving the world, bit by bit. [Online]. Elérhetőség: <https://www.insightrobotics.com/en/> (2026.02.24.)
- [22.] IQ FireWatch (2026). Korai erdőtüzek észlelése [Online]. Elérhetőség: <http://iq.firewatch.com> (2026.02.17)
- [23.] Alkhatib, A. A. A. (2014). A review on forest fire detection techniques. *International Journal of Distributed Sensor Networks* 10 (3), 597368 [Online]. Elérhetőség: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1155/2014/597368> (2026.02.22.)
- [24.] Arrue, B. C. et al. (2000). An intelligent system for false alarm reduction in infrared forest-fire detection. *IEEE Intelligent Systems and their Applications*, 15 (3), pp. 64–73. 2000.)
- [25.] IQ FireWatch (2026). Korai erdőtüzek észlelése [Online]. Elérhetőség: <http://iq.firewatch.com> (2026.02.17)
- [26.] Paratronic ADELIE – Alarme Détection Localisation des Incendies [Online]. Elérhetőség: <https://www.paratronic.com/secteur-activite/detection-des-incendies/> (2026.02.01)

- [27.]National Weather Service (2024). Red Flag Warning and Fire Weather Watches. NOAA. [Online]. Elérhetőség: https://www.weather.gov/lot/firewx_definition (2026.02.11)
- [28.]Insight Robotics (2026). Saving the world, bit by bit. [Online]. Elérhetőség: <https://www.insightrobotics.com/en/> (2026.02.24.)
- [29.]Bosch Magyarország IoT Blog (2023). Mire vagy kíváncsi? [Online]. Elérhetőség: <https://iot.boschblog.hu/> (2026.02.12.)

Lítium akkumulátor töltőállomások tűzvédelmi monitorozása – kémiai folyamatok korai detektálása infravörös hőkamerás technológiával

Fire protection monitoring of lithium battery charging stations – early detection of chemical processes with infrared thermal imaging technology

Ivancsik Renátó

Email: ivancsik.r@gmail.com

ORCID: 0009-0009-8971-5013 

szerző

Absztrakt:

Az elektrifikáció és a modern automatizációs folyamatok térnyerése a raktározási iparágban teljesen új típusú, fokozott tűzvédelmi kockázatokat indukál. A lítium-ion alapú akkumulátorok töltése során fellépő belső elektrokémiai minőségromlások és meghibásodások – mint például a nem megfelelő üzemi körülmények miatti dendritképződés és az abból fakadó belső mikrorövidzárlatok – olyan kontrollálhatatlan, öngyorsító exoterm láncreakcióhoz, úgynevezett termikus megfútáshoz (thermal runaway) vezethetnek, amely robbanásszerű tüzesetet eredményez. A hagyományos füst- és hőérzékelő rendszerek reakcióideje reaktív jellegük miatt strukturálisan elégtelen ezen folyamatok időbeni detektálásához, mivel jelzésük a már kifejlett, előrehaladott fázisra korlátozódik. Jelen tanulmány egy olyan integrált, prediktív – tűzvédelmi metodikát mutat be, amely a hosszúhullámú infravörös (LWIR) hőkamerás képalkotó diagnosztikára és intelligens videóanalitikai (VCA) algoritmusokra épül. A technológia képes a rendellenes hőmérséklet-emelkedést már a korai, látens szakaszban (70–110 °C között), a gázképződés (venting), és a pirolízis megjelenése előtt, milliszekundumok alatt pontosan azonosítani. A kutatás részletesen elemzi a bispektrális képfúzió, a dinamikus ROI-zónázás és a mesterséges intelligencia alapú trendanalízis gyakorlati előnyeit. A dolgozatban bemutatott szabadtéri esettanulmány és ellenőrzött égési teszt igazolja a hőkamerás rendszer hatékonyságát, amely a kritikus termális anomáliák korai kiszűrésével szignifikáns időelőnyt biztosít a reaktív rendszerekkel szemben. Az eredmények alapján strukturált automatizált beavatkozási mátrix humán mulasztás nélkül, közvetlen technológiai leállítással és kényszerszellőztetéssel akadályozza meg a tűzterjedést. Kifejlett tűz esetén az infravörös tartomány sajátosságai a sűrű füstön és lángokon keresztül látás révén hatékony oltásirányítási támogatást nyújtanak a tűzoltó erők számára a tűzfészek pontos lokalizálásával, növelve a beavatkozási állomány biztonságát. A tanulmány kitér a beruházás gazdasági validációjára, valamint a jövőbeli fejlesztési lehetőségekre, mint a hőkamerás monitoring és a belső akkumulátor-felügyeleti rendszerek (BMS) biztonsági adatintegrációja.

Kulcsszavak: lítium-ion akkumulátor, termikus megfútás, hőkamerás diagnosztika, prediktív tűzvédelem, oltástámogatás

Abstract:

The expansion of electrification and modern automation processes introduces entirely new types of elevated fire safety risks within the warehousing industry. Internal electrochemical degradation and failures occurring during the charging phase of lithium-ion batteries—such as dendrite propagation caused by improper operating conditions and subsequent internal micro-short circuits—can trigger an uncontrollable, self-accelerating exothermic chain reaction known as thermal runaway, resulting in explosive fires. Due to their inherently reactive nature, the response times of conventional smoke and heat detection systems are structurally insufficient for the timely detection of these processes, as their signaling is limited to the fully developed, advanced phases. This paper presents an integrated, predictive fire protection methodology based on Long-Wave Infrared (LWIR) thermal imaging diagnostics and intelligent Video Content Analysis (VCA) algorithms. This technology is capable of identifying abnormal temperature rises within milliseconds during the early latent phase (between 70–110 °C), well before the onset of gas generation (venting) or pyrolysis appear. The research thoroughly analyzes the practical benefits of bispectral image fusion, dynamic Region of Interest (ROI) zoning, and AI-based trend analysis. The outdoor case study and controlled burn test presented in the paper validate the efficacy of the thermal imaging system, which provides a significant time advantage over reactive systems by filtering out critical thermal anomalies at an early stage. Based on these findings, a structured automated intervention matrix eliminates human error, mitigating fire propagation through direct technological shutdown and emergency forced ventilation. In the event of a fully developed fire, the specific physical properties of the infrared spectrum provide effective tactical command support for firefighting forces by enabling vision through dense smoke and flames to precisely localize the fire core, thereby enhancing responder safety. Finally, the study addresses the economic validation of the investment and proposes future development vectors, such as the safety data fusion of thermal monitoring with internal Battery Management Systems (BMS).

Keywords: lithium-ion battery, thermal runaway, thermal imaging diagnostics, predictive fire protection, firefighting support

1. BEVEZETÉS

A modern logisztika középpontjában a hatékonyság folyamatos növelése, ezzel együtt az automatizáció áll. Az elektrifikáció térnyerésével azonban új típusú tűzvédelmi kockázatok jelentek meg, hiszen míg az áruk útját informatikai rendszerekkel másodpercre pontosan követjük, a fizikai biztonsági rendszerek gyakran percekkal maradnak le például egy akkumulátor kritikus kémiai bomlási folyamata mögött. Tapasztalataim azt mutatják, hogy az üzemeltetők a tűzvédelmet sokszor csak jogszabályi kényszernek tekintik, amely valódi értéket nem teremt. Jelen pályázati munka megírását és témaválasztását egy konkrét ipari katasztrófa inspirálta, hiszen hiába jelzett a tűzjelző, egyik partnerünk teljes raktárbázisa semmisült meg egy töltés alatt álló targonca akkumulátortüze miatt.

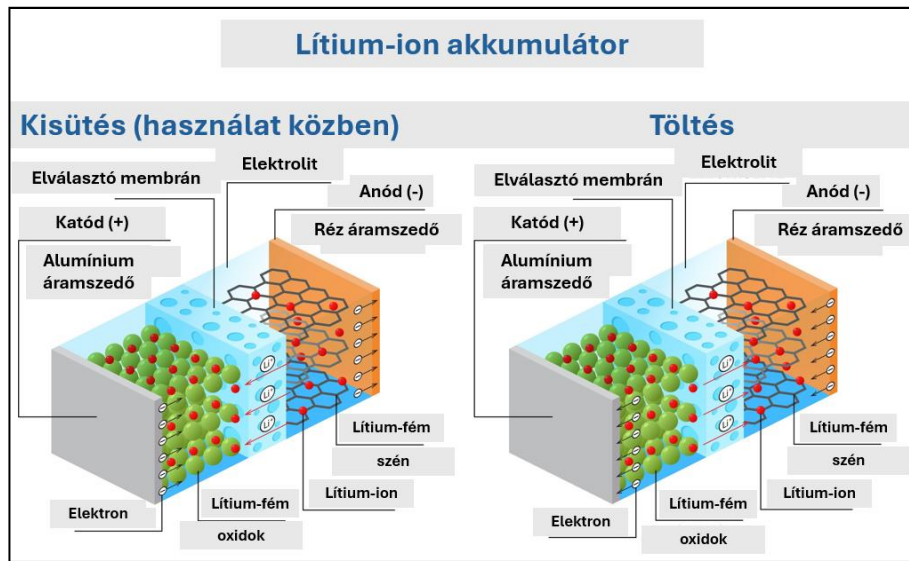
Az eset kapcsán kezdtem el gondolkodni a jelenlegi biztonsági protokollok kritikus hiányosságán, amely alapján arra következtettem, hogy a hagyományos tűzjelző rendszerek reakcióideje elégtelen a molekuláris szinten induló, gyors lefolyású elektrokémiai folyamatok időbeni észleléséhez. Az akkumulátorok töltése ugyanis egy összetett kémia folyamat, mely folyamatban, ha sérülés vagy hiba következik be, akkor az egy kontrollálhatatlan folyamatot eredményez. A legnagyobb technológiai kihívást a detektálási időrés jelenti, hiszen, mint a raktárbázis tüzeseténél láthatjuk, a jelenlegi rendszerek sokszor már csak a kifejlett tüzet jelzik, amikor a folyamat megállítása szinte lehetetlen. A pályázati munkám keretén belül a hőkamerák képalkotó diagnosztikáját vizsgálom, mint olyan prediktív eszköz, amely képes az exoterm folyamatokat még a pirolízis és lánggal égés megjelenése előtt azonosítani. A munka célja egy integrált biztonsági szemlélet bemutatása, mely segítségével képesek lehetünk megelőzni a katasztrófát, míg egy esetleges tűzoltói beavatkozás során segítséget tudunk nyújtani a rendszerrel a tűzfészek pontos helyszínéről, így növelve az oltás hatékonyságát és a beavatkozási állomány biztonságát.

2. A LÍTIUM ALAPÚ AKKUMULÁTOROK ISMERTETÉSE

Maga a lítium, mint anyag egy fémes formában instabil, öngyulladásra már normál légköri viszonyok mellett a levegő oxigén és páratartalmától hajlamos, ezért az akkumulátorokban vegyületként alkalmazzák. A lítium-ion akkumulátor (LIB¹) ezért nem tekinthető statikus energiatárolóként, sokkal inkább egy elektrokémiai rendszer. Tűzvédelmi és tűzveszélyességi szempontból azért különleges, mert a cella belsejében nagy energiasűrűségű oxidálószer (elektrolit) és üzemanyag (anód, katód) található meg egymástól elválasztva egy közös térben [1]. A lítium-ion akkumulátorok működési elve a lítium-ionok két elektróda közötti oda-vissza vándorlásán alapul.

A töltési folyamat során a lítium-ionok pozitív fém-oxid katódból a szerves elektroliton keresztül a negatív, grafit alapú anód rétegei közé vándorolnak és épülnek be. Kisütéskor ez a folyamat teljes egészében megfordul, az anódban tárolt ionok a katód felé áramlanak, elektromos munkát végezve. Amíg a folyamat sikeresen a tervezett hőmérsékleti határokon belül marad, addig a kémia reakciók reverzibilisek. Biztonságtechnikai szempontból a kockázat az, ha rendszer bármi féle belső hiba, vagy külső behatás hatására átlép egy visszafordíthatatlan kémiai bomlás fázisába [2], [3].

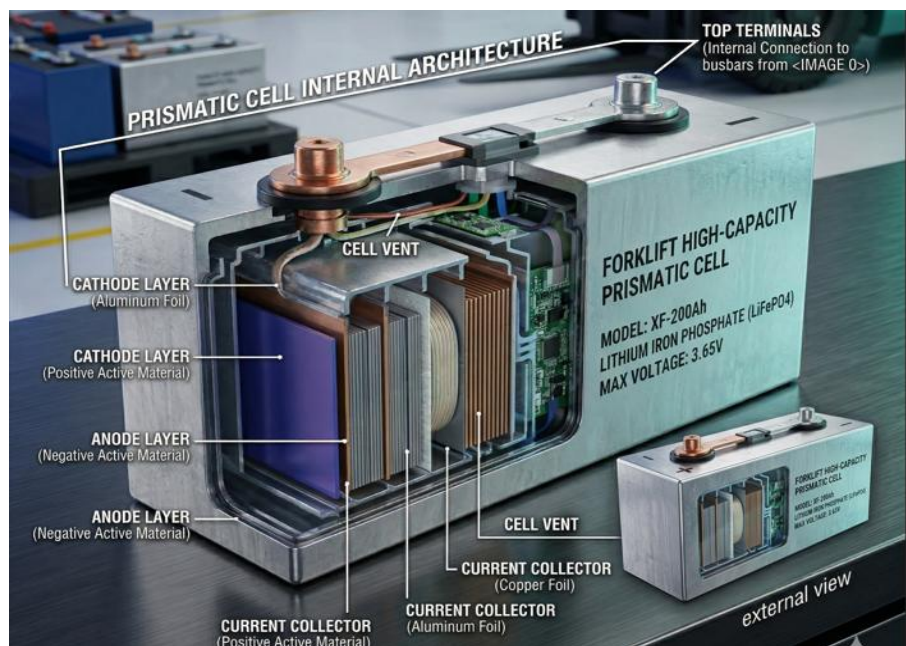
¹ Lítium-ion akkumulátor (Lithium-Ion Battery) angol rövidítése.



1. ábra A lítium-ion cella elektrokémiai működési elve töltés és kisülési fázisban (Forrás: [1] és [4] alapján készítette a szerző)

2.1 A cella geometriai kialakítása

A lítium-ion akkumulátorok fizikai szerkezete nem csupán egy egyszerű gyártástechnológiai kérdés, hiszen ez az architektúra az, ami alapvetően meghatározza a hő terjedésének útvonalát és detektálhatóságát a belső elektrokémiai folyamatok során. Mind logisztikai, mind pedig biztonságtechnikai szempontból a targonca-akkumulátoroknál a legelterjedtebb típus a prizmatikus cella kialakítás, melyek merev – többnyire alumíniumból vagy acélból készült házzal érkeznék [5].



2. ábra Prizmatikus akkumulátor-cella metszeti rajza (Forrás: [5] és [4] alapján készítette a szerző)

A képen látható robusztus kialakítás az, ami biztosítja a kiváló szilárdtest-vezetési tényezőjét, ami mérnöki szempontból annyit tesz, hogy a belső, molekuláris szintű anomáliák – mint például az elválasztó réteg sérülése vagy a dendritképződés okozta lokális Joule hő viszonylag rövid időn belül megjelenik a cella külső felületén. A hot-spotok, azaz forró pontok detektálása így könnyebb lokalizálást tesz lehetővé a hőkamerás képalkotás számára, ugyanis a fémes burkolat szinte azonnal kiközvetíti a belső kémiai instabilitás termikus jelenségét.

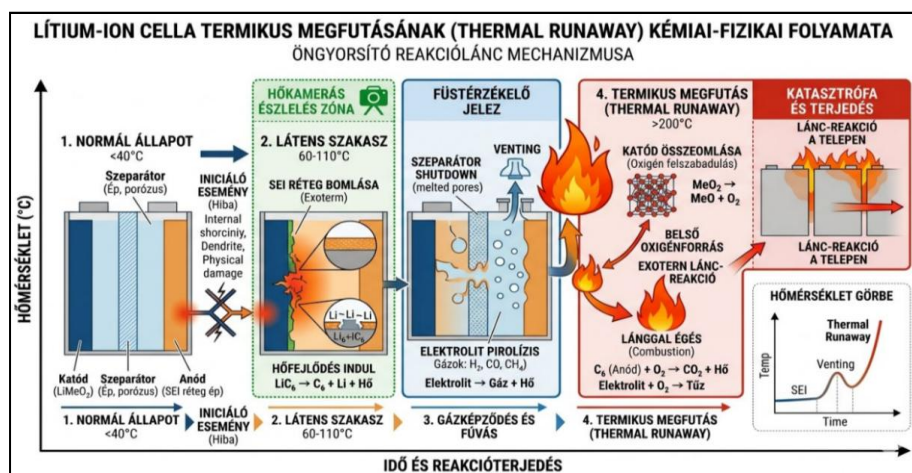
3. THERMAL RUNAWAY – TERMÍKUS MEGFUTÁS KÉMIAI ÉS FIZIKAI FOLYAMATA

A lítium-ion akkumulátorok üzemeltetéséhez kapcsolódó legnagyobb biztonsági kockázatot az úgynevezett thermal runaway, azaz termikus megfutas jelenti. Ez egy öngyorsító folyamat, egy exoterm kémiai láncreakció, mely során a cella belső hőmérséklete rendkívül rövid idő alatt, teljes mértékben kontrollálhatatlanul ugrik meg, majd ennek következeképp a tárolt kémiai energia robbanásszerűen alakul át lánggal égő tüzzé. A termikus megfutas nem egyetlen esemény, hanem egymásra épülő, teljes mértékben visszafordíthatatlan kémiai reakciók sorozataképp írható le. A folyamat öngerjesztő jellege az Arrhenius-törvényen alapszik, mely kimondja, hogy a hőmérséklet emelkedésével a kémiai reakciók sebessége exponenciálisan nő. Egy gyakori szabály szerint ez annyit tesz, hogy 10 °C-os hőmérséklet emelkedés körülbelül megkétszerezi az adott reakció sebességét [2]. A folyamat teljes mértékben kritikus a thermal runaway során, hiszen a targonca akkumulátorában zajló folyamat egy olyan pozitív visszacsatolási hurok, melyet az Arrhenius-törvény tart kézben:

1. Például egy belső zárlat miatt elindul egy kis melegedés, amely felgyorsítja az elektrolit bomlását
2. Mivel ez a bomlás exoterm folyamat, a reakció tovább emeli a cella belső hőmérsékletét -> Hőfelszabadulás
3. A magasabb hőmérsékleten az Arrhenius-törvény értelmében a bomlás még gyorsabb folyamatként megy végbe, ami ezáltal még több hőt termel. -> Exponenciális gyorsulás

A hőkamera szerepe ekkor igazán fontossá, hiszen a képalkotási diagnosztika lényege az lesz, hogy ezt a folyamatot még az exponenciális felfutas elején észlelje, hiszen amint a hőmérséklet eléri azt a pontot, ahol a reakciósebesség már drasztikusan megugrik, a folyamat teljes mértékben megállíthatatlan megfutasá válik [2].

3.1. A termikus megfutas kronológiája – Kémiai eseménynaptár



3. ábra Termikus megfutas kémiai és fizikai folyamata (Forrás: [2] és [6] alapján készítette a szerző)

A 3. számú ábrán a termikus megfűtés időbeli lefolyásának kémiai és fizikai szakaszai látható. A folyamat egy indító – inicializáló eseménnyel indul el. Ilyen például egy dendrit okozta belső rövidzárlat. A diagnosztika szempontjából ez egy kifejezetten fontos szakasz – melyet az ábrán zöld keretezett színnel láthatunk. Ezt nevezzük látens szakasznak, ahol a SEI védőréteg exoterm bomlása már megkezdődik. Ekkor tapasztalható és látható külső jele nem jelentkezik a hibának, kizárólag a hőkamera általi monitoring lesz képes arra, hogy a rendellenes hőmérséklet-emelkedést detektálja, majd a hozzá kapcsolódó kapcsolási műveletet végrehajtsa. A kifűtés és a szeparátor shutdown ezután következő folyamat, mely folyamatokra a tűzjelző berendezéshez kapcsolt füstérzékelő már reagál. A visszafordíthatatlan pont az ábrán piros színnel van jelölve, ekkor történik meg a katód összeomlás, mely a szabad oxigént biztosítja az égés folyamatához [7].

3.2 A termikus megfűtés szakaszainak összehasonlító táblázata

Fázis megnevezése	Kritikus hőmérséklet tartomány	Kémiai folyamat leírása	Észlelhetőség/ Diagnosztika
1. Normál üzem	< 60 °C	Stabil, visszafordítható ionvándorlás az anód és katód között	Hőkamera: folyamatos üzemi hőmérsékletet detektál.
2. Látens szakasz	70 – 110 °C	A SI réteg bomlása, exoterm reakciók kezdődnek az anódon	Hőkamera: rendellenes hőmérsékletet észlel
3. Gázképződési szakasz	110 – 140 °C	Az elektrolit pirolízise. A Szeparátor porusai összeomlanak. Belső nyomásnövekedés.	Hőkamera: kritikus forró pont, fizikai deformáció kezdete
4. Gázkifűtés	140 – 190 °C	A biztonsági szelep nyit. H ₂ , CO, HF távoznak	Füstérzékelő: jelzést ad – fehér aeroszol. Hőkamera: érzekei a füstöt is.
5. Termikus megfűtés	> 200 °C	Katód összeomlás, szabad oxigén felszabadulás, Exponenciális hőmérséklet emelkedés	Hőérzékelő/ Sprinkler: Riasztás. Visszafordíthatatlan égési folyamat.
6. Láncreakció	> 400 °C	Lángolás, a hőterjedés áttérjed a szomszédos cellákra	Vizuális észlelés: Nyílt láng, sűrű füst. Katasztrofális tűz.

1. táblázat: A termikus megfűtés szakaszainak összehasonlító táblázata (Forrás: [3] és [7] alapján készítette a szerző)

4. ORSZÁGOS TŰZVÉDELMI SZABÁLYZAT ÉS TŰZVÉDELMI MŰSZAKI IRÁNYELVEK

Magyarországon az alapvető tűzvédelmi követelményeket a 54/2014 (XII. 5.) BM rendelet (OTSZ) határozza meg [8]. Erre az Országos Tűzvédelmi Szabályzat keretrendszer jellegű szabályozást ad, amelynek a gyakorlati megvalósítását a Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek (TvMI) segítik [9], [10].

Az iparcsarnokok vonatkozásában figyelembe véve a szabályozási elveket azt mondható el, hogy annak mérete, a tárolt áruk értéke és az ott zajló technológiai folyamatok alapján a töltőállomásokat fokozottan tűzveszélyes területként kell azonosítani, majd kezelni.

Kockázati egység: A targoncatöltő állomásokat a raktár egyéb részeitől tűzgátló szerkezettel kellene leválasztani, de a minimum biztonsági szint eléréshez is már egy megfelelő védőtávolságot kell tartani és kialakítani a raktáron belül, hogy egy esetleges termikus megfutás ne terjedhessen át a raktárban található készletekre.

Tűzterhelés számítása: Az adott épület tűzállósági fokozatának meghatározását nagyban befolyásolják a targoncatöltő állomások, hiszen az akkumulátorok jelentős tűzterhelést jelentenek, ami abból adódik, hogy nem csak elektromos energiát, hanem éghető elektrolitot is tartalmaznak. Az elektrolit jelen helyzetben azért kritikus, mert megváltoztatja a tűz mind fizikai, mind pedig kémiai viselkedését. A számítás során az elektrolit tömegét és specifikus égéshőjét kötelező figyelembe venni, mert ez adja a potenciális tűz intenzitásának jelentős részét. Az elektrolit jelenléte miatt pedig érdemes elgondolkodni azon, hogy az akkumulátoros helyiségeket ne szimplán elektromos területként, hanem sokkal inkább vegyi raktárként kezeljük, mint kockázati egységet [8].

4.1 TvMI 12.1 – Robbanás elleni védelem (ATEX szempontok)

Gázkifúvás és zónabesorolás: Amint azt feljebb, a kémiai eseménynaptárban is bemutattam, a termikus megfutás a gázkifúvás fázisában igen nagy mennyiségű hidrogént és más egyéb gyúlékony anyagot szabadít fel. A hidrogén jellemzője továbbá, hogy az alsó robbanási határértéke igen alacsony – csupán 4%, így a töltőhelyiségeknél érdemes vizsgálni, hogy van-e szükség a robbanásveszélyes zónák kijelölésére. Az MSZ EN-60079-10-1 szabvány szerint a robbanásveszélyes zónák kiterjedését nagyban meghatározza a szellőzési rendelkezésre állás, valamint annak hatékonysága [8], [10].

Szellőztetés: A szabályozás továbbá előírja, hogy a megfelelő mértékű akár természetes, akár mesterséges szellőztetést biztosítani kell, annak érdekében, hogy a gázkoncentráció az elvárt határérték alatt maradjon. Itt kapcsolódhat be a hőkamerás rendszer, mely a detektált hőmérséklet emelkedése alapján képes automatikusan indítani a szellőztető rendszer megfelelő fokozatát még azelőtt, hogy a gázkifúvás ténylegesen elkezdődne [8], [10].

Szellőzési fokozat	Mit jelent ez?	ATEX Zóna	Hőkamera szerepe
Alacsony	A levegő alig mozog, a gázok megrekednek a mennyezet alatt vagy a sarokban	Zóna 1 vagy 0: állandó vagy igen gyakori robbanásveszély	Kritikus: megmutatja az olyan hőcsapdákat, ahol a gáz is felgyűlne, így javítható a légáramlat.
Közepes	Normál üzemi szellőzés, ami képes a kisebb gázfeljődést elvezetni.	Zóna 2: Csak üzemzavar esetén veszélyes – akkor is rövid ideig.	Gyorsítás: A hőkamera jele alapján a rendszer intézkedni tud, mielőtt a gáz elérni a kritikus szintet.
Magas	Olyan erős légcserélés, ami azonnal felhígítja a gáz az alsó robbanási határ alá.	Nem veszélyes: Papíron megszűnik a robbanásveszély	Igazolás: Bizonyítani tudja, hogy a $t = 0$ rendszer reakcióidővel elkerülhetőek a drágább robbanásbiztos védelmek

2. táblázat: Szellőzési fokozatok és a hőkamera szerepe (Forrás: [8] és [10] alapján készítette a szerző)

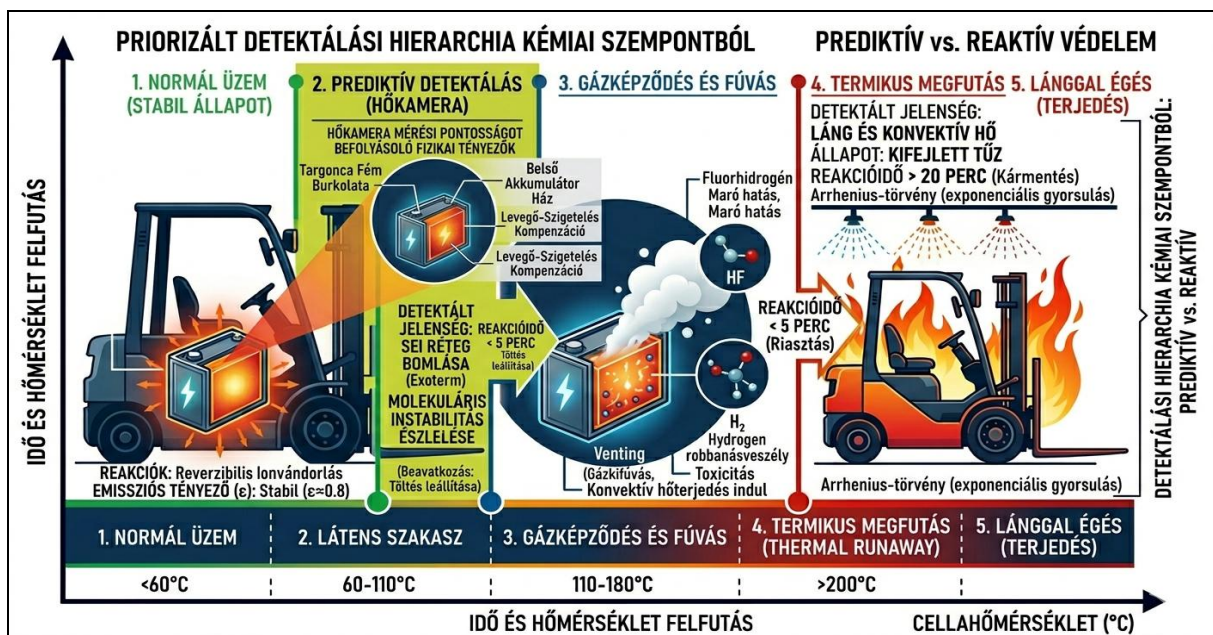
4.2 Tűzjelző berendezések tervezése és telepítése

Az OTSZ előírja a tűzjelző berendezések létesítésének kötelezettségét, a korábban említett technológiai fejlődéssel a szabályzás nem mindig tud lépést tartani. A probléma jelen helyzetben abból adódik, hogy a hagyományos füstérzékelők csak a pirolízis vagy a venting fázisában képesek megfelelő jelzést leadni [11]. Említsük meg, hogy a TvMI-k egyébként lehetőségek adnak a tervezettől eltérő megoldások alkalmazására, amennyiben igazolni tudjuk, hogy a kiválasztott technológia - egy hőkamerás biztonsági rendszer kiépítése magasabb szintű biztonságot nyújt. A TvMI 7.2 része meghatározza az érzékelők típusait, azonban, az akkumulátortűzeknél létezik egy igen kritikus időablak, amelyeket ezek a szabványos eszközök nem képesek lefedni [10].

Hőkamera (IR): A fénysebességgel terjedő elektromágneses sugárzást méri. Amint a targonca akkumulátorháza melegezni kezd, a kamera azonnal, milliszekundum alatt észleli ezt változást, melyet függetlenül tesz attól, hogy a mennyezet, vagy az adott pont milyen távolságra található, vagy épp merről fúj a szél a csarnokon belül. Elmondható tehát, hogy ez az egyetlen olyan eszköz, amely a pre-fire állapotot látja és képes jelezni. A TvMI 7.2 fejezete ugyanakkor nem csak az érzékelésről és detektálásról, hanem a különböző vezérlésekről szól. Ez azért fontos, mert a hőkamera jele alapján a tűzjelző központ irányába olyan preventív utasításokat tudunk elküldeni, melyeket egy normál füstérzékelő esetében már késő lenne megtenni. Ilyen egy technológia leállítás, ami a töltőáram azonnali megszakítását jelenti, vagy a szakaszolás, ami a tűzgátló ajtók bezárását jelenti még mielőtt a füst megjelenne. Illetve, a vészszellőztetés funkcióját is tudjuk indítani, ami pedig a robbanásveszélyes gázok hígítását biztosítja [10].

5. DETEKTÁLÁSI HIERARCHIA KÉMIAI ASPEKTUSAI

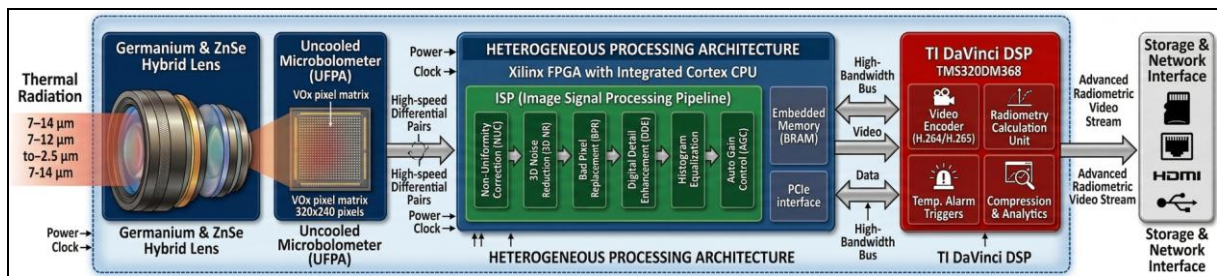
A hőkamerás képalkotó diagnosztika jelentősége véleményem szerint abban rejlik, hogy képes áthidalni azt a kritikus „időrést”, amely a belső molekuláris instabilitás kezdete és a látható tűz megjelenése között feszül. Míg a standard eszközök valamilyen reaktív módon a környezeti változásokra (füstkoncentráció, konvektív hő) várnak, a hőkamera prediktív módon, a burkolaton keresztül érzékelt szilárdtest-vezetési hő alapján azonosítja a veszélyt.



4. ábra Priorizált detektálási hierarchia kémiai szempontból (Forrás: [12] és [13] alapján készítette a szerző)

5.1 A hőkamerás képalkotás technikai folyamata

A hőkamerák működése a tárgyak és a környezet közötti sugárzáskülönbség detektálásán alapszik, mely elsősorban a 8–14 μm -es távoli infravörös tartományban értelmezett. Az eszköz hőérzékelője (UFPA – Uncooled Focal Plane Array²) felfogja a beérkező hőszugárzást, majd egy speciális algoritmus segítségével a felületi hőmérsékletet szürkeárnyalatos digitális képpé konvertálja. A folyamat során az infravörös fény az optikán keresztül az érzékelőhöz jut el, ahol a digitális jelet úgy kapjuk meg, hogy az analóg jelet erősítés után digitalizáljuk. A végleges, nagyfelbontású videófolyamot egy FPGA (Field-Programmable Gate Array)³ alapú jelfeldolgozó egység hozza létre: ez végzi el a kép zajszűrését, a kontrasztoptimalizálást és a részletkiemelést, biztosítva a stabil és torzításmentes kimenetet a DSP alkalmazási réteg számára [14].



5. ábra A modern hőkamerák jelátviteli és képfeldolgozási architektúrája (Forrás: [14] és [15] alapján készítette a szerző)

A hőkamerás képalkotási mód egyik legnagyobb előnye, hogy teljesen érintésmentes módon képes a környezeti tényezőktől függetlenül (füst, köd vagy épp teljes sötétség) precíz adatokat biztosítani. A rendszer kimagasló képessége közé tartozik a valós idejű hőmérsékleti térképalkotás, mely során a hőkamerák élő képet képesek biztosítani a vizsgált területről, a kép minden egyes képpontjának hőmérsékleti adatainak önálló elemzésével. A különböző, de annál kritikusabb tűzvédelmi célpontok felügyeletét rugalmas mérési módok biztosítják, így a rendszert a megrendelő igényeinek megfelelően lehet beprogramozni. Ezt egészíti ki a kamerában található intelligens riasztási funkció, mely folyamatosan képes monitorozni a látómezőjében lévő tárgyak hőmérsékletét, és az előre beállított küszöbérték túllépése vagy rendellenes hőmérsékleti adatot detektálva (például hirtelen emelkedés) azonnali jelzést küld, vagy elindít egy automatizációs folyamatot. Ez az összetett megoldási lehetősége teszi lehetővé, hogy a tűzveszélyes gócpontokat gyors és hatékonyan azonosítsuk, így elérve azt, hogy a potenciális tüzeseteket még a lángra lobbanás előtti fázisban elhárítsuk [14].

5.2 Algoritmusok és Mesterséges Intelligencia

A hőkamerás megfigyelés és diagnosztikai rendszerek hatékonyságát a targonca-töltőállomások monitorozása során nem csupán az adott kamerában található szenzorok érzékenysége, hanem a mért adatok szoftveres interpretációja is biztosítja. A logisztikai csarnokok ugyanis dinamikus környezetként tekinthetők, ahol egy alap hőkép önmagában kevés egy pontos beavatkozáshoz, hiszen a fémes felületek reflexiója, a targoncák üzemi hőmérséklete vagy aktuális melegedése, illetve a környezeti hatások elrejthetik a valódi kémiai anomáliákat.

² A hőkamera képérzékelő szenzora, amely láthatatlan infravörös sugárzást elektromos jelekké, majd látható képpé alakítja át.

³ Egy speciális integrált áramkör – azaz chip, amelyet a gyártás után a helyszíni adottságoknak megfelelően hardveres szinten lehet programozni.

A bispektrális technológia, valamint a mélytanuló algoritmusok erre a problémára kínálnak megoldást [16]. A bispektrális képfúzió egy olyan látásmód ugyanis, ahol a mérőeszközünk egyetlen kameraházban egyesít egy nagyfelbontású vizuális optikai szenzort és egy radiometrikus hőkamera detektort. A képi diagnosztizálás szempontjából ez a kettős lehetőség egy olyan technológiai megoldás, mely során a hőkamera nem csak egy piros – sárgás vagy épp fekete – szürke foltot mutat, hanem a hőterképet pontosan ráilleszti a normál látható tartományú videóra [14].

- **Vizuális azonosítás és kontextus:** Míg a hőkamera azonosítja a forró pontot a targonca akkumulátorházán, a vizuális csatorna biztosítja az objektum pontos azonosítását (pl. targonca rendszáma, töltőpont száma)
- **Körvonal-kiemelés:** A szoftver a vizuális kép éleit és részleteit átvetíti a hőterképre, így a képet elemző személy pontosan látja, hogy a melegedés a csatlakozónál (elektromos hiba) vagy az akkumulátorház egy konkrét pontján (dendrit okozta belső zárlat) jelentkezik.
- **Tűz és füst vizualizáció:** A bispektrális mód lehetővé teszi, hogy a rendszer egyszerre lásson át az LWIR tartományban a füstön, miközben a vizuális csatornán rögzíti a kármentéshez szükséges optikai bizonyítékokat [16].

5.2.1 VCA és a dinamikus zónázás

Hőkamerás rendszer alkalmazásakor nagy hangsúlyt kell fektetni a megbízhatóságra, mely a téves riasztások minimalizálását jelenti. Ekkor kerülnek képbe a VCA algoritmusok⁴, melyek lehetővé teszik a hőkamerák számára, hogy azok ne csak lássanak és mérjenek, hanem értelmezni is tudják a kapott információkat.

- **ROI – Region of Interest, azaz az intelligens zónázás,** mellyel elérhetjük, hogy a töltőállomások területén belül digitális maszkok (ezeken a részeken nincs szükség detektálására) és mérési zónák jelölhetőek ki. A szoftver csak a targonca kritikus akkumulátor-szekcióját figyeli, kizárva a látómezőből a fix hőforrásokat.
- **A dinamikus objektumkövetés** segítségével az AI alapú algoritmusok felismerik a targoncák alakját, így, ha az beáll a kijelölt töltési pontra a rendszer automatikus képes ráhelyezni a mérési keretet az akkumulátorra, vagy a töltőcsatlakozóra (vakar akár a teljes töltést biztosító szakaszra), függetlenül attól, hogy hol állt meg a kijelölt területen belül.
- **A téves riasztások minimalizálásához** hozzátartozik a zavaró források megszürése. A VCA képes megkülönböztetni hirtelen fellépő, de ártalmatlan hőjelenségeket (ilyen lehet egy elhaladó, még nem elektromos targonca kipufogógáza vagy motorja) a cellák belsejéből kiinduló, lassú, de folyamatos hőmérséklet-emelkedéstől.

5.2.2 AI alapú trendanalízis és prediktív riasztás

A Mesterséges Intelligencia alkalmazása az a plusz funkció, mely a hőkamerát a hagyományos mérőeszközök szintjéről a prediktív diagnosztikai eszközök szintjére képes emelni.

⁴ Ezek az algoritmusok teszik lehetővé, hogy a kamera értelmezni tudja a látott eseményeket. VCA algoritmus segítségével automatikusan felismerhető egy releváns mozgás vagy állapotváltozás, mely alapján automatikus riasztás generálható, így csökkentve a biztonsági személyzet folyamatos monitorfigyelését.

Ennek eredményeképp a rendszer nem csak előre beállított fix hőmérsékleti küszöbérték elérését képes detektálni, hanem a melegedés sebességét is. A Delta T monitorozása folyamán amennyiben a hőmérsékleti görbe meredeksége exponenciális szakaszba lép, a riasztás már generálható és kiadható, amikor az akkumulátor valós hőértéke alacsonyabb, de a melegedés üteme már kémiai anomáliát jelez. Ezen kívül a korábban megemlített FPGA alapú jelfeldolgozás képes elvégezni a 3D zajcsökkentést és a kontrasztoptimalizálást is, így a 40mK érzékenységgű detektor jeleiből a mesterséges intelligencia képes kiszűrni a valós forró pontokat még egy esetlegesen alacsony hőmérséklet-különbség esetében is [14].

5.2.3 Beavatkozási mátrix és automatizált válaszreakciók

Az intelligens funkciók legfontosabb állomása a vezérlés, ahol a hőkamera algoritmusai közvetlen, valós időben képesek kapcsolatban állni a tűzjelző központtal és a teljes raktári informatikai hálózattal egyaránt. Ez a szoros integráció teszi lehetővé a szelektív leállítási funkcióját, amely egy adott hiba detektálása esetén nem a teljes raktárbázis működését állítja le és ezzel bénítja meg a komplett munkavégzést, hanem csupán az érintett targonca töltőállomásához kapcsolódó töltőáram körét szakítja meg. Amennyiben a hőkamera a gázfelhők spektrális abszorpciója alapján venting-közeli állapotot észlel, a vezérlés automatikusan képes aktiválni az ATEX-szabvány szerinti kényszerszellőztetést. Ez a művelet kritikus fontosságú a robbanásveszélyes hidrogénkoncentráció és egyéb gyúlékony gázok hígítása érdekében. Az összetett technológiai szintű vizsgálat és rendszerezés biztosítja, hogy prediktív védelmi rendszer alakulhasson ki, amely képes a molekuláris szintű hibákat, például a szeparátort átszűrő dendriteket makroszkopikus képi információvá és mérhető hőmérsékleti rendellenességgé alakítani. A rendszer így még a katasztrófa, vagyis a lánggal égés és a termikus megfutás bekövetkezése előtt képes olyan releváns válaszlépéseket adni, mellyel minimalizálni lehet az ipari létesítményt fenyegető károkat.

SZEMPONT	HŐKAMERA (IR)	FÜSTÉRZÉKELŐ (Optikai)	SPRINKLER / HŐÉRZÉKELŐ
DETEKTÁLÁSI ELV	Elektromágneses sugárzást mér (IR)	Aeroszol koncentrációt mér (Füst)	Konvektív hőátadást mér (Láng/Hő)
KÉMIAI FÁZIS	Látens szakasz (PRE-FIRE, SEI bomlás)	Venting (Gázkifúvás)	Égés és propagáció (Fully Developed Fire)
REAKCIÓIDŐ (Azonnali/Lassú)	Fénysebességű mérés (Azonnali)	Késleltetett (légáramlástól függ)	Nagyon lassú (fizikai hőhatástól függ)
MEGELŐZÉSI ESÉLY (Töltés leállítása)	KIVÁLÓ (>90%)	ALACSONY (<20%)	MINIMÁLIS (0%) - CSAK OLTÁS
GÁZOKON ÁTLÁTÁS (LWIR)	IGEN (bizonyos spektrumban)	NEM (füst elvakítja)	NEM RELEVÁNS
LÁNGON ÁTLÁTÁS (LWIR)	IGEN (LWIR tartományban)	NEM	NEM
VAKRIASZTÁS ESÉLYE	KÖZEPES (zónázással javítható)	ALACSONY	NAGYON ALACSONY
BERUHÁZÁSI KÖLTSÉG	MAGAS	ALACSONY	KÖZEPES-MAGAS

6. ábra Tűzvédelmi eszközök összehasonlító mátrixa (Forrás: [9], [11] és [14] alapján készítette a szerző)

6. GÁZOK ABSZORPCIÓJA ÉS LÁNGOKON KERESZTTÜLI LÁTÁS

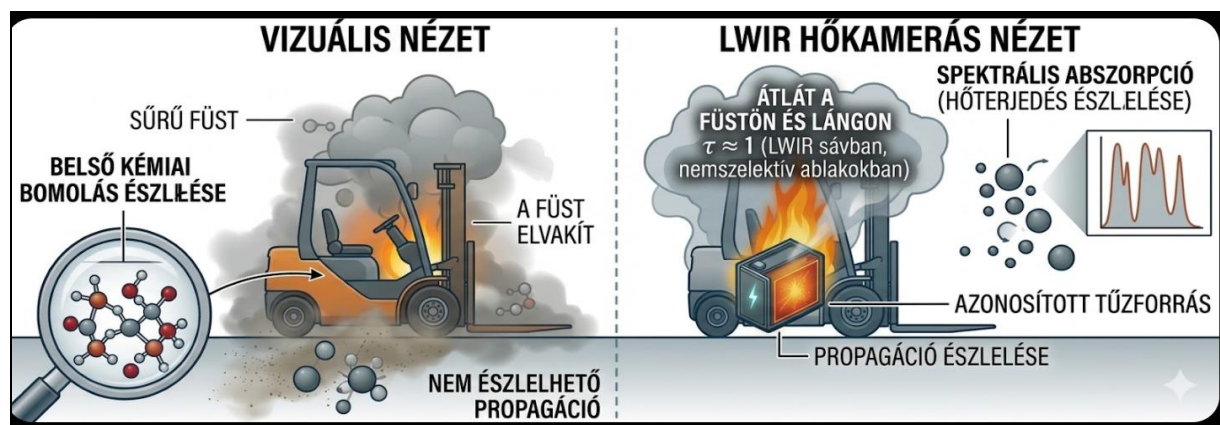
A hőkamerás diagnosztika létjogosultságát a lítium akkumulátorok felügyelete során nem csak a felületi hőmérséklet mérése adja, hanem a hőkamerák által használt infravörös tartomány sajátos fizikai tulajdonságai.

Ezek teszik lehetővé az adott folyamatok megfigyelését – detektálását szélsőséges, katasztrófa közeli körülmények között is. Amikor ugyanis egy akkumulátorcella például a termikus megfűtés állapotába kerül, sűrű és mérgező gázokat, valamint fehér füstöt bocsát ki. A hagyományos optikával felszerelt kamerák ebben a helyzetben szó szerint megvakulnak, hiszen a füstpartikulák mérete kisebb, mint az infravörös sugárzás hullámhossza.

A hőkamerák által kifejtett LWIR – azaz hosszuhullámú infravörös sugárzás ezzel szemben akadálytalanul hatol át a füstön, így a tűz pontos fészket és a hőterjedés irányát akkor is meg lehet határozni, amikor az adott helyiségen belül már nulla a látótávolság [18].

6.1 A gázok spektrális abszorpciójának mechanizmusa

A lítium-ion akkumulátorok termikus megfűtése során felszabaduló gázkeverék, mint az elektrolit-gőzök, a H₂, CO, valamint a HF nem homogén módon viselkedik az infravörös tartományon belül. Fontos kiemelni ugyanakkor, hogy minden gázmolekulának van egy sajátos, olyan hullámhossz-tartománya, ahol az elektromágneses sugárzást elnyeli – azaz abszorbeálja. A különböző gázok detektálása szempontjából igen meghatározó a molekuláris szintű spektrális abszorpció, mely során a felszabaduló gázok, mint például a hidrogén-fluorid vagy a szén-monoxid – meghatározott hullámhosszokon képesek elnyelni az infravörös energiát. Ez a folyamat teszi lehetővé a hőkamerás diagnosztika számára, hogy a képi megjelenítés láthatóvá tegye a mérgező gázfelhők terjedését és koncentrációját azelőtt, még mielőtt a gyulladás megtörténne. A gázfelhő a háttérsugárzáshoz képest ilyenkor kontrasztos foltként jelenik meg a kijelzőn [18]. A teljes folyamat kiterjedésekor, mikor elérkezünk a nyílt lánggal égés szakaszához, a hőkamera kihasználja a transzmisszió elvét⁵, ugyanis a szénhidrogén alapú tüzek lángjainak tulajdonsága, hogy bizonyos spektrális ablakokban átlátszóak az infravörös tartomány számára. Miért is hasznos ez nekünk? – Azért, mert ez a lángon keresztüli látás teszi azt lehetővé, hogy a hőkamerás rendszer ne csak a lángok külső felületét, hanem a tűz tényleges középpontját meghatározza, valamint monitorozza a cellák közötti esetleges hőterjedést valós időben. Oltásirányításnál ez kritikus képesség, hiszen pontos információt kapunk arról, hogy a tűz mely szomszédos egységekre jelenthet veszélyt, mely következtében az automata rendszerek célzottan a legforróbb pontra koncentrálnak az oltás során felhasznált oltóanyagot, minimalizálva ezzel a felmerülő járulékos kockázatokat.



7. ábra Vizuális és LWIR hőkamerás megfigyelés összehasonlítása (Forrás: [14] és [13] alapján készítette a szerző)

⁵ A transzmisszió elve leírja, hogy az elektromágneses sugárzás milyen mértékben képes áthaladni egy adott közegen anélkül, hogy ott elnyelődne, vagy visszaverődne.

7. A HIBA MECHANIZMUSA – DENDRITKÉPZŐDÉS ÉS A TERMIKUS ANOMÁLIA

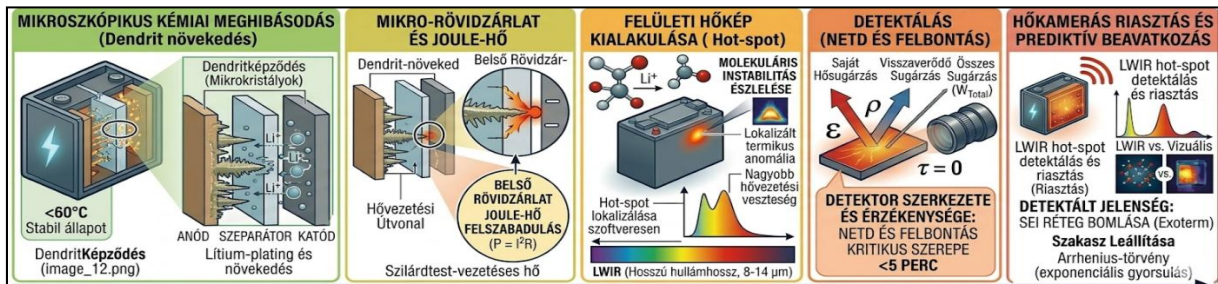
A hőkamerával folytatott megfigyelő rendszer prediktív képessége az, hogy a lítium-ion cellák belső, elektrokémiai minőségromlását, vagy a belső ellenállás növekedését már a korai szakaszban képes észlelni. A teljes folyamatot elindító legkritikusabb indikátor a dendritképződés, mely egy lassú, de összeadó folyamat a targonca akkumulátorok élettartama során. A folyamat lényege, hogy az egyes hatások, mint az öregedés vagy az öngerjesztés nem tűnnek el, hanem egymásra rakódnak és így együttesen egy egyre nagyobb eredő hatást hoznak létre. A lítium-ion akkumulátorok dendritképződése az egyik legnehezebben detektálható meghibásodási folyamat, mely a töltési ciklusok során, legfőképp a nem megfelelő körülmények (túl nagy áramerősség, túl alacsony környezeti hő) esetén következik be. Ilyenkor a lítium-ionok nem tudnak szabályosan beépülni az anód grafit rétegei közé, hanem fémes lítium formájában rakódnak le annak felületén. Ez a folyamat a lítium-plating, mely során nagyon kicsi – mikroszkopikus nagyságú, tűszerű kristálystruktúrák – azaz a dendritek kezdenek el növekedni az anódtól az elektroliton keresztül katód irányába.



8. ábra A lítium-plating jelensége és annak biztonságtechnikai kockázatai (Forrás: [4] alapján készítette a szerző)

Ezeknek a dendriteknek a növekedése jelent kritikus kockázatot, mivel ezek a tűszerű kristályképződmények képesek átszúrni az elválasztó réteget, ami mindösszesen tíz mikron vastagságú. Amint a dendrit így eléri a katódot, egy belső mikro-rövidzárlat keletkezik. Ebben a pillanatban alakul hőtermeléssé a korábban molekuláris szintű hibának vélt folyamat. A rövidzárlati ponton átfolyó áram hatására lokális felmelegedés kezdődik el. Bár ez a kezdeti fázis természetesen nem okoz még azonnali lánggal égést, a felszabaduló hőmérséklet értéke valahol 60 és 90 °C fok között lesz, ami már képes elindítani a szeparátor további lágyulását és ezáltal az elektrolit lassú bomlását. A hőkamerás rendszer feladata, hogy ezt a belső, pontszerű hőforrást képes legyen detektálni, mielőtt az termikus megfutássá fejlődik tovább. A hőkamera képén ekkor egy forró pontot láthatunk, mely az akkumulátor külső burkolatán jelentkezik.

A hőkép elemzése során ilyenkor nem egy szabályosan – egyenletesen melegedő képet látunk, hanem egy lokális, egy pontra koncentráló a környezettől markánsan elütő hőmérsékleti anomáliát, mely a targonca akkumulátorházának egy pontját jelöli. A hőkamerák már ezt a 0,5 – 1 °C-os változást is képesek detektálni és amikor a hőkamera szoftvere azonosítja a dendrit okozta anomáliát még a gázképződés előtt képes leállítani a teljes töltési folyamatát, megszakítva ezzel az oxidációs láncreakciót.



7. ábra A dendritképződés folyamatábrája (Forrás: [12] és [18] alapján készítette a szerző)

7.1 Hőmérséklet mérési algoritmus

A hőmérséklet-mérési algoritmus megköveteli, hogy a mérendő célpont legalább 5×5 pixelt foglaljon el a hőképen. Ez a minimális pixelméret feltétele annak, hogy a rendszer garantálni tudja a mérés pontosságát. De miért is fontos pont 5x5? - Ha a tárgy túl kicsi (például csak 1-2 pixelt fed le), a szélső pixelekbe "belemér" a hidegebb háttér is, ami rontja a mérés pontosságát. Az 5×5-ös szabály biztosítja, hogy a célpont közepén legyen legalább néhány olyan pixel, amit nem zavar a környezet hőmérséklete. A targonca töltőállomások monitorozásához jelenleg 3 féle különböző kialakítási lehetőség érhető – egy állású, több állású és integrált megoldás el melyek közül számunkra a több állású (multi – space) kialakítás lesz fontos: Egy 640 x 480 pixelből álló hőkamera 4-8 töltő helyét is képes egyszerre diagnosztizálni. Itt válik fontossá az FPGA alapú analitika, hiszen minden egyes töltőponthoz külön mérési zónát tudunk hozzárendelni. Képes egyszerre figyelni akár a polcrendszer (tűzvédelem) és a közlekedő folyosót (targonca szűrés) is.



8. ábra Multi space elektromos targonca töltőállomás megfigyelés (Forrás: [15] alapján készítette a szerző)

7.2 A mérés geometriai és logikai meghatározása

Fontos, hogy a hőkamerás rendszerek prediktív ereje nem csupán a képalkotásban és annak megjelenítésében, hanem a szabályalapú, matematikai adatokon nyugvó detektálásban - diagnosztizálásában rejlik. A töltőállomások monitorozása során a hőkamera szoftveres intelligenciája teszi lehetővé, hogy a mérést az adott fizikai környezethez és az elektrokémiai fázisokhoz igazítsuk. A diagnosztika során további 3 alapvető mérési mód kombinálható a maximális üzembiztonságot szem előtt tartva:

Pontszerű mérés: Ezt a szabályt a legkritikusabb elektromos csatlakozási pontokra (pl. targonca töltőcsatlakozója, DC kábelvégek) alkalmazzuk. Itt a cél nem más, mint a kontaktushibából származó lokális ellenállás-növekedés és az ebből fakadó Joule-hő azonnali észlelése, még mielőtt az átterjedne az akkumulátorcellákra.

Területi mérés: A teljes akkumulátor szekciót egy dinamikus mérési zónába foglaljuk bele, melynek eredményeképp a szoftver itt mindig a legmagasabb hőmérsékletű (T_{max}) pixelt keresi. Ez biztosítja számunka azt, hogyha belső cellahiba – azaz dendritképződés alakul ki az akkumulátorház egy véletlenszerű pontján, akkor a rendszer képes legyen ezt is lokalizálni.

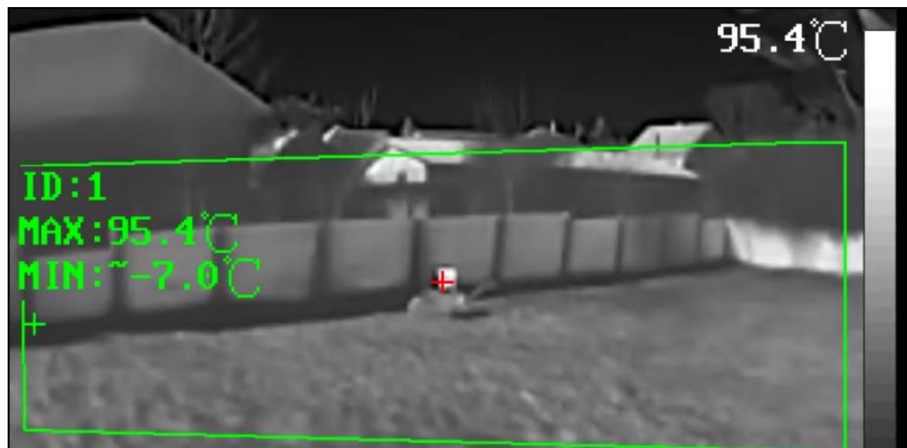
Hőmérséklet különbség mérés (ΔT): Lehetővé teszi a rendellenes hőfejlődés azonosítását a folyamatosan változó raktári környezetben is. Míg az abszolút hőmérséklet mérése egy fix értéket figyel, a ΔT logika két vagy több mérési pont diagnosztikáján alapszik, illetve időpont közötti eltérést elemez, így küszöbölve ki a környezeti zavaró tényezőket.

8. RENDSZERINTEGRÁCIÓ, DIAGNOSZTIKAI KONFIGURÁCIÓ ESETTANULMÁNY

A hőkamerás diagnosztika hatékonyságának és prediktív képességének alátámasztása érdekében egy szabadtéri tesztkörnyezetet alakítottam ki. A teszt célja annak bizonyítása, hogy a hőkamerával ellátott biztonsági rendszer képes a termikus megfutás kritikus fázisait elkülöníteni és a beavatkozáshoz szükséges riasztási jeleket még a láncreakció kialakulása előtt továbbítani. A teszt során lítium akkumulátorral működő targonca hiányában a riasztóberendezésekben használatos lítium akkumulátorokat vettem alá termikus terhelésnek, miközben egy bispektrális optikával rendelkező hőkamerával folyamatosan monitorozásra került a folyamat. A kísérlet során a hőkamera szoftvere valamilyen háttérben lévő tárgy felületi hőmérsékletét $-7,0$ °C-os minimum értékkel rögzítette. Ez nem az adott napi levegő hőmérsékleti értéke, hanem a környezet alacsony emissziójú felületeiről származó reflexiót reprezentálták. Az akkumulátort egy fehér 28×28 cm széles és 7 cm vastagságú fémdoboz tartalmazta, melyen így egy $0,85$ emissziós tényezőt lett alkalmazva. Ez a beállítás egy kritikus paraméter, különösen az esetünkben, hiszen a targoncában található akkumulátor is egy festett fémfelület mögött található. A festékréteg ugyanis jelentősen megnöveli a felület emissziós képességét. A tesztkörnyezet során a legpontosabb mérés elérése érdekében az úgynevezett fekete szigetelőszalag módszert alkalmaztam. Felragasztottam egy darab fekete szigetelőszalagot a doboz felületére – ezt azért tettem, mert a fekete PVC szalag szinte tökéletesen sugárzó és az emissziója fixen $0,95 - 0,97$ érték. Egy pár perc várakozás után a szalag átveszi a doboz hőmérsékletét, beáll a termikus egyensúly. Ezután a hőkamerával rámértem a szalagra és beállítottam a $0,95$ emissziós értéket, majd feljegyeztem a kapott hőmérsékleti értéket, 35 °C. Folytatásként rámértem a szalag melletti test felületére is, a kamera $31,2$ °C-ot mutatott. A két mérési pont között $3,8$ °C különbség volt, ami az emissziós értékből adódik. Ahhoz, hogy a festett felületen is valós 35 °C-ot lássunk a kamera szoftverében elkezdtem csökkenteni az emissziós tényezőt mindaddig, míg a két hőmérsékleti érték nem lesz azonos.

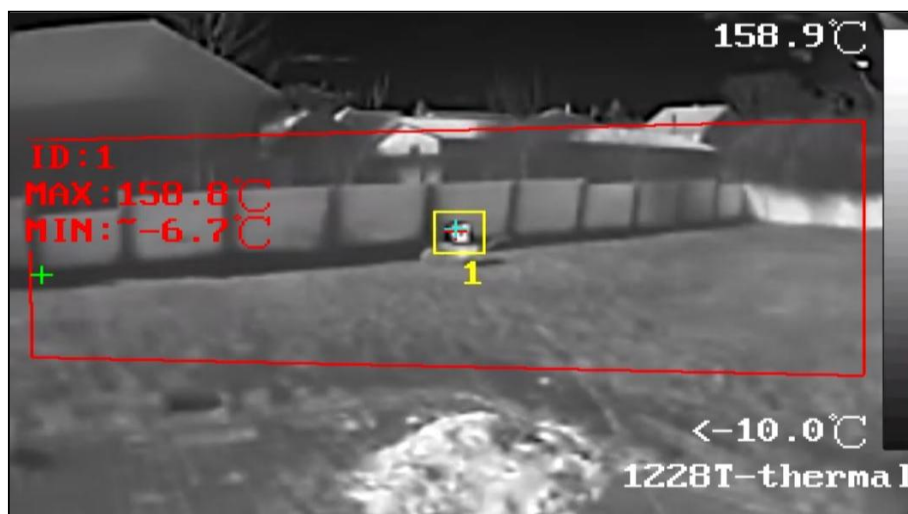
A pályázati anyagban szereplő képek alapján a kémiai eseménynaptárat figyelembe véve az alábbi fázisok azonosíthatók, mely során cél a kényszerített megfutást szimulálása volt:

1. Látens hőfejlődés detektálása, mely során a T_{\max} értéke a képeken is látható $95,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot érte el. Ebben a szakaszban a hőkamerán látható zöld mérési zóna (ROI) már akkor képes volt jelezni a rendellenes hőmérsékletet, amikor vizuálisan mi még semmilyen elváltozást – sem füstöt, sem pedig lángot nem láthattunk. Kémiai háttér: Ezt a tartományt meg tudjuk feleltetni a SEI védőréteg exoterm bomlásának. Diagnosztikai érték: Ezt nevezhetjük a tűz előtti állapotnak, ahol a rendszer egy automatizált beavatkozással (például a töltőáram megszakítással) még képes lenne megállítani a folyamatot.



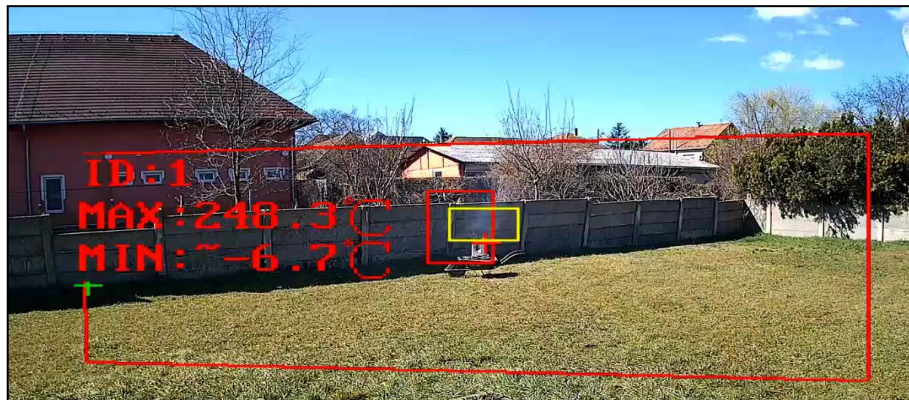
9. ábra Látens hőfejlődés detektálása (Készítette: a szerző)

2. Gázképződés és venting, mely során a T_{\max} értéke $158,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot ért el, hiszen a hőmérséklet emelkedésével a görbe meredeksége (dT / dt) exponenciálisan felgyorsult. Jelenség: A $158,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hőmérséklet értékénél a belső nyomás kinyitotta a biztonsági szelepet és megkezdődött a gázkifúvás. Hőkamerás prioritás: Bár vizuálisan már azt tapasztalhatjuk a képen, hogy megjelent a fehér elektrolit – aeroszol, azaz füstfelhő, a hőkamera LWIR sugárzása akadálytalanul hatol át a füstre és pontosan képes lokalizálni a fehér fémdobozon belüli forró pontot.



10. ábra A gázképződés és venting szakasza (Készítette: a szerző)

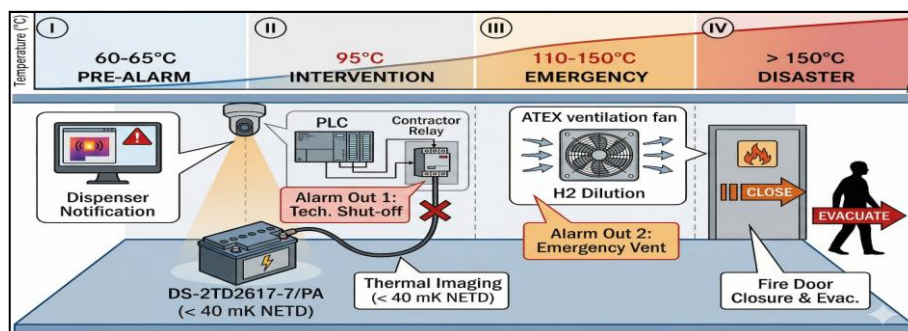
3. A termikus megfutás és katasztrófa részben a T_{max} értéke már eléri a 248,3 °C-os értéket, melyet a kísérlet végén rögzítettem le. Ennek az értéknek az eredményeképp a katód kristályrácsok összeomlanak és ezzel együtt belső oxigénfelszabadulás jelentkezik. A kísérlet során itt érkeztünk el a termikus megfutás kritikus és visszafordíthatatlan állapotához. A mérési adatok, valamint a vizuális dokumentáció alapján a hőkamerás rendszer által biztosított időablak egy hagyományos füstérzékelőhöz képest több perces előnyt jelent. Ez az időablak ipari környezetben nem csupán statisztikai adatként értelmezhető, hanem sokkal inkább az üzletmenet-folytonosság zálogaként tekinthető, hiszen míg a hagyományos füstérzékelők, csak a második, vagy a harmadik fázisban riasztottak volna, addig a hőkamera segítségével már a látens szakaszban képes volt detektálni a SEI réteg bomlását.



11.ábra Thermal Runaway (Készítette: a szerző)

A mérési pontok kritikai elemzése:

- 95,4 °C Látens szakasz - ez az érték már bőven az üzemi tartomány – targoncák esetében 60 °C felett van. Ez a SEI réteg bomlásának fázisát jelenti. Itt az akkumulátor már "fő", de még nincs nyílt láng. Ez bizonyítja a hőkamera prediktív erejét: akkor látja a bajt, amikor a doboz még egyben van.
- 158,9 °C Venting szakasz: Ez a pont a szeparátor megolvadásának 130 °C és 150 °C közötti értékét jelzi és a biztonsági szelep nyitásának felel meg. A képeken látható "fehéredő" hőkép az intenzív Joule-hő és a kiáramló forró gázok együttes jeleként jelentkezik.
- 248,3 °C az elkerülhetetlen katasztrófa, hiszen ez nem mérési hiba, hanem a teljes megfutás. Ekkor a doboz belsejében már tűz van. A hőkamera itt már nem megelőz, hanem az oltást segíti a lángon keresztüli látással.



12. ábra Beavatkozási mátrix (Készítette: a szerző)

A mátrix kialakításánál elsődleges szempont volt, hogy a reakcióidő minimalizálását biztosítsuk. Míg a hagyományos tűzjelző berendezések csak a III. vagy IV. fázisban (füst vagy nyílt láng esetén) lépnek működésbe, a hőkamerás rendszer már az I. és II. szinten megkezdheti a károk mérséklését. Az automatizált beavatkozás legfőbb előnye tehát, hogy a hőkamera az algoritmusával közvetlenül, emberi mulasztás lehetőségét kizárva kezeli az adott pillanatban felmerülő vészhelyzetet. Ez a prediktív szemléletmód biztosítja, hogy a töltés alatt álló targonca akkumulátorának hibája ne terjedhessen tovább a teljes logisztikai csarnokot veszélyeztető tűzesetté és okozhasson anyagi károkat, vagy ami sokkal rosszabb, személyi sérülést.

9. GAZDASÁGI VALIDÁCIÓ

A biztonságtechnikai rendszerek tervezése során a gazdasági fenntarthatóság is kulcsszerepet játszik. Teljes mértékben egyértelmű, hogy targonca-töltőállomások hőkamerás monitorozása kezdetben egy komolyabb pénzügyi beruházást – ráfordítást igényel, azonban a kockázatarányos megtérülés rendkívül kedvező. Egyetlen lítium-ion akkumulátor által okozott tűz képes egy teljes logisztikai részleg, a komplett tárolt árukészlet és a drága targoncaflotta megsemmisítésére. A targonca-töltőállomások hőkamerás megfigyelését egy speciális beruházási kategóriába tudjuk sorolni, ahol a haszon nem közvetlen pénzügyi bevételként jelentkezik, hanem sokkal inkább a potenciális veszteség elkerüléseként azonosítjuk. A döntéshozatali folyamat során a beruházási költségeket tehát (CAPEX) szembe kell állítani a kockázati kitettséggel.

- **Eszközállomány elvesztése:** Egy modern elektromos targonca típustól függően 15–35 millió forintos értéket jelent, melyből az akkumulátorcsomag 30-40%-ot tesz ki.
- **Infrastrukturális károk:** Az elektrolit pirolízise során korom és mérgező gázok keletkeznek (pl. hidrogén-fluorid), mely a teljes raktári acélszerkezetet és a gépészeti rendszereket is megkárosítják. Ezek gyakran bontási kötelezettséget vonnak maguk után, mely szintén pénzügyi költségként jelentkezik.
- **Készletvesztés:** A logisztikai csarnokokban tárolt áru értéke elérheti akár a több milliárd forintos értéket is, amely egy reaktív oltási folyamat (pl. sprinkler) során a füst- és vízkár miatt akkor is megsemmisül, ha a lángok nem érik el közvetlenül.
- **Leállási költség:** A raktár árukészletének kiesése a beszállítói lánc megakadását, vagy rosszabbik esetben a teljes megállását jelentheti. A napi kieső forgalom és a kötbérek mértéke naponta több tízmillió forintos tételt jelenthet.
- **Jogi és reputációs költségek:** Egy hosszas, elhúzódó hatósági vizsgálat és a piaci bizalomvesztés hosszú távú versenyhátrányt okoz a vállalatnak.

ROI számítás alapja: Amennyiben a hőkamerás megfigyelő rendszer a működési élettartama alatt (ami átlagos 5-8 év) akár csak egyetlen termikus megfutást is meggátol a látens szakaszban, úgy a beruházási költsége nemcsak megtérül, hanem az elkerült kár mértéke a rendszer bekerülési költségének többszörösét teszi ki.

Tétel megnevezése	Mennyiség	Egységár (nettó HUF)	Összesen (nettó HUF)
DS-2TD1228T-2/QA Bispektrális hőkamera	3 db	450 000	1 350 000
Hőkamera licenz	1 db	250 000	250 000
I/O modul / PLC (A beavatkozáshoz)	1 db	120 000	120 000
Hálózati infrastruktúra (PoE Switch + kiegészítők)	1 szett	180 000	180 000
Speciális strukturált kábelezés (FTP Cat6 + védőcsövezés)	1 projekt	150 000	150 000
Telepítés, konfiguráció és kalibráció	1 projekt	400 000	400 000
ÖSSZESEN:			2 450 000 HUF

1. ábra - A hőkamerás tűzvédelmi monitorozó rendszer beruházási költségterve (Készítette: a szerző)

10. TOVÁBBFEJLESZTÉSI JAVASLAT

A pályázati munka megírása során bemutatott külső, radiometrikus mérési rendszer továbbfejlesztésére azt gondolom több nagyszerű technológiai eszköz áll rendelkezésünkre, melynek implementációján érdemes elgondolkodni. Ez egyik ilyen továbbfejlesztési javaslatom az lenne, amikor a hőkamera által biztosított adatokat összevetjük az akkumulátor belső felüyeleti rendszerével, melyet BMS⁶ rendszernek nevezünk. Leegyszerűsítve a rendszer feladata, hogy megóvja a cellák épségét, optimalizálja a teljesítményt és ennek eredményeképp megelőzze a tüzet. A jelenlegi rendszer ugyanis a burkolati hőmérsékletet figyeli, amely egy szilárd test vezetési képességének az eredménye. Amennyiben például a hőkamera külsőleg 80 °C-ot detektál, de a BMS belsőleg csupán 40 °C-ot mutat, a rendszer azonnal azonosítani tudja, hogy a hibaforrás nem a cellák belsejében jelentkezett, hanem a csatlakozási portoknál, amely kontaktushibára, vagy megnövekedett átmeneti ellenállásra utaló jel. A BMS adatai alapján továbbá szoftveresen kiszűrhetőek lennének a külső környezeti hatások, például a targonca burkolatát sütő napfény, vagy esetlegesen a közeli hőszugárzók okozta reflexiók, melyek jelenleg a rendszerszintű programozás során még konfigurációs kihívást jelentenek. A BMS három fő szinten lenne képes beavatkozni az akkumulátor működésébe és életébe. A rendszer folyamatos mérésekkel tudna szolgálni a vezérlő szoftver irányába, mely értékekkel megállapítható lenne az akkumulátor adott feszültsége, a rajta átfolyó áramerősség és a korábban már említett hőmérséklet. Ha bármelyik érték kilépne a biztonsági tartományból például egy túltöltés következtében, akkor a BMS képes lenne lekapcsolni a rendszert, hogy elkerülje a termikus megfutást. Fontos, hogy az akkumulátorcsomagok sok apró cellából állnak össze, melyek az idővel eltérő módon öregednek. A BMS képes gondoskodni arról, hogy ezt a különbséget kiegyenlítse, így minden cellát azonos töltöttségi szinten kezelne. Passzív balaszonlás esetben a BMS rendszer a cellák felesleges energiáját hővé alakítja, elpazarolja, míg aktív esetén átcsoportosítja a merültebb részekre. A BMS segítségével lehetőségünk van a legfontosabb mutatók meghatározására is. Az SoC – azaz a State of Charge megmutatja a pillanatnyi töltés értékét százalékos formában, míg a SoH – State of Health, az egészségügyi állapotot monitorozza az akkumulátor új korához képest.

⁶ BMS – Battery Management System



2. ábra A BMS belső felépítése és funkciói (Forrás: [10] alapján készítette a szerző)

A két rendszert azonban érdemes egy rendszerként kezelni és egy biztonsági fúziót létrehozni, mely azt gondolom jelenleg még kihasználatlan terület a biztonságtechnika ezen területén. Ez annak köszönhető, hogy a BSM belső szenzorokkal, úgynevezett termisztorokkal dolgozik, addig a hőkamera a külső – vizuális adatot biztosítja. Ez az együttműködés biztosítja a megfelelő szintű biztonságot és diagnosztikát. A korai tűzmelegedést vizsgálva a BMS csak ott képes hőmérsékletet érzékelni, ahol maga a szenzor van. Azonban, ha egy csatlakozó lazult meg, vagy egy kábel kezd el izzani két szenzor között, akkor erről a BMS csak később értesül. Megoldásként a hőkamera szoftvere mér képes felismerni a kialakuló forrópontot, még azelőtt, hogy a cellák kémiai károsodnának. Ha a kamera kiugró hőértéket azonosít, jelet küld a BMS-nek, ami azonnal korlátozza az áramfelvételt. A kiterjesztett predikció és a belső ellenállás alapján a hőkamera és a BMS egy közös adatbázisa tenné azt lehetővé, hogy a töltési áramerősség és a felületi hőmérséklet emelkedés korrelációját folyamatosan elemezni tudjuk. Amennyiben egy akkumulátor azonos töltési karakterisztika mellett a korábbi ciklusokhoz képest akár gyorsabb, vagy akár magasabb hőmérsékletet mutat, az a belső ellenállás növekedésére és a dendritképződés előrehaladott állapotára utalhat. Ez a megközelítés lehetővé tudná tenni, hogy a karbantartási ciklusokat az adott akkumulátorok állapotához képest tervezzük meg, mellyel a cellák kritikus degradációját előzhetjük meg. A továbbfejlesztés következő lépcsőfoka a deep learning modellek alkalmazása a specifikus hőkép-mintázatok felismerésére lehetne. Minden akkumulátortípus és targoncatípus rendelkezik ugyanis egy sajátos termikus karakterisztikával a töltési folyamat során. A jövőbeli rendszerek azonban azt gondolom képesek lesznek megtanulni az adott flotta normálértékű hőmintázatát. A mesterséges intelligencia a prizmatikus vagy hengeres cellákra jellemző specifikus hőelvezetési mintákat lenne képes küldeni, mely riasztást váltani ki abban az esetben, ha a hő eloszlása nem felel meg a normál üzemnek, még abban az esetben is, ha az abszolút hőmérsékleti értékek a meghatározott határérték alatt maradnak. Egy utolsó lehetőségként szeretném megemlíteni a komplett rendszerintegrációt, mellyel a hőkamerás tűzvédelem képes lenne kilépni a szigetüzemű működésből és részévé válni a raktári irányítási rendszernek. Ennek köszönhetően az Alarm Out kimenettel nem csak a töltés lenne például leállítható, hanem közvetlenül utasítást is tudnánk küldeni a logisztikai szoftvernek. Egy valós scenario lehet, hogy amennyiben a hőkamera az intervention zónában, ami 95 fok körüli értéket jelent hibát detektál, a rendszer utasítást küldhet egy automata targoncának, vagy az a diszpécsernek az érintett eszköz azonnali kivontatására egy kijelölt, biztonságos zónába.

Az erőforrás optimalizálásnál is fontos rész lehet a WMS⁷, hiszen amennyiben egy töltőpontál rendszere a melegedés, a WMS automatikusa képes átütemezni a töltési feladatokat, akár más állomásokra is, elkerülve ezzel a hálózati túlterhelést és a hőtorlódást.

11. KÖVETKEZTETÉS

Pályázati munkám során a logisztikai raktárakhoz kapcsolódó egyik azt gondolom legkritikusabb kihívást – a töltés alatt álló targoncák lítium akkumulátorok megfűtésének korai detektálását vizsgáltam. A kutatás rávilágított arra a jelenleg fennálló kritikus biztonságtechnikai részre, amely a hagyományos, füst és hőérzékelésen alapuló rendszerek időbeli eltolódásából adódik. Ennek eredményeképp ezek a rendszerek reaktív jelzővel lettek ellátva, azaz csak akkor jeleznek, amikor már tényleg baj van, azaz megjelent a füst vagy a láng. A probléma lényege jelen esetben tehát az, hogy mire a hagyományos érzékelők jeleznek, addigra a folyamat már megállíthatatlan. Hőkamera segítségével képes vagyunk azonban ezt a fennálló rést áthidalni, hiszen az eszköz már akkor képes detektálni a melegedést, amikor még se füst, se láng nem jelentkezett. Véleményem szerint a hőkamerás megfigyelés és a technológia létjogosultságát az adja meg, hogy a segítségével képesek vagyunk már a látens szakaszban, azaz 60 – 110 °C között detektálni az akkumulátor beleséjben elinduló SEI védőréteg exoterm bomlását, miközben szabad szemmel még semmilyen füst, vagy láng nem észlelhető. A fizikai alapokat az hosszúhullámú infravörös – LWIR sugárzás biztosítja, amelynek a hullámhosszának segítségével a kamera képes a sűrű füstön keresztül is átlátni, így biztosítva azt a képességét, melynek segítségével a tűzfészek pontosan lokalizálható még akár a venting fázisban is. A gyakorlati esettanulmány folyamán igyekeztem maradéktalanul alátámasztani az elméleti feltételezéseimet. A kontroll alatt végrehajtott égési teszt folyamán a hőkamera már 95,4 °C-nál jelezte a kritikus melegedést, mely jóval a 158,9 °C-nál bekövetkező gázkifűvés (venting) és a 248,3 °C-on jelentkező termikus megfűtés előtti időpont. A kidolgozott beavatkozási mátrix segítségével és a különböző szoftveres algoritmusokra támaszkodva (AI trendanalízis, Delta T monitorozás) lehetővé tettük, hogy a humán mulasztást teljesen elhanyagolható tényezőként kezeljük, hiszen a komplett rendszer a hőkamera jele alapján képes a szelektív töltésleállításra és a vészszellőztetés elindítására is.

A gazdasági elemzés során igyekeztem rámutatni arra a tényezőre, hogy bár a rendszer egyszerű beruházási költsége egy magasabb pénzügyi elhatározást igényel, a 2 450 000 Ft-os érték mégis elenyésző amellet, amekkora káresemény következhet be egy termikus megfűtés során. A technológia tehát nem csupán, mint tűzvédelmi modernizáció, hanem racionális tőkevédelemként is felfogható, mely képes megóvni az akár több száz millió forint értékű infrastruktúrát és a raktárban tárolt árukészletet. A pályázati munkám zárásaképp megállapítható, hogy a hőkamerára támaszkodó diagnosztika nem csupán egy újabb eszköz a tűzvédelem palettáján, hanem egy olyan lehetséges paradigmaváltás, amely alapjaiban lesz képes átértékelni a biztonságtechnikai tervezés módszereit. A dolgozatom eredményei egyértelműen igazolják ugyanis, hogy a lítium-ion technológia által okozott speciális kockázatok kezelése többé nem bízható a hagyományos rendszerekre. A jövő raktározásának biztonsági záloga tehát a prediktív védekezés, mely a kémia bomlási folyamatok molekuláris szintű termográfiai felismerését jelenti, mely során nincs szükség emberi beavatkozásra, hiszen rendszer automatizált válaszreakciót küld. Ez a megközelítés véleményem szerint az egyetlen olyan járható út a logisztikai infrastruktúra és az üzletmenet – folytonosság megőrzéséhez, ahol a tűz elleni védekezés kialakítását már a füst és a lángok megjelenése előtti látens szakaszban kell megnyerni.

⁷ WMS – Warehouse Management System, azaz a raktári irányítási rendszer

12. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Xie, J. – Lu, Y. C.: „A retrospective on lithium-ion batteries” *Nature Communications* 11 pp. 1-4. (2020)
- [2] Wang, Q.: „Thermal Runaway caused by internal short circuit in lithium-ion batteries” *Journal of Power Sources* 208 pp. 210–224. (2012)
- [3] D. Doughty: „A Lithium – Ion Battery Safety and Abuse Tolerance Review” *The Electrochemical Society Interface* 21 pp. 37–44. (2012)
- [4] M. Rosen – A. Farsi: *Battery technology* Academic Press (Elsevier) 2023.
- [5] B. Scrosati – K. M. Abraham – W. van Schalkwijk – J. Hassoun: *Lithium Batteries* John Wiley & Sons, Inc. 2013.
- [6] M. Vollmer – K.-P. Möllmann: *Infrared Thermal Imaging* Wiley-VCH 2017.
- [7] Hikvision Digital Technology: Thermal Camera Temperature Measurement White Paper szerző és kiadó nélkül 2024.
- [8] Battery University: Safety of Lithium-based Batteries [Online] Elérhetőség: <https://batteryuniversity.com/article/bu-304a-safety-of-lithium-based-batteries> (2026.03.03.)
- [9] 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról [Online] Elérhetőség: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1400054.bm> (2026.03.03.)
- [10] TvMI 12.1:2022.06.13. – Robbanás elleni védelem. Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek [Online] Elérhetőség: <https://www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2022-04/78650.pdf> (2026.03.09.)
- [11] TvMI 7.2:2022.06.13. – Beépített tűzjelző berendezés tervezése, telepítése. Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek [Online] Elérhetőség: <https://www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2023-12/82918.pdf> (2026.03.09.)
- [12] MSZ EN 60079-10-1:2016 – Robbanóképes közegek. 1. rész: Gázközegek osztályozása. Magyar Szabványügyi Testület
- [13] Balog F. – Dr. Beda L. – Kovács I. – Özvegy Gy.: *Tűzvédelmi mérnöki kézikönyv* Budapest: BME Mérnöktovábbképző Intézet, 2003.
- [14] J. Warner: *The handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design* Academic Press (Elsevier) 2024.
- [15] Hikvision Digital Technology: Thermal Imaging Core Technologies [Online] Elérhetőség: <https://www.hikvision.com/en/core-technologies/thermal-imaging/> (2026.03.19.)
- [16] Hikvision Digital Technology: Hik-Central User Guide [Online] Elérhetőség: https://www.hikvision.com/content/dam/hikvision/pt-br/data-sheets/HikCentral-Professional-Control-Client_User-Manual_V2.2.0_20211120-2-2.pdf (2026.03.20.)

- [17] A lítium akkumulátorok típusai [Online] Elérhetőség:
<https://www.batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion> (2026.03.25.)
- [18] Hikvision HeatPro technológiás hőkamerák [Online] Elérhetőség:
https://www.hikvision.com/content/dam/hikvision/eu/support/brochures/product-flyer/HeatPro-Series-Thermal-Cameras_EU_Apr.-2023.pdf (2026.03.29.)
- [19] H. Kaplan: *Practical applications of infrared thermal sensing and imaging equipment* SPIE Press (The International Society for Optical Engineering) 2007.


Az 1972-es Csertő utcai tűzvész tanulságai, a jelen tűzvédelmi kihívásai szempontjából – 1. rész: Mentőtűzvédelem

The 1972 apartment-block fire on Csertő Street for today's fire safety challenges – part I.: Firefighting

Hózer Benjámín

Szervezet, beosztás: KKMMSzSz¹ - titkár

Email: hozer.benjamin@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2834-7183 

Dr. Gyimesi Anna

Szervezet, beosztás: Moholy-Nagy Művészeti Egyetem

Doktori Iskola - doktoranda

Email: gyimesianna85@gmail.com

ORCID: 0009-0007-5190-9790 

Dr. Bérczi László PhD. tú. ddtbk.

Szervezet, beosztás: Nemzeti Köszolgálati Egyetem

c. egyetemi tanár, tűzoltósági főtanácsos

Email: tuzszakerto22@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7719-7671 

Absztrakt:

Az 54 évvel ezelőtti Csertő utcai tüzeset, a saját korában igen jelentős sajtóvisszhangot váltott ki. 2026-ra azonban olyan történelmi távlatba került, hogy a jelenkor olvasóinak újra be kell mutatni, eme tragikus kimenetelű káreseményt. Nem pusztán az áldozatok emléke okán, hanem az ebből leszűrhető, a mai napig érvényes tanulságok miatt is. Jelen tanulmányban, a fennmaradt írásos anyagok (tüzeset tanulmány, tanácsi jegyzőkönyv, konferencia-közlemény, sajtóhírek stb.) és szóbeli beszámolók alapján rekonstruáljuk a történetet. Egyúttal a cikksorozattal párhuzamosan, egy dokumentumfilm is készül. A feldolgozásra került jelentős méretű forrásanyag terjedelme okán, a tanulmányt három részre kellett bontanunk. Az első részben a mentőtűzvédelem, a második részben a megelőző tűzvédelem kap szerepet, valamint a harmadik részben a jelenkori tanulságok kerülnek kifejtésre.

Kulcsszavak: Csertő utca, középmagas épület, panelház, esettanulmány, szakmatörténet

Abstract:

The fire on Csertő Street 54 years ago generated major media attention. By 2026, it had become a historical event, and readers now need to be reintroduced to this tragedy—not only to honor the victims but also to learn lasting lessons. In this study, we reconstruct events using written sources (fire investigation report, council minutes, conference announcements, press reports, etc.) and oral accounts. A documentary film will accompany the article series. Due to the source material's size, we divided the study into three parts: firefighting, fire prevention, and current-day lessons.

Keywords: Csertő street, medium-height building, panel building, case study, professional history

¹ Katasztrófavédelem Központi Múzeuma: Magángyűjtői és Szakmatörténeti-kutatói Szakosztály

1. BEVEZETÉS

Zugló, 1873 óta része Budapestnek és 1935 óta alkotja a főváros XIV. kerületét. A kerületet délről a Keleti-pályaudvartól, Gödöllőig tartó HÉV-vonal határolja. Az első hároméves terv sikerét követően, a fővárosi tanács célul tűzte ki, mélyvezetésű gyorsvasút létesítését. Az új metróalagút, a Népstadionnál kapcsolta volna össze, a Déli pályaudvartól érkező szerelvényt a gödöllői HÉV-el. [1] A negyedik ötéves terv időszakára ez a terv már annyiban módosult, hogy a nyugat-keleti, vagy más néven kettes /*piros*/ metró vonal keleti végállomását, a Fehér úti „Eörs” vezér téren állapították meg. [2] Az új végállomás azonban egy új, szocialista modell szerinti városrész (lakótelep) kialakítását is jelentette, mely a falusias berendezkedésű Rákosfalva sorsát is megpecsételte.

A negyedik ötéves terv ezen a téren is jelentősen átalakította a terület összképét. [3] A tervek szerint országsszerte 400.000 lakás megépítését kellett eszközölni 1971. január 1. és 1975. december 31. közt. Ebből mintegy 12.000 lakást, az akkori Rákosfalva teljes területének és Alsórákos egy részének szanálásával létrejövő új, ún. „*Füredi úti lakótelepen*” kívánták létesíteni. [4] Rákosfalva lakosságát általánosságban sváb kertészek és iparosok kommunája alkotta. Az előzetes felmérések alapján, mintegy 1500 ingatlant jelöltek ki lebontásra, melyek 40%-a volt állami tulajdonban. Az épületek állaga 13%-ban jónak, 32%-ban megfelelőnek, valamint 55%-ban bontandónak ítéltetett. [5] Rákosfalvából mindössze három jelentősebb épület maradt fenn: a Cserepesház, a Szent István-plébániatemplom és az Álmos Vezér téri iskola. [6] Az új lakótelep mintegy 100 hektáros területen valósult meg. [1. melléklet]

2. LAKÓTELEPÉPÍTÉS

A lakótelep építésének feladatát, a 43. Állami Építőipari Vállalat kapta. A munkát könnyűszerkezetes, Larsen-Nielsen típusú, dán házgyári (panel)elemes technológiával kívánták kivitelezni. A gyártást a 2-es számú, IX. kerületi házgyár végezte, dán vásárolt licenz és gépsor által.²

2.1 Füredi lakótelep – Első ütem

Az építkezést három ütemre osztották, melyből az első (északi) ütem, a Vezér utca – Füredi utca – Gvadányi út és Fogarasi út által határolt, alsórákosi területen létesült. A munka 1969. márciusában indult meg. A lakótelepen összesen 12.099 lakás építését tűzték ki célul, 71 házban. [7] A vizsgált épület típusjele 'K-2', melyből a lakótelepen 19 db épült, darabonként 264 db lakással. A lakótelepen összesen 5016 db ilyen kialakítású lakás létesült, mely a telep lakásainak közel felét teszik ki.³ A K-2 típusú épület három szekciós, szekciónként 88 lakással és két lépcsőházzal. Szekciónként és szintenként 8 lakás található, melyek középfolyosóról nyílnak. [2. melléklet] Az első ütemben 1971-ig, több mint 4000 lakás került átadásra. [3. melléklet] A Csertő utcát 1968-ben hozták létre, a Csertő elnevezés egy Baranya megyei községre utal. [8] A Csertő utca 12 – 14. (lakótelepi jel: K/2-14.) számú épület építése 1970. júniusában fejeződött be, míg a birtokba vétel a III. negyedévben, közel 800 lakóval. [4. melléklet] Az épület összes alapterülete 18.270 m², szintenként: 1700 m²; hossza: 98.44 méter, szélessége: 16.86 méter. Egy szekció hossza 27.98 méter, valamint egy-egy lépcsőház szélessége 7.25 méter. Rákosfalvához hasonlóan, az első ütem lakóinak egy része is olyan komfort nélküli pesterzsébeti házak lakói voltak, melyeket korábban szanálásra ítélték. [9] Ennek okán a lakóközösség igen diverzzé vált, nehezen találták a lakók a közös hangot, a közösségi együttélés szabályai mentén:

² A 2-es számú házgyár volt az egyetlen dán licenszes. A többi szovjet és csehszlovák licensszel és gépekkel dolgozott. [11. pp. 77.]

³ Az 1973-as tervszámok még 22 db. 'K-2' típusú házzal, és 5808 lakással számolnak, melyből csak 19 valósult meg.

„A lakóházak tűzvédelmi helyzetére jellemző, hogy minden harmadik tüz eset lakóházi területen, illetve lakásban fordul elő. Évente egyre növekvő tendenciát mutat, pl. 1973-ban 667 lakástűz volt, amely az összűz eset 31 %-át teszi ki. A tüzesetek növekedése elsősorban a lakosság egy részének gondatlan magatartásából, tűzvédelmi tájékozatlanságából adódnak.” [10]

Az állampárt által 1960-ban meghirdetett ún. „15 éves lakásépítési programban”, 1961 és 1975 közt, 1 millió lakás megépítését és átadását tűzték ki célul. [11] Ahogy minden nagyobb lakótelepen, úgy a főváros első nagypanelos lakótelepén, a Füredi útin is, számos szolgáltató létesítményt terveztek. Ezek közé tartozott: 4 általános iskola, összesen 104 tanteremmel; 1 gimnázium; 7 óvoda; 7 bölcsőde; 1 gyógyszertár; 1 orvosi rendelő; 2 áruház; 1 művelődési ház; 1 kamaraszínház; 1 filmszínház; 1 kiállítóterem és 2 étterem. Takarékosági okokból azonban a szolgáltató létesítményekből, csak egy áruház, két szolgáltatóház és egy étterem valósult meg. [12] Mivel a lakóházak hamarabb valósultak meg, mint a közületek, ezért a Csertő utca 12-14. számú épület, 'A' szekciójának földszintjén is elhelyezésre került egy óvoda.

2.2 Interior

Ahogy a szerkezet, úgy a belső terek is a szocialista tömeggyártás termékeit vették igénybe. A középfolyosó szélessége 2 méter, melyet mindkét oldalról 40 – 40 cm-rel megrövidít, egy – egy szerelvénytálcára. [13] A tálcákban futnak, a víz, távhő, szellőzés, elektromos és gázvezetékek. A tálcák anyaga: puhafa-keretre (fenyő) préselt papír, mely külső borítása műanyag festékkel festett pozdorja bútorlap (továbbiakban ún. „műfa”). A menekülési útként szolgáló középfolyosók, szintén műanyag (linóleum) burkolatot kaptak. [5. melléklet] A folyosók deszkaburkolatának konzisztenciáját, a bejárati ajtók szintén éghető műfa kivitele sem szakította meg, egyben közvetlen csatlakoztak a lambériához. [6. melléklet] A műfa mögött elhelyezett gépészeti berendezések PVC és alumíniumcsövek, szintén éghető szigeteléssel lettek ellátva. Az épület sem beépített tűzoltó/tűzjelző berendezéssel, sem hő- és füstelvezetéssel, sem kézi tűzoltó készülékekkel nem volt felszerelve.

Az egyes szekciók semmilyen tűz- vagy füstgátló leválasztással nem rendelkeztek, mindössze egy-egy kétszárnyas üvegajtó választotta el őket egymástól a lépcsőházak vonalában. Azaz minden szint egy légtérnek tekinthető. A szinteket függőlegesen keresztbező szellőzőkürtő, szintén alumíniumból készült, rajta műanyag szerelvényekkel. A földemáttöréseknél, tűzgátló szigetelést nem alkalmaztak, így az egész épület egyetlen tűzszakaszt képezett. Emiatt a szintek közt a füst és a tűz akadálytalanul tudott felfelé (egyúttal lefelé is), valamint vízszintesen közlekedni; a még nem égő lakásokra is áttérjedni. Az üvegajtók a hőterheléstől kitörték, így a strangok mentén, valamint a folyosókon a kürtőhatás kiválóan tudott érvényesülni. A túlélők elmondásaikban kifejezetten erős huzatról számoltak be. További problémát jelentett még emellett, hogy a szerelvénytálcákat is gyakran használták a lakók éghető lomok tárolására:

„A lakóépületben több lakó a folyosók két oldalán elhelyezett szerelvénytálcákban nagymennyiségű könnyen gyúló anyagokat tárolt. Ez a körülmény jelentősen befolyásolta az adott szerelvénytálcák égési intenzitását. [13]

Az épület gondnokát az épület üzemeltetője tűzrendészeti oktatásban részesítette. A lépcsőházban kifüggesztették a tűzvédelmi házirendet, mely tartalmazta a tűz esetén követendő magatartást, valamint a tűzjelzéssel kapcsolatos tennivalókat. [7. melléklet] Ezen kívül a bérbeadó felhívta a figyelmet a tűzvédelmi előírásokra, a bérleti szerződések megkötése során, az egyes bérlőkkel.

1972. május 18-án, csütörtökön, közvetlen éjfél után tűz keletkezett, a Budapest XIV. kerület, Csertő utca 12-14. szám alatti társasház, VII. emeletének, középső 'B' szekciójának, 170. számú lakás bejárati ajtaja melletti – villanyórát is tartalmazó – szerelvény szekrényében.

3.1 Észlelés – jelzés

A tüzeset tanulmányban azt olvashatjuk, hogy a tüzet elsőnek *Horváth Lászlóné* (VII. /181. sz. | nyugdíjas) észlelte, aki éjfél után furcsa ropogásra ébredt fel. A kémlelőnyíláson keresztül látta, hogy a vele szemben lévő lakás bejárati ajtajától balra lévő, villanyórát is tartalmazó szekrény ég és átterjedőben van a bejárati ajtóra is. *Horváth Lászlóné* kétszer csengetett a tűzzel érintett lakás ajtaján, majd felcsöngette az oldalsó szomszédját, *Kovács Tibor* (VII. /180. sz. | r. fhdgy.) alatti lakost. [8. melléklet] *Kovács Tibor* 0:14:10 és 00:14:50 közt tett bejelentést telefonról, a Fővárosi Tűzrendészeti Osztályparancsokság hírközpontja felé, a 05-ön keresztül. [9. melléklet] A Magyar Rendőr folyóirat vonatkozó cikkében a következőt közli:

„Május 18-án, pontosan 0 óra 19 perc 48 másodperckor szerzett tudomást a Budapesti Rendőr-főkapitányság Központi Ügyelete arról, hogy a XIV. kerület Csertő utca 12-14. számú, 10 emeletes lakóház felső szintjei lángokban állnak. A 07 telefonszámon Kovács Tibor rendőr főhadnagy, a ház VII. emelet 180. számú lakásának bérlője tette meg az első bejelentést a rendőrségre, és gyors, határozott segítséget kért. [...] Kovács Tibor rendőr főhadnagy ugyanis a tűzoltóknak 0 óra 14 perc 50 másodperckor, a mentőknek pedig még ezt megelőzően már megtette a bejelentést a történetekről. [14]

A tanulmány kitér, hogy időben az első bejelentést *Arany Lajos* (VI. /148. | BM. dolgozó) teszi meg, saját telefonról. 48 másodperccel később a második bejelentést *Kovács Tibor*, és vele közel azonos időben *Melegb Judit*, a szomszédos ház lakója. Az első bejelentéseket még számos másik követte, mind a tűzoltóság, mind a rendőrség felé. Idővel a rendőrség, a mentőszolgálat, közműszolgáltatók, valamint a Mosonyi utcai rendőrlaktanyából, az egyhónapos tanfolyam 75 fő próbarendőr hallgatója is felvonult a pánik csillapítására.

3.1.1 Észlelés és jelzés közti percek

Az eset vizsgálatánál kulcskérdés, az észlelés és a kiérkezés közt eltelt percek eseményei. A tűz első észlelése és az első jelzés leadása közt, közel 10 – 15 perc telt el, mely során a lakók öntevékeny módon igyekeztek a tüzet elfojtani, de a tűzoltóságot ekkor még nem értesítették. Mivel az épületben tűzoltó készülékek nem voltak kihelyezve, ezért vödörrel próbálták a tűz terjedését gátolni és a szekrényeket locsolni, hogy a tűz ne terjedjen át a lakásokra. A szomszédok riadóláncon kopogtatással és csengetéssel ébresztették egymást. Mások hálóingben, rémülten sikoltozva menekültek az épületből. A tűz gyorsan váltott szinteket felfelé, valamint egy esetben lefelé is. A középfolysók hamar telítődtek mérgező füsttel, mivel a linóleum égése során mérgező gázok képződnek. A VII. emeletről az egyik lakó értesítette *Kalcsics Imréné* gondnoknőt a tűz tényéről. A lakó kérte, hogy értesítse a tűzoltókat, mivel az ő telefonja már nem működik – ez azonban elmaradt. Ezt követően a szomszéd ház gondnokának segítségével elzárták az épület gázfőelzáróját, mivel ennek a helyét nem tudta sem a gondnoknő, sem a lakók. [15] Ez alatt a közel negyedórás időintervallum alatt fokozott pánikhangulat állt elő, amit jól jellemez, hogy a tűzoltóságot is már csak közel 15 perccel az első észlelést követően értesítették. Az események pontos részletei itt homályba vesznek, de a tanúmeghallgatások jegyzőkönyvei a következőként nyilatkoznak:

„1972. május 17-én a Magyar-Román válogatott mérkőzést nézzük a TV-ben. [...] Lefekvéskor semmi gyanúsat nem észleltünk. Kb. éjfél után 10-15 perccel, pontosan meghatározni nem tudom, két hosszú csengetésre ébredtem. [...] Kiszóltam, hogy ki az, de senki nem válaszolt. Kinyitottam az ajtót és a folyosói beépített szekrény felől nagy láng csapott ki, egy nagy darab zsarútnok is beesett a szobába, melyet azonnal kipöcköltem.

Együttal azt is láttam, hogy Horváthné a lift felé szalad, gondoltam ő csöngetett fel bennünket. Azonnal visszarohtam a lakásba, a családtagokat felébresztettem, kimenekültünk a lépcsőházbba én pedig Kovács Tibor szomszédommal a többi lakó felriasztását hajtottuk végre. Együttal vödör vizekkel oltottuk a tüzet. A lakásajtót nyitva hagytam és így a tűz a lakásba is behúzódott. A lakásombba lévő bútorok, berendezési tárgyak stb. szinte 100%-ban tűzkárt szenvedett. A házban nagy pánik volt, ami a tüzeset következtében történt, s megjegyezni kívánom, hogy a tűzoltók hosszú idő múlva jelentek meg.”
– Myszoglád László (VII. /170. | Fővárosi Szállítási Vállalat – gépkocsivezető)

„Felkeltem, villanyt nem gyújtottam, sötétbe odamentem az ajtóhoz, kinéztem a kémlelő ablakon. Azt láttam, hogy a szemben lévő lakás VII. 170 Myszoglád László lakásának a villanyórát tartalmazó szekrénye égett és a tűz már átterjedt az ajtóra is. Akkor én kijöttem a lakásból és többször csengettem a lakás ajtaján, azonban nem jött ki senki. Ekkor átszaladtam Kovács Tiboréhoz és az ő lakásukon csengettem. Ezután láttam, hogy Myszogládék is kijöttek a lakásból, valamint több lakó is jött ki és többed magammal lementünk a ház elé az udvarra, mivel attól tartottunk, hogy a gázvezetéktől a ház felrobbanhat.”
– Horváth Lászlóné (VII. / 181. | nyugdíjas)

„Amikor ajtót nyitottam Horváthnét láttam az ajtó előtt elég zilált állapotban, együttal nagy ropogást hallottam és tüzet láttam a szemben lévő 170. számú lakás Myszoglád László lakásának a folyosón lévő ún. garderob szekrények, amelyben a műszaki szerelvények vannak elhelyezve égett, valamint lakásuk ajtajának nagy része. En azonnal berohantam a szobába, férjemet felkeltettem, a kislányomat felöltöztettem és az udvarra lemenekültünk, közben férjem a szomszéd lakókat riasztotta, a tűzoltásban is részt vett, s a tüzet jelezte a BRFK Központi Ügylet felé és később a gondnoki lakásból a tűzoltókat is értesítette. [...] A tüzeset alkalmával a házban a lakók között nagy pánik keletkezett, amelyet még fokozott az a körülmény, hogy senki nem tudta megmutatni a gázfővezeték elzáró csapokat, robbanásveszélytől féltünk, tűzoltásra alkalmas eszközünk sem volt. Érzésem szerint a tűzoltók érkezéséig is hosszabb idő telt el.”
– Kovács Tiborné (VII. /180. | Első Vegyi Indusztria Szövetkezet – raktárvezető)

„1972. május 17-én a Magyar – Román válogatott mérkőzést néztem TV-n, majd utána lefeküdtünk, a TV-t kikapcsoltuk Éjjél után kb. 15-20 perccel vészkiáltásszerű hangokat hallottam. [...] A tüzeset alkalmával kisebb károkat szenvedett lakásom. Megjegyezni kívánom, hogy Márkus Mihály szomszédom vízzel lelocsolta a folyosói bejárati szekrényeket, annak köszönhető, hogy nem terjedt át a mi lakásrészükre.”
– Hangyár Gyula (X. /258. | BKV – ellenőr)

„Kinyitottam az ajtót, kinéztem, hogy mi az a ropogás és azt láttam, hogy a folyosón a beépített szerelvénysekrenek égnek és az ajtónyitáskor már a láng is becsapott az előszobába. Ezután az ajtót visszacsuktam, a gázvezetékünket a konyhában elzártam, majd vödörrel belülről az ajtót kezdtem locsolni, nejem pedig a fürdőszoba ablakát a kézi zuhanyzóval locsolta, mindaddig míg a tűzoltók meg nem érkeztek. Akkor tudtunk csak a lakásból kijönni.
– Filó Gyula (VII. /168. | Posta Központi Járműtelep – vasesztergályos)

„Feleségem is felkelt és mondta, hogy valami különös füstszagot érez. Kinyitottam az előszoba ajtót és olyan sűrű füst volt a folyosón, hogy már nem láttam semmit. Becsuktam az ajtót és vizet ronggyal elszigeteltem a hézagokat, hogy a füst ne jöjjön be és vizet készítettem el az esetleg tűzoltásra. [...] Figyelmes lettem arra, hogy az alattunk lévő emeletek irányából, egy női hang valakinek vádlóan többször egymás után mondta, hogy „gyilkos!”.
Egy férőbang válaszolta értelemszerően így: „megmondtam, hogy olyat tesztek, hogy megemlegeti mindenki!”.”
– Márkus Mihály (X. /256. | SZOT – gépkocsivezető)

A jegyzőkönyvek tartalmából kirajzolódik, hogy elsődlegesen a tűz keletkezési okainak és felelőseinek felderítésére történt a tanúvallomások felvétele, valamint, annak megállapításra, hogy okszerűen felmerül-e a szándékos gyújtogatás gyanúja?

Gyűjtogatásra utaló körülmény csak egy vallomásban szerepel és igazságügyi szakértő is megállapítja az elektromos tüzet, ennek ellenére a BRFK vizsgálatot indított. Emellett az is látható, hogy a tűzoltás apró eredményei okán késlekedtek a lakók, a jelzés leadásával.

3.1.2 Jelzés és kiérkezés közti percek

Az első jelzés leadásának idejével nagyjából megegyezően, vagyis 00.15 perckor, a tűz már olyan kiterjedt volt, hogy a VII. emeleti kiindulási helyhez képest, a VIII., IX. és X. emeleti középfolyosók is telítődtek füsttel. Ugyanez igaz, a VI. emeletre is. Az elmondások alapján arra következtethetünk, hogy azok, akik 00.15-00.20 között csupán a jajveszékelésre ébredtek fel, azok nagy eséllyel a saját lakásuk fogójává váltak, mivel az egyetlen menekülési útvonalat a mérgező, forró füst vagy maga a tűz már elvágta. A reményvesztett helyzet fokozta a lakókban a pánikérzetet. Nem segített ezen az utcán sikongató és gyakran kiugrásra bátorító bémészködők garmadája sem, akik a beszámolók alapján 2-300 főt is kitétek. Közülük többen ugróponyvát hiányoltak, míg mások a tűzoltókat próbálták irányítani, hova álljanak. A legtöbb haláleset ezekre a percekre datálható:

A kiérkezést megelőzően, az épület hátsó oldalán, a X. emelet 252-es számú lakásában három fő tartózkodott: **Tóth Gyula** (43|gépkocsivezető), felesége és nevelt lánya **Heilmann Katalin** (19|eladó). [16] A lakás elhagyását rögtönzött, ágynemű darabokból csomózott kötélen tervezték, mely egyik végét az ablakkerethez kötötték, a másik végét pedig szabadon lelogatták. [10. melléklet] Elsőre Tóth Gyula felesége ereszkedett le, akit a VIII. emeleten lakók behúztak a lakásba, később őket a tűzoltók mentették ki. Ezt követően Tóth Gyula és nevelt lánya is elindultak a hevenyészett kötélen. Az események ettől a pillanattól pontosan nem fejthetőek vissza, de három lehetséges eseménylánc merül fel: Az első alapján, a tűz elérte az ablakhoz csomózott kötelet, ami ennek következtében meggyengült és emiatt zuhantak a mélybe. A második, hogy **Tóth Gyula** és **Heilmann Katalin** egyszerre tartózkodtak a kötélen. A felül lévő megcsúszott és magával sodorta az alatta tartózkodót. A harmadik, hogy ereszkedés közben a kötélen nem bírta el kettejük súlyát és emiatt haltak szörnyet. Holttestüket a második tolólétra telepítése közben fedezték fel a tűzoltók az épület hátsó felén lévő füves területen. Több korabeli híradás is arról számol be, hogy **Tóth Gyula** és lánya „*kingrottak*” az ablakból, azonban erősen feltételezhető, hogy nem szándékosan vetették a mélybe magukat.⁴ A vizsgálatok alapján, ha a három személy a nagyszobából elzárkózik a kishálóba, csukott ajtó mellett megmenekülhetett volna.

A X. emelet 217-es számú lakásában tartózkodott a **Rolencz család**. **Rolencz Gyula** (Fővárosi Sütőipari Vállalat – kiszállító), mikor észlelte, hogy a folyosón nem tudnak menekülni, leeresztette az alattuk lévő lakásba hat és hét éves kisfiát. Ezt követte nyolcadik hónapban lévő terhes felesége, akiket mind **Almási Béla** (20|Posta Központi Járműtelep – szakmunkás) húzta be az ablakból, aki szintén 7 hónapos terhes feleségével tartózkodott a lakásba. Amíg **Rolencz Gyula** terhes feleségét eresztette le, ruhája lánggra lobbant és súlyosan megégve mászott le maga is, az alsó lakásba. Ekkora már megérkezett a segítség és **Rolencz Gyulát** kórházba szállították. [17] Testének 60%-án, másod- és harmadfokú égési sérüléseket szenvedett, mely következtében két héttel később, a kórházban elhunyt. [18] **Rolencz Gyula** felesége később egészséges kisfiút hozott a világra.

Szintén tragikussá vált a **Bálint család** menekülése is. **Bálint János**, 6 éves kislányát, **Bálint Máriát** vizes pokrócba csavarta és úgy menekült át a teljes terjedelmében lángoló folyosón. Neje, **Bálint Jánosné**, – saját nyilatkozata szerint – nem volt lelkileg elég erős, hogy kövesse őket, így ő a lakásban várta meg a segítséget, noha az előszoba már lángolt. **Bálint Jánosné** a tűzoltók az ablakon keresztül mentették ki és nem sérült meg. **Bálint Mária** tüdőgyulladást szerzett, apja viszont később a kórházban belehalt égési sérüléseibe.

⁴ Bánki Szilárd 'Pánik' c. filmjében nyilatkozó egyik személy állítása szerint, a zuhanást követően a lakásba behúzott feleség is a családtagjai után akarta vetni magát, amit a lakásban tartózkodók akadályoztak meg.

Bálint Jánosné az esetet követően így nyilatkozott:

„A férjemről meg a hatéves kislányomról csak annyi tudok, hogy kórházban vannak – mondja. Amikor a füstre meg a dübörgő tűzre ébredtünk, az uram csak annyit kiáltott: meneküljünk! Felkapta a gyereket, és kirohant. A lángokon át. Úgy éreztem akkor, hogy mindennek vége, nem volt erőm utánuk menni. Már az előszoba is lángolt, amikor az ablakon át kimentettek a tűzoltók.” [16]

A IX. emelet 228. számú lakásában **Gyenge Jánosné** (36 | dajka) és lánya **Gyenge Zsuzsanna** (5) füstmérgezésben elhunytak. Valamint a X. emelet 242. számú lakásában **Tompai Sándor** (43 | marós) szintén füstmérgezésben hunyt el. Holttesteiket az oltás folyamán ajtóról-ajtóra történő átvizsgálás során találták meg.

A IX. emelet 217. számú lakásában tartózkodó **Marek Gáborné** (48 | Országos Gumiipari Vállalat - vasesztérgályos) a VII. emeletről felszálló füstöt látva – és feltehetően a lent állók biztatására – a lakása ablakából kiugrott. Csodával határos módon, az esés következtében nem halt meg, azonban életveszélyes sérüléseket szerzett. Az eset pikantériája, hogy lakása megmenekült a tűztől és nem szenvedett érdemi károkat, így valószínűsíthető, hogy egy erős pánikreakció következtében hajtott végre tettét. **Marek Gábornéval** 10 hónappal később interjú készült. A tudósítás arról számol be, hogy ekkor már mankóval tudott járni és 64 éves édesanyja ápolta. Számos műtéten átesett, valamint lábai 5 centiméterrel megrövidültek.

A VII. emeleten, közvetlen a tűz kiindulási helyéül szolgáló lakás mellett is különös eseményeknek lehetnek szemtanúi az épület előtti báméskodók. **Pénzes Sándorné**, vejével, szülés után lábadozó lányával és mindössze 7 napos unokájával, **Balázs Bélával**, tartózkodtak a lakásba. Veje a fürdőszobából locsolta az előszoba ajtót, azonban a füst már átszivárgott és attól tartottak, hogy a csecsemő szervezetét jobban megviseli a füst, mint a felnőttekét, emiatt arra az elhatározásra jutottak, hogy megpróbálják rögtönzött kötéllel leengedni az újszülöttet:

„Béluskát a pólyával együtt beleraktam egy paplanhuzatba, azután felszabdaltam a lepedőket, a pokrócokat, az ágyhuzatokat, és végül még a függönyöket is. Kétszer vissza kellett húzni a gyereket, mert a hetedik emeleti ablakból nem ért le a „kötél” a földre. Nem is tudom, meddig kínlódtunk, míg végül a lent állók elérték a kisunokámat. — Hol van most a gyerek? — Az anyjával együtt a szomszéd házában. — Kinél? — Fogalmam sincs, még a nevüket sem tudjuk, de ők úgy viselkednek, mintha a rokonaink lennének.” [16]

Pénzes Sándornénak harmadik próbálkozásra sikerült leeresztenie unokáját a földön állókhoz és később maguk is sértetlenül kijutottak. **Balázs Béla** később önkéntes tűzoltónak állt, a főtí Aqua ÖTE-nél. 2024. szeptemberében, 52 éves korában elhunyt.

Ifjabb Lichtenberger Ferenc életmentéséről eddig mindössze egyetlen leíratot sikerült felkutatni:

„Ifj. Lichtenberger Ferenc 19 éves, 190 centiméter magas, bal szemére születése óta nem lát, szakács a Tisza étteremben. Szüleivel és öccsével az erzsébeti egyszoba-konyha lakásból 1970-ben költözött a Csertő utcába. Fürdőszoba, télen távfűtés, lakozott parketta és tapétázott falak fogadták. [...] Anyám ébresztett fel, fél egy lehetett. A nyolcadik emeleten lakom, mire kimentem, már égett a folyosó. Anyám felkapta az öcsémet és kirohant vele, még átjutottak a lángokon. Amikor leértek, megnyugodtam, tudtam mit kell tennem. Apámmal vizet engedtünk a vödörökbe és megpróbáltuk eloltani a tüzet. A folyosón már az alumínium is folyt, én mégis bírtam a hőséget. Tudja, az étterem konyhájában hozzászoktam a nagy meleghez. A füst azonban az utcai ablakhoz kényszerített. Egyszer csak látom, hogy valami kötélféle lóg az orrom előtt, majd egy emberi láb, törzs is megjelent. Nem tudom hogyan történt, elkaptam a lefelé ereszkedő ember és behúztam a szobába.

⁵ Egyes forrásokban hibásan „Marek Sándorné” -ként, de „Marek Gusztávné” -ként is szerepel.

Egy nő volt, nem ismertem, másnap mondták, hogy Tóth Gyulánénak bívták. Harmadnap dolgozni mentem. Száraz téstáért küldtek a raktárba, de én semmit nem láttam, leültem a zsákokra és sírtam...” [19]

Somogyi József (szerszámkészítő), szívbeteg felesége és 15 éves lánya a kilencedik emeleten laktak. Körmendi Zoltán, tizedik emeleti lakó, a Somogyi család régi barátja. A tüzeset éjjelén Körmendi Zoltán megkérte szomszédját, hogy öntse le egy vödör vízzel, majd Somogyiék lakása fele futott. Ott öلبe kapta Somogyinét és úgy vitte le az utcára, ezzel az egész család megmenekült. [19]

3.2 Kiérkezés a kárhelyre és tűzoltás

Az első jelzést követően, a hírközpont kiemelt riasztást hajtott végre és az alábbi szereket riasztotta:

Szer:	Kiérkezési idő:
XIV/1.	00.21
XIV/Létra	00.21
Tűzoltási Csoport	00.25
VIII./Rohamszer	00.26
X/1. ⁶	00.29

1. táblázat: Az első kiérkező egységek, a Csertő utcai kárhelyen.

Forrás: Tüzeset tanulmány melléklete. Szerk: HB.

Az első jelzést követő hetedik percben, az első egység (XIV/1.) kiérkezett a kárhelyre. A XIV/1-es fecskendő őrségparancsnok⁷ a fecskendő, az 'A' szekció melletti tűzcsapra állíttatta és alapvezetékét szereltetett a VI. emeletre. [11. melléklet] Majd a tolólétrát a 'B' szekció középvonalára állíttatta és utasította a szerkezelőt, hogy veszélyességi sorrendben kezdje meg az életmentést. Ennek során 14 lakót sikerült lehozni, az épület Rákos-patak felőli oldaláról. [12. melléklet] Az elsődleges külső felderítést követően az őrségparancsnok azt jelentette vissza, hogy a VI., VII, VIII., és IX. emeleti ablakokból is dől a füst, valamint, hogy az ablakokból emberek kiabálnak. Egyúttal III-ra emelte a riasztási fokozatot és még két tolólétrát kért a helyszínrre. [20] [13-14-15. melléklet] Utóbbi jelzést a hírközpont nem értette tisztán, így a kárhelytől alig 2-300 méterre tartózkodó, vonulás alatt lévő Tűzoltási Csoport átjelzése alapján emelte a központ a riasztási fokozatot. A Tűzoltási Csoport 00.25 perckor ért a kárhelyre, élén *Duray Ferenc* tű. főhadnaggyal, aki átvette a tűzoltás vezetését. [16. melléklet] A Hírközpont 00.25-kor nyugtázta a riasztási fokozat emelését és további szerek riasztásáról gondoskodott:

Szer:	Kiérkezési idő:
XIII/1.	00.38
XIII/2.	00.38
XIII/Létra	00.38
VIII./Generátor	00.38
VIII./Létra	00.39
IX/1.	00.39
V/1.	00.44
XIX./1.	00.46
Tiszt-h. isk. fecsk.	00.47
XI/Tömlő	00.58

2. táblázat: A 00.26-kor leadott III-as riasztás során mozgósított szerek.

Forrás: Tüzeset tanulmány melléklete. Szerk: HB.

⁶ A 'Magyar Rendőr' közlésében tévesen XV/1. fecskendő szerepel, ami feltehetően sajtóhiba. Valószínűsíthetően az elsőnek kiérkező rákospatolai mentőegységgel keverhette a szerző.

⁷ Ma szolgálatparancsnok.

A Tűzoltási Csoport kiérkezésekor már a X. emeleti ablakokból is dőlt a sűrű füst az épület mindkét oldalán. A tűzoltási csoportvezető 00.35-kor jelentette a hírközpont felé, hogy a riasztási fokozatot V-re emeli, valamint a főváros minden tolólétráját (összesen 4 db.) a helyszínrre kéri, emellett a vízművektől nyomásfokozást kért.

Szer:	Kiérkezési idő:
IV/1.	00.53
IV/2.	00.53
III/1.	00.54
III/2.	00.54
XI./Létra	00.56

3. táblázat: A 00.35-kor leadott V-ös riasztás során mozgósított szerek.

Forrás: Tűzeset tanulmány melléklete. Szerk: HB.

A tűzoltásvezető, a XIV/1-es fecskendő beosztottjaival egy-egy 'E' sugarat⁸ szereltetett a VI. és VII. emeletekre, emellett a rohamszer teljes állományát oxigénes légzőkészülékben a VIII. és IX. emeletek átvizsgálására utasította. [17. melléklet] A X/1.-es fecskendő beosztottjaival további egy 'E' sugarat szereltetett a VIII. emeletre, valamint utasította a háttérparancsnokot, hogy a baloldali lépcsőház V. és VII. emeletére, továbbá a jobboldali lépcsőház VII. és VIII. emeletére is tovább 1-1, összesen 4 osztót szereljen. A később helyszínrre érkező VIII. és XIII. tolólétrát az épület hátsó oldalára telepítette. A folyamatosan befutó szerek állományát új sugarak kiépítésére és a régóta operáló beavatkozók leváltására vezényelte.⁹ A helyszínrre felvonult nagy létszámú rendőri csapaterőt, a mentéshez is igénybe vették. Az V. emeleten a tűzoltók átadták a mentendőket a rendőrök számára, és a tűzzel nem érintett szakaszon már ők kísérték tovább őket a lépcsőházban. Az elsőként beavatkozó XIV/1-es szer első sugár sugárvezetője és segédsugárvezetője ekkorra már jelentős hőkimerülésben szenvedett. A beavatkozó állomány tagjait 15-20 percenként váltani kellett. A jelenkor tűzoltói számára meglepő lehet, hogy az akkoriban alkalmazott bevetési védőkabátok (ún. csőkabátok) valójában nem a hő elleni védelmet, mint inkább a vízlepergetést szolgálták. Emiatt alakult ki a szakzsargonban az a mondás, hogy a csőkabát „télien hideg, nyáron meleg”. Ugyanezen okból páraelvezetésről sem beszélhetünk, így a hőkimerülés lehetősége könnyebben fennállt akkoriban, azt ezt viselő tűzoltók körében:

„Egységeink nem rendelkeznek megfelelő hő és lángvédő ruhákkal.

Ennek hiányában a bajbajutottak mentése az elvárható kockázatnál súlyosabb vállalására készítette az állományt, és több esetben a tűzoltók sérülését váltotta ki.” [10] [18. melléklet]

1.00-kor a VI. emeletről további szintekre lehúzóadás lehetőségét sikerült meggátolni, ahogy az összes folyosón a tűz lefeketítésre került. A tűzoltásvezető 1.24-kor tett helyzetjelentése szerint már csak a X. emeleten folyik még a lakásban rekedt személyek mentése és minden sugár a lakásokon belül operál. [19. melléklet] A tüzet 1.34-kor sikerült teljesen lefeketíteni. A tűz eloltását 1.47-kor jelentették, míg az utómunkálatokkal 4.20-ra végeztek. A csúcsponton 5 alapvezeték, 14 'E' és egy létrasugár üzemelt. 13 gépjárműfecskendő és 7 különleges szer (4 létra, 1 tömlő, 1 generátor, 1 TCS) vonult fel a kárhelyen, összesen 118 főnyi beavatkozóval. A beavatkozók közül két fő megsérült, egyikőjük a szemén, másik enyhe füstmérgezést szenvedett.¹⁰

⁸ A korabeli szakirodalom két tömlőméretet különböztetett meg: 'M' vagyis *motoros* tömlő (mai 'B' méret), valamint 'E' vagyis *egységes* tömlő (mai 'C' méret).

⁹ Az osztók és sugarak pontos helyét és elosztását a tűzeset tanulmány, valamint a 19. sz. melléklet tartalmazza.

¹⁰ Ez idő tájt jellemzően még oxigénes légzőkészülékek voltak rendszerben, melyek cseréje hosszabb időt vett igénybe, mint manapság egy sűrített levegős palackcsere. Emellett a légzőviselési-fegyelem sem volt annyira szigorúan kötött, így gyakori módszer volt a lélegzet-visszatartással való behatolás, füsttel érintett területekre.

Az épületből a lépcsőházon keresztül 120 főt, míg a gépezetes tolólétrakon keresztül 25 főt, azaz összesen 145 főt sikerült tűzoltói támogatással kimenteni. A tüzeset során 7 fő meghalt¹¹ (5 fő a helyszínen, 2 fő a kórházban), valamint 1 fő súlyos (kiugrott) sérülést és 38 fő enyhe füstmérgezést szenvedett. A tűzzel érintett lakásokban rekedtek közül legtöbben úgy vészelték át az ott tartózkodást, hogy a folyosótól legtávolabbi kis helyiségben várták meg a segítséget.

3.3 Nehezítő körülmények

A tűzzel érintett épület építését, a tüzeset idejétől számítva két évvel korábban kezdték el. A műutak a legtöbb helyen a lakótelepen kiépítettek voltak, ellenben a nagyvolumenű építkezés miatt sít és építőanyagok egyaránt nagy mennyiségben voltak jelen a közlekedési utak mentén.

Az utcanevek nem voltak megfelelően feltüntetve, és magukat az épületeket is jellemzően a lakótelepen belül használt kódolás (K-2/14.) szerint nevesítették. A tűzoltóknak a területről helyismerete nem volt, valamint – a később részletezettek értelmében – bejárásra sem invitálták meg a tűzoltóság képviselőit a használatbavétel előtt, ahogy a tervekről sem történt egyeztetés. Felvonulási utat, az épület előtti parkoló és az épület mögött lévő füves terület biztosított. Noha az eset idején, a parkolóban nagyszámú gépjármű parkolt. A tűzcsapok földalatti kialakításúak voltak, melyek jelölését táblákkal pongyolán látták el és azok hollétéről a lakók sem tudtak tájékoztatást adni, valamint a gaz is benőtte őket. A tűzoltóságnak első ízben kellett beavatkoznia, ekkora volumenű panelrendszerű lakástűznél, vagyis erre vonatkozóan bejártott tűzoltás-taktikai fogások még nem álltak rendelkezésre. Emellett a Parisi Nagyáruház 1903-as tüze óta nem volt szükség karhatalmi csapaterő (közel 100 fő) felvonultatására, a kárterület kontroll alatt tartásához. A lakásokban rekedtekkel való kapcsolatfelvételle, tanácsokkal való ellátásukra és lecsillapításukra hasznos eszköz lehetett volna a rendőrségi hangosbeszélő, mivel, ha valaki kiugrik, félő volt, hogy tömegesen követik. Ez azonban már csak azt követően érkezett a helyszínre, amikor már nem volt rá szükség.

A beszámolókból kiderül, hogy a főváros összes magasból mentője leriasztásra került a kárhelyre. 2 – 2 az épület frontján és hátán. Azonban ezek műszaki állapota akkor már igencsak leromlott volt. *Ficsor Sándor* ezredes, fővárosi tűzoltóparancsnok, 1974. októberében, a Fővárosi Tanács VB. előtt tett beszámolójából az alábbi számok rajzolódnak ki: [10]

Megnevezés:	Meglévő:	Műszaki és készenléti érték százalékban:
Gépezetes tolólétra (30 méteres)	1 db	85%-os
Gépezetes tolólétra (44 méteres)	5 db	2 db 20%-os, 3 db 50-85%-os

4. táblázat: Kivonat a fővárosi készenléti szerek szerállományából.
Forrás: [10]. Szerk: HB.

A két évvel későbbi beszámolóban már kettővel több magasból mentő olvasható, de minden bizonnyal a káresemény során használtak is szerepelnek ebben az összeállításban.

¹¹ A szövegben félkövérrel kiemelt.

A létraszerek meghibásodásait a báméskodók teketóriázásnak értékelték, melynek mindmáig ható vonzata, hogy a közbeszédben máig él az a városi legenda, mely szerint „a tűzoltók a létrákkal nem értek fel elég magasra”. Utóbbit azonban a megmentett személyek száma nyilvánvalóan cáfolja, hiszen egyaránt hoztak le személyeket a tizedik emeletről is. Noha a megbízhatósági kérdés és ezzel a meghibásodások aránya, jelentős idővesztéséget eredményezett. Mindezen körülmények ellenére a kiérkezés után már halálesetre vagy kiugrásra nem került sor. A tűzeseti tanulmány nem említ semmilyen műszaki meghibásodást a magasból mentők körül; sőt, kifejezetten kitért, hogy arra, hogy a létraszerek megfelelően működtek. Azonban *Ficsor Sándor* későbbi Tanács VB. előtt tett – nem nyilvános – beszámolója egyértelműen cáfolja ezt az állítást:

„A főváros tűzoltóságának meglévő technikai felszereltsége nem kielégítő. egyes vonatkozásokban kritikus. Legalább egy évtizedes elmaradásban van a Főváros gyorsütemű fejlődésétől. [...] Például: gépjárműfecskeendők száma 14-18 éve üzemel, készletléti értékük 20-40 %-os. Az 1973-ban kapott új típusú TŰ-1 fecskendők gyártási pontatlanságok miatt igen gyakran meghibásodnak. A meglévő 6 db gépezetes tolólétránkból 2 db már 25 éve van használatban. [...] Egyre nagyobb követelményeket állít a főváros fejlődése a Tűzoltóság elé. Lehetetlen állapot, hogy a középmagas, magas és toronyházakat sorozatban építjük új technológiával, ugyanakkor nem felelnek meg a tűzvédelem követelményeinek olyan módon, hogy az megnyugtató lenne. Kritikus helyzet volt a Csertő-utcai tűzesetnél. Hét ember halt meg, 9 millió kár keletkezett, 24 lakás égett ki. 2 db. létra teljes bizonytalanságban működött. Hogy mégis 25 embert az utolsó pillanatokban ki tudunk menteni a biztos tűzhalálból és nem 32 ember halt meg, főleg az ott lévő 4 létrából a két kifogástalannak volt köszönhető.” [10]

A beavatkozás hatékonyságát és jólszervezettségét igazolja az a tény is, hogy az 1.15-kor helyszínre érkezett *Ficsor Sándor* budapesti tűzoltóparancsnok, a tűzoltás vezetését nem vette át.

A tűzeset tanulmány lehetőségként felveti hasonló esetekre a helikopteres mentés lehetőségét. Utóbbi azonban csak teoretikai lehetőségként merül fel, mivel a korabeli technika ekkor még nem állt készen ilyen képesség alkalmazására. A helikopterek alkalmazása legközelebb 1990-ben tért vissza, a Nagyváradi téri SOTE épületén tartott gyakorlaton. [20. melléklet] Emellett a Rákos-patak mentén futó magasfeszültségű távvezeték tartó oszlopok, már akkor is ott álltak, mint kivilágítatlan nehezítő körülmény. Ugyanakkor fejlesztési lehetőségként megjelöli olyan létraszerek beszerzését is, amelyekkel egyidejűleg egynél több személy lehozatala is kivitelezhető. A később rendszeresített IFA W50 DL30-as tolólétrák még szintén nem voltak alkalmasak egyidejűleg több személy mentésére. [21] Azonban meg kell említenünk, hogy ez csak szabadon álló létra esetén igaz, ugyanis támasztólétra esetén a korábbi modellek is alkalmasak voltak több személy egyidejű mozgatására. Emellett, mivel a legtöbb mentendő külön lakásokban volt jelen, ez nem volt járható út, és a folyamatos újra letalálás jelentős idővesztéssel járt volna.

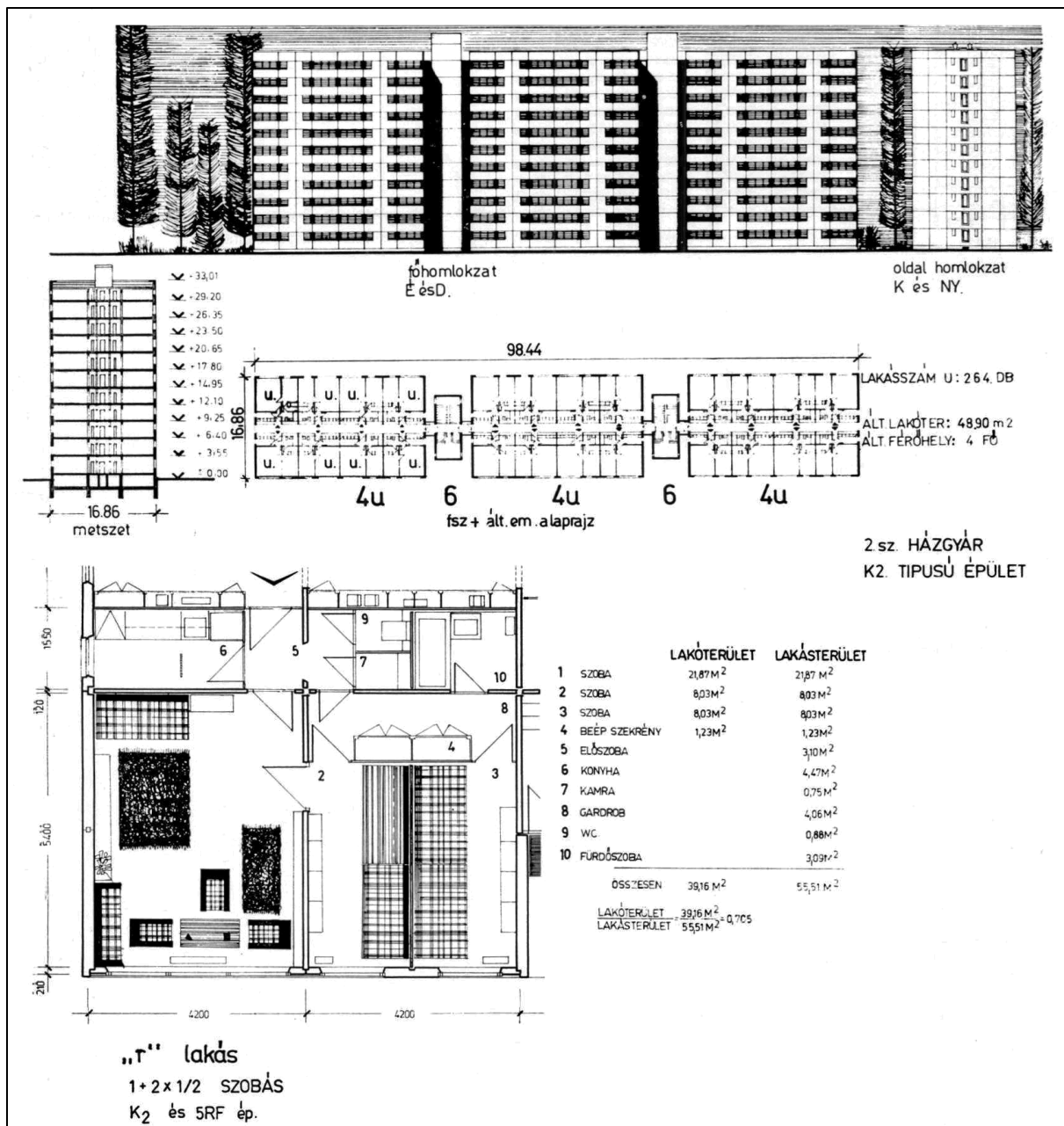
4. ÖSSZEGZÉS

Annak ellenére, hogy az eset éjfél után történt, a beszámolók alapján, még a szomszédos XVI. kerületből is számos báméskodó ment a helyszínre szörnyülködni. Noha a szomszédos kerületben telefon ekkor még csak alig néhány házban volt, az eset híre az éjszaka közepén is szájról-szájra terjedt. Ennek okán a sajtóvisszhang is igen jelentőssé vált. A tűzoltók hivatásukhoz mérten jól helytálltak, azonban a lakók, egyes esetekben még kifejezetten hátráltatták is az eredményes beavatkozást. Az új építési technológia kihívást jelentett, mind a menekülők, mind a beavatkozók részére. Sem az alkalmazott felszerelés, sem a technika, sem a helyismeret nem volt naprakész, az áldozatok száma mégse nőtt, a kiérkezést követően. A tűz kialakulása műszaki hibára vezethető vissza, noha az épület jelenlegi lakói közül még ma is sokan a gyújtogatás mellett érvelnek. A tűz terjedése azonban tervezési és technológiai hibák sorozatának következménye. A következő részben, a tűz megelőzési szempontokat és a beépítés során alkalmazott anyagok tűzterjedésre gyakorolt hatását vizsgáljuk. Harmadik részben, a jelenkori viszonyokat állítjuk kontrasztba, a korabeli állapotokkal.

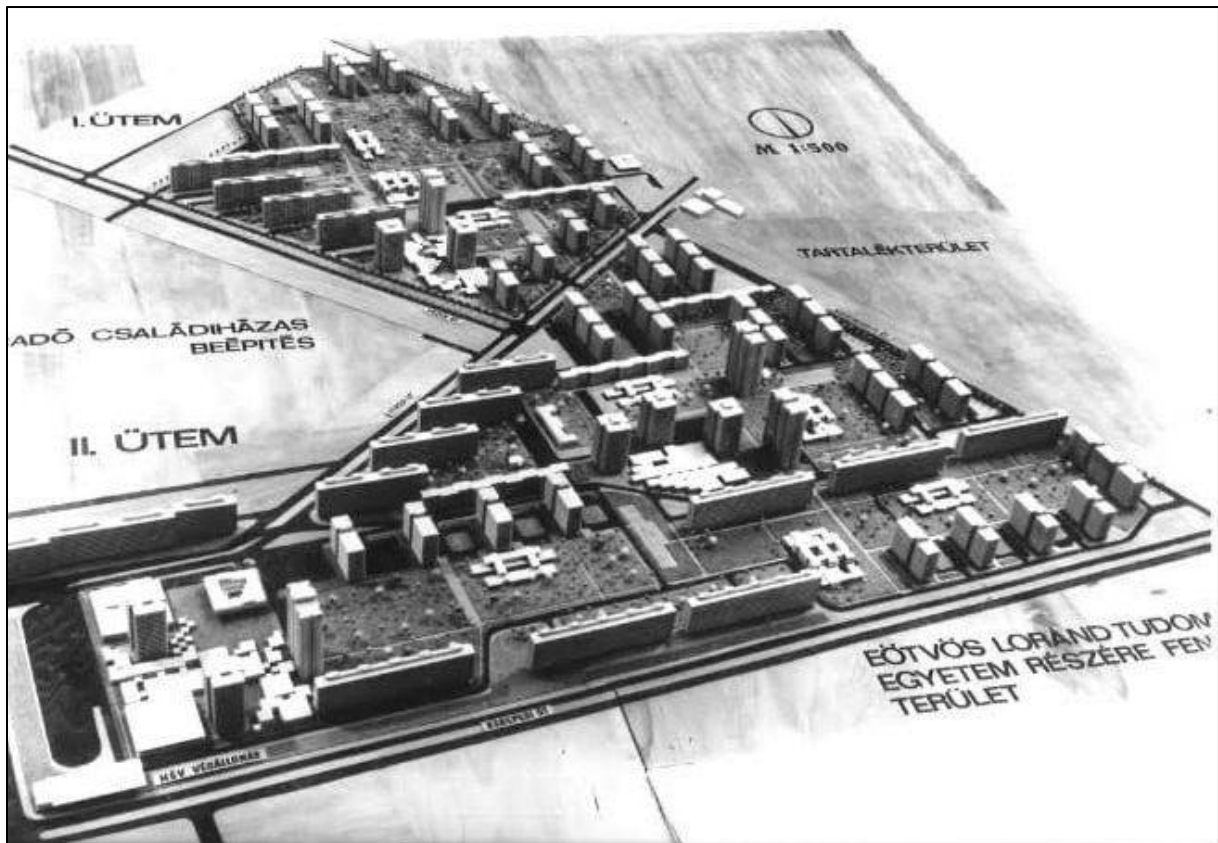
5. MELLÉKLETEK



1. melléklet: Rákosfalva a szanálás előtt 1967-ben (fent) és a megépült Füredi úti lakótelep 1990-ben (lent). Nyíllal jelölve, a káreseményben érintett, Csertő utca 12-14. sz. épület.
Forrás: Fentrol.hu (szelvénytűszámok: 1967_0041_0035; 1990_0152_3046).



2. melléklet: K-2 típusjelű épület tervrajza, benne egy 1 + 2 x 1/2 szobás lakás alaprajza. Jól látható a lakás előtti szerelvény szekrény, ahol a konyha és fürdőszoba szellőzése közös felszállócsövön történt. Forrás: [7]



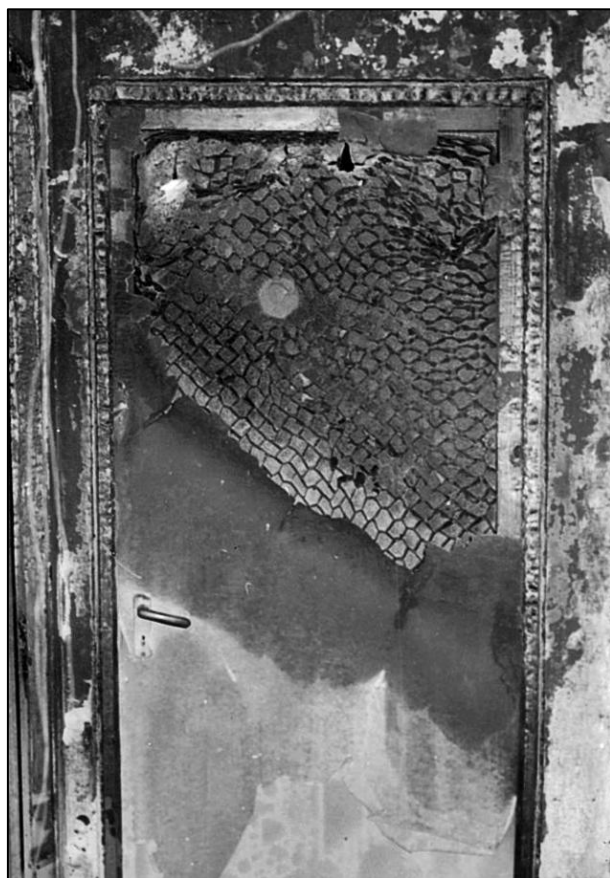
3. melléklet: A Füredi úti lakótelep makettje, fent az I. ütemmel.
 Forrás: <https://forum.index.hu/Article/viewArticle?a=165509522&t=9008373>
 (2026.0622.)



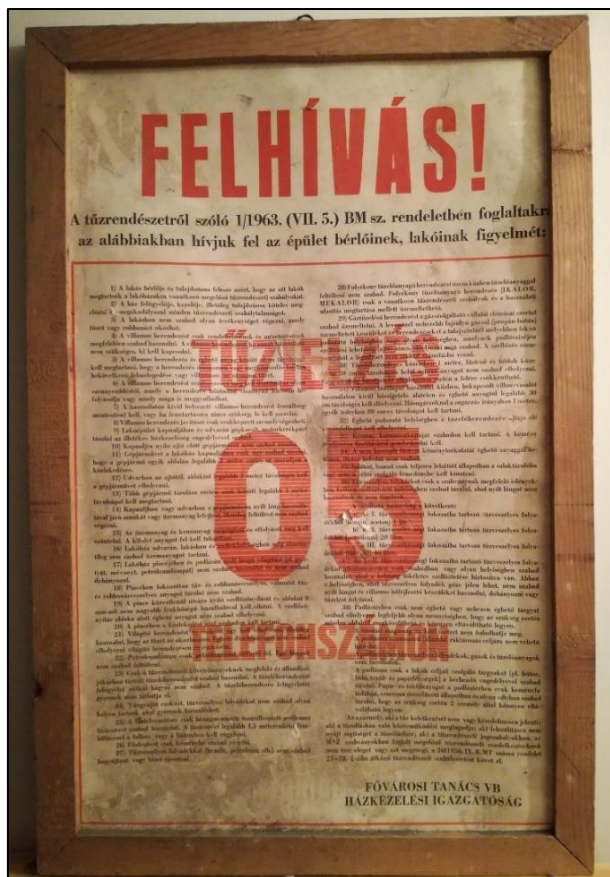
4. melléklet: Az Újváros park 4-5. sz. épület, tőle jobbra a Csertő utca 12-14. számú, megegyező 'K-2'-es típusjelű épület, a Rákos-patak felől nézve, 1971-ben.
 Forrás: FŐFOTÓ: <https://fortepan.hu/hu/photos/?id=215343> (2026.0622.)



5. melléklet: Linóleum borítású padló és műfa szekrényajtók, egy pesterzsébeti panelház középfolysóján. Forrás: Hózer Benjámín felvétele.



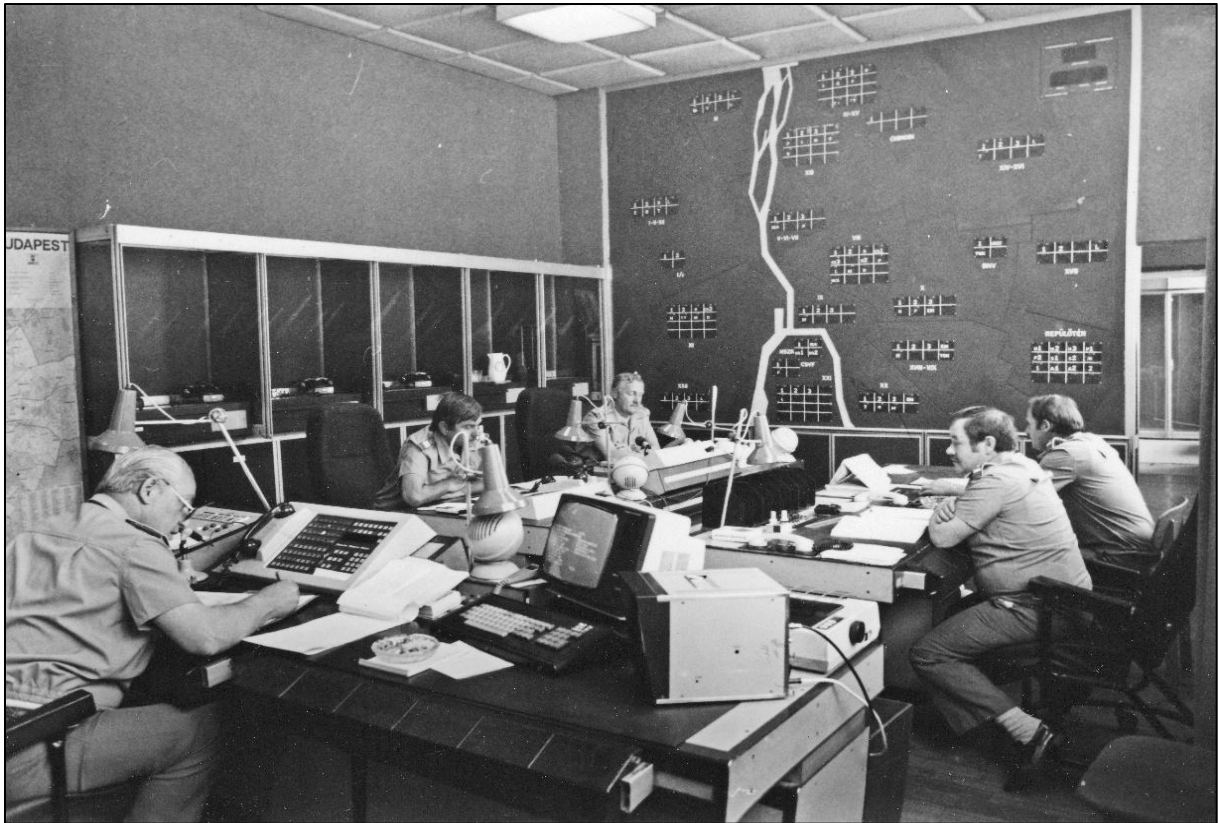
6. melléklet: A IX. emelet, 218-as lakás nagyszobájának műfa bejárati ajtaja. Az ajtó épp csak annyira károsodott, hogy a helyiségbe nem jutott át a tűz.
Forrás: Tűzeset tanulmány melléklete.



7. melléklet: Kasírozott tűzrendészeti felhívás, fakeretben.
 Forrás: Hózer Benjámín gyűjteménye



8. melléklet: Kovács Tibor szemléli kiégett lakását. Később új lakást és az Állami Biztosítótól kártérítést kapott, mivel minden berendezési tárgya elégett.
 Forrás: Rendőrmúzeum (Magyar Rendőr fotóarchívuma)



9. melléklet: A Fővárosi Hírközpont irodája.
Forrás: Hózer Benjámin gyűjteménye.



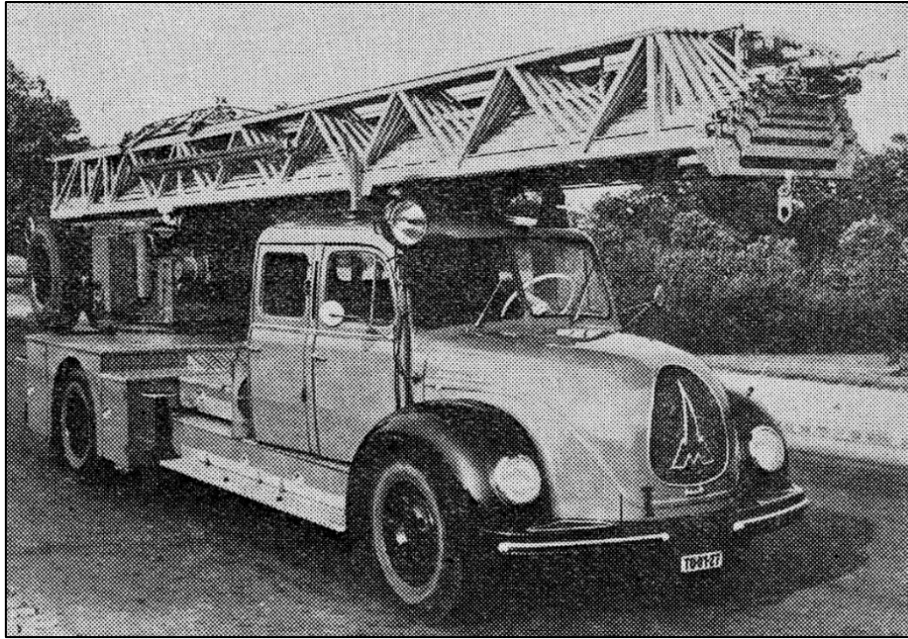
10. melléklet: A megégett lepedő-kötél csomója az ablakkereten.
Forrás: Katasztrófavédelem Központi Múzeumfa – Fotótár



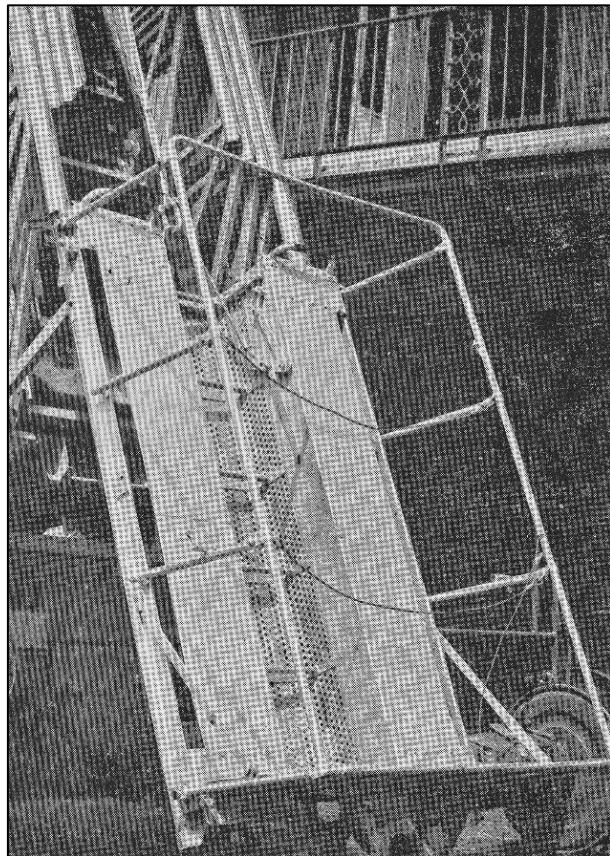
11. melléklet: Csepel D-420 típusú gépjárműfecskendő.
Forrás: Bélteczky József gyűjteménye.



12. melléklet: A tűzzel érintett 'B'-szekció kormos ablakai, a Rákos-patak felől nézve.
Forrás: Katasztrófavédelem Központi Múzeumfa – Fotótár



13. melléklet: Magirus Deutz DL 44 h típusú magasból mentőszer (gépezetes tolólétra), mely 44 méteres munkamagassággal, rögzített vízgyúval és szállítókasal is rendelkezik.
Forrás: Alapfokú tűzoltó műszaki ismeretek (1971) pp. 113.



14. melléklet: A Magirus DL 44 h típusú gépezetes tolólétra szállítóka.
A szállítókas a létra szabadállításában egy fővel, feltámasztott állásában két fővel terhelhető.
Forrás: Különleges tűzoltó gépjárművek (1977) pp. 207.



15. melléklet: A XIII. kerületi Tűzrendészeti alosztály MÁVAG-METZ típusú, 45 méteres munkamagasságú gépezetes tolólétrája. Utólag színezett felvétel.
Forrás és szerkesztés: Hózer Benjámín.



16. melléklet: A Tűzoltási Csoport Volga gyártmányú, URH rádióval szerelt járműve.
Forrás: Különleges tűzoltó gépjárművek (1977) pp. 246.

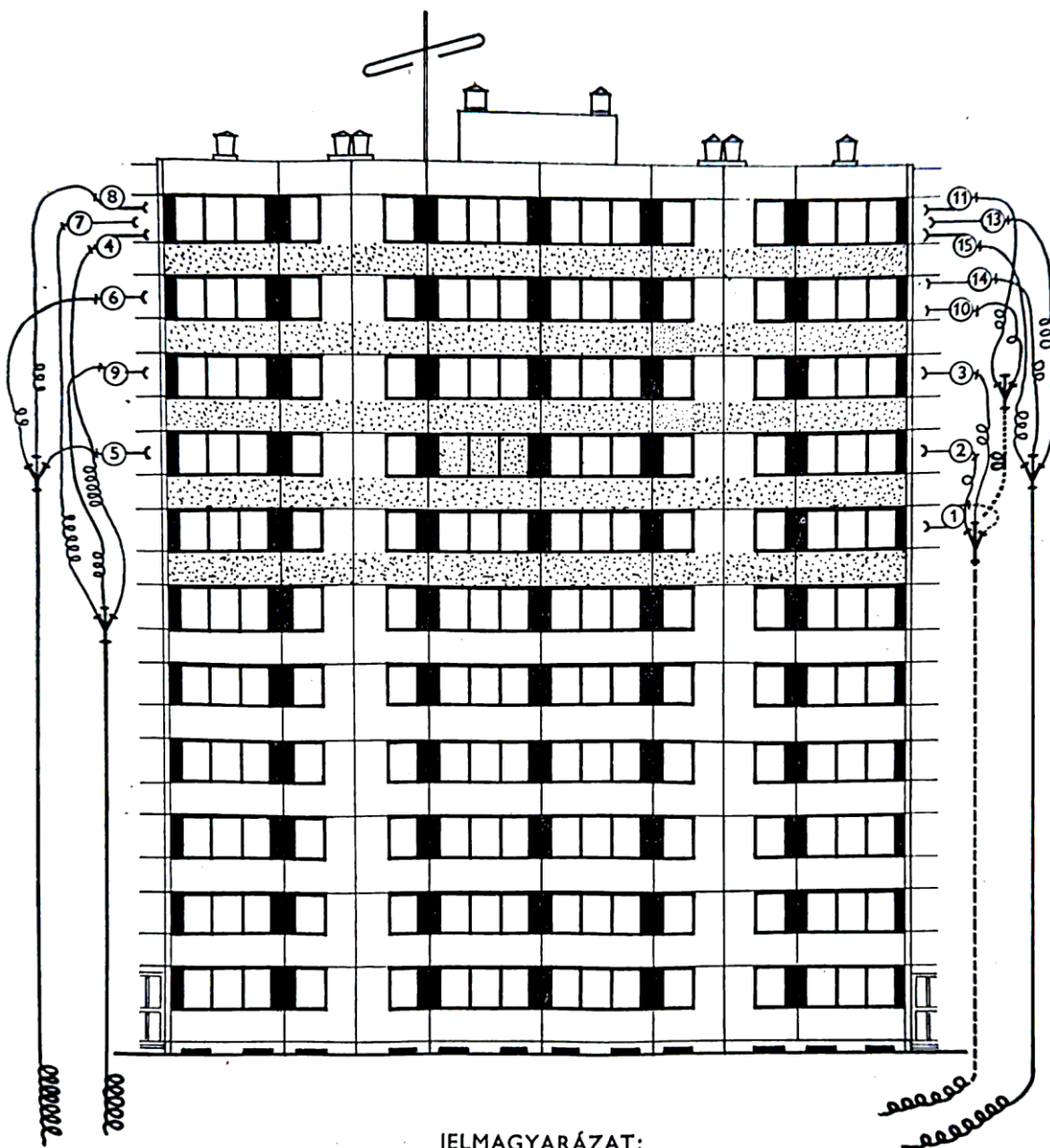


17. melléklet: Tűzoltók zárt rendszerű oxigénes (önmentő) légzőkészülékben.
Forrás: Bélteczky József gyűjteménye.








18. melléklet: Tűzoltók gyakorlat előtti eligazításon, csőkabátban.
Forrás: Bélteczky József gyűjteménye.

A vízsugarak szerelési vázlatja



JELMAGYARÁZAT:

- | | | | |
|---|---|--|--|
|  | parancsnoki gj. = ill. harcálláspont |  | támadás fő iránya. (főcsapás iránya) |
|  | gépezetes tolólétra.
44-es szám az elérhető magasság |  | K.150. földalatti tűzcsap. K = körkörös |
|  | tömlőszállító gj.
T.84 a tömlők számát jelzi |  | 150 = a vezeték átmérőjét jelzi |
|  | gépjárműfecskenő.
12. sz. az 1200 vízszállítást jelent
15. sz. a szivattyú teljesítményét jelzi |  | osztó
alapvezeték, a hurkok száma
az emeletek szintjét jelzi |
|  | áramfejlesztő gj. |  | tűz terjedési iránya |
| | |  | tűz alatt lévő rész |
| | |  | beépített forgalmazó rádió |

19. melléklet: Sugarak szerelési vázlatja.

Forrás: Egy tragikus kimenetelű lakóháztűz életmentési és oltási munkálatai (1972) pp. 79.



20. melléklet: A SOTE épületén a középmagas és magas házak oltási, mentési munkálatait gyakorolták a tűzoltók. Rózsahegyi Tibor / MTI Nemzeti Fotótár

Forrás: <https://index.hu/kultur/multkep/2022/03/23/nemzeti-fototar-tuzoltosag-onkentes-tuzolto-helikopter-sote/> (2026.0622.)


6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Fabó B. „A külső kerületek Nagy-Budapest városépítési elképzeléseiben” (2002) *Budapest, Tanulmányok Budapest Múltjából 30. – Az ötven éves Nagy-Budapest – előzmények és megvalósulás* ISBN 963-9340-16-2. pp. 163. [Online] Elérhetőség: https://library.hungaricana.hu/hu/view/ORSZ_BPTM_TBM_30/?pg=164&layout=s (2026.0622.)
- [2] Sarlós I. „Budapest 1966-1970” (1966) *Budapest, A Főváros folyóirata* 4. (3) pp. 4. [Online] Elérhetőség: https://adt.arcanum.com/hu/view/Budapest_1966/?pg=108&layout=s (2026.0622.)
- [3] 1970. évi II. törvény, a népgazdaság negyedik ötéves tervéről. [Online] Elérhetőség: https://jogkodex.hu/jsz/1970_2_torveny_7332452 (2026.0622.)
- [4] Barkovits I. „Lakótelepek futószalagon” (1970) *Néphadsereg*, 23. (22) pp. 9. [Online] Elérhetőség: https://adt.arcanum.com/hu/view/Nephadsereg_1970_01-06/?pg=362&layout=s (2026.0622.)
- [5] Mester Á. „Új Városrész Születik - A zuglói lakótelep részletes rendezési terve” (1966) *Budapest, A Főváros folyóirata*, 4. (3) pp. 28. [Online] Elérhetőség: https://adt.arcanum.com/hu/view/Budapest_1966/?pg=132&layout=s (2026.0622.)
- [6] Millisits M. „Zugló 85 éves lett – Villák, paloták, lakótelepek városrésze” (2020) *Pestbuda.hu blog* [Online] Elérhetőség: https://pestbuda.hu/cikk/20201009_zuglo_85_eves lett_villak_palotak_lakotelepek_varosresze (2026.0622.)
- [7] Kisvárosi J. „25 éve az állami építőiparban a 100 éves Budapestért 1948 – 1973” (1973) *Budapest, 43. sz. ÁÉV*, pp. 67. [Online] Elérhetőség: https://adt.arcanum.com/hu/view/Gyartortenet_0111/?pg=70&layout=s (2026.0622.)
- [8] Ráday M. „Budapest teljes utcanévlexikona” (2003) *Budapest, Sprinter kiadó, ISBN 963-9469-06-8* pp. 134. [Online] Elérhetőség: https://adt.arcanum.com/hu/view/BudapestKonyvek_047/?pg=134&layout=s (2026.0622.)
- [9] Légrády E. „Emberek a Csertő utcából” (1973) *Népszava* 101. (60) pp. 3. [Online] Elérhetőség: https://adt.arcanum.com/hu/view/Nepszava_1973_03/?pg=114&layout=s (2026.0622.)
- [10] Ficsor S. „Jelentés a főváros tűzvédelmi helyzetéről és a tűzoltóság tevékenységéről” (1974) *Budapest Főváros Tanácsának Végrehajtó Bizottsága üléseinek jegyzőkönyvei, (HU BFL XXIII.102.a.1)* [Online] Elérhetőség: https://library.hungaricana.hu/hu/view/HU_BFL_XXIII_102_a_1_1974-10-30/?pg=495&layout=s (2026.0622.)
- [11] Sípos B. „Néhány gondolat az első 15 éves lakásépítési program (1961–1975) megvalósításával kapcsolatban” (2015) *Pécs, Kerényi Károly Szakkollégium – Annona Nova VII.* pp. 76. [Online] Elérhetőség: <https://journals.lib.pte.hu/index.php/annonanova/article/view/7187/6780> (2026.0622.)

- [12] Erden-Vörös E. „A Cserepesház - Zuglói Művelődési Ház és tagintézményeinek története” (2010) *Budapesti Művelődési Központ – A közművelődés házai Budapesten* 6. pp. 40. [Online] Elérhetőség: https://adt.arcanum.com/hu/view/BMKKozmuvelodesHazaiBudapesten_SleziaGabriella_06/?pg=41&layout=s (2026.0622.)
- [13] Tűzeset tanulmány. Budapesti Tűzoltóparancsnokság, Szám: 1015/1972. Elérhetőség: Katasztrófavédelem Központi Múzeuma gyűjteménye.
- [14] Dr. Tóth T. „Közös erővel” (1972) *Magyar Rendőr* 26. (27) pp. 5. [Online] Elérhetőség: https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarRendor_1972_2/?pg=4&layout=s (2026.0622.)
- [15] B. Ö., M. T. „Társadalmi összefogással segítik a károsultakat” (1972) *Népszava* 100. (116) pp. 16. [Online] Elérhetőség: https://adt.arcanum.com/hu/view/Nepszava_1972_05/?pg=163&layout=s (2026.0622.)
- [16] Medveczky L. „Öten meghaltak, 38-an megsebesültek” (1972) *Népszabadság* 30. (116) pp. 9. [Online] Elérhetőség: https://adt.arcanum.com/hu/view/Nepszabadsag_1972_05/?pg=200&layout=s (2026.0622.)
- [17] P. S. „Az életmentő” (1972) *Postás dolgozó* 17. (8) pp. 5. [Online] Elérhetőség: https://adt.arcanum.com/hu/view/PostasDolgozo_1972/?pg=64&layout=s (2026.0622.)
- [18] Szűcs G. „Ma délelőtti jelentés a zuglói tűz sérültjeiről” (1972) *Esti Hírlap* 17. (116) pp. 12. [Online] Elérhetőség: https://adt.arcanum.com/hu/view/EstiHirlap_1972_05/?pg=149&layout=s (2026.0622.)
- [19] Hargitai P. „Három fiú a Csertő utcából” (1972) *Népszava* 100. (142) pp. 2. [Online] Elérhetőség: https://adt.arcanum.com/hu/view/Nepszava_1972_06/?pg=165&layout=s (2026.0622.)
- [20] Gádor „Lakóháztűz a Csertő utcában” (1972) *Tűzvédelem* 34. (6) pp. 20-21. [Online] Elérhetőség: https://mandadb.hu/tetel/560989/Tuzvedelem_1972 (2026.0622.)
- [21] Nemezc P. „Magasból Mentő Gépjárművek I. – Létrás gépjárművek” (2003) BM-KOK pp. 31. [Online] Elérhetőség: https://tuzoltoinfo.hu/wp-content/uploads/2019/03/Letra-jegyzet_Petya.pdf (2026.0622.)
- [22] Duray F., Mátyás J. „Egy tragikus kimenetelű lakóháztűz életmentési és oltási munkálatai” (1972) *Belügyi Szemle* 10. (8) pp.79.

Az automatizált parkolási rendszerrel felszerelt gépjárműtárolók tűzoltási sajátosságai

Firefighting features of parking lots equipped with automated parking systems

Kalocsa Mórió tű. hadnagy
rajparancsnok
Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság
VIII. Kerületi Hivatásos Tűzoltó-parancsnokság
Email: kalocsa.mario.office@freemail.com
ORCID: 0009-0003-5859-0840 

Absztrakt:

A cikk célja, hogy átfogó képet adjon az automata parkolási rendszerek fejlődéséről és különböző változatairól. Bemutatja az ilyen rendszerek kialakulásának hátterét, működési elveit, valamint elterjedésük okait a modern városi környezetben. A dolgozat ismerteti az automata parkolási megoldások legfontosabb előnyeit és hátrányait, különös tekintettel a helytakarékosagra, a működtetésre és a biztonsági kérdésekre. Emellett kitér a tűzoltók számára jelentkező lehetséges veszélyforrásokra is, amelyek egy ilyen létesítményben beavatkozás során felmerülhetnek. A tanulmány célja továbbá, hogy ezekre a kockázatokra lehetséges megoldásokat és megelőző intézkedéseket is bemutasson, elősegítve ezzel a hatékonyabb és biztonságosabb tűzoltói beavatkozást.

Kulcsszavak: automata parkolás, parkolóház, robotika, helytakarékoság, FIREBOX

Abstract:

The aim of the article is to give a comprehensive overview of the development and various versions of automated parking systems. It presents the background and operating principles of these systems. The article also explains why such systems are spreading in modern urban environments. The thesis describes key advantages and disadvantages, focusing on space-saving, operational, and safety issues. It also addresses potential dangers to firefighters during interventions in these facilities. The study presents possible solutions and preventive measures to reduce these risks. This aims to make firefighting interventions more efficient and safer.

Keywords: automatic parking, parking garage, robotics, space saving, FIREBOX

1. BEVEZETÉS

A globális szinten lezajló demográfiai, mobilitási és technikai folyamatok hazánkban is jól megfigyelhetők. A városokban tapasztalható lakhatási és munkavállalási kínálat széles spektruma sok esetben vonzó az emberek számára, ezért a nagyobb települések lakosságának száma folyamatos gyarapodást mutat. A mobilitás növekedésével egyre többen vesznek részt a közúti közlekedésben, amely jelentős része továbbra is személygépjárművekkel történik. Az épített környezet zsúfoltsága miatt a rendelkezésre álló parkolási területek korlátozottak, viszont a közúti járművek számában folyamatos növekedés tapasztalható. Ennek kiküszöbölése érdekében az új társasházak, irodák és bevásárló központok többszintes mélygarázsokkal növelik a parkolási területeket. Idővel ezek az újonnan létrehozott terek is kevésnek bizonyultak, az építész és gépész szakma folyamatosan törekedik a minél optimálisabb helykihasználásra. A már régóta létező teherliftek elvén megalkotásra kerültek az autóliftek, amelyek segítségével lehetőség nyílt rámpák nélkül a kívánt helyre lejuttatni a gépjárműveket. Az automatika térhódítását követően pedig a rendszer automatizálódott, vagyis megjelentek az automataparkolási rendszerekkel felszerelt parkolóházak. Ezen rendszerek a már megszokott mélygarázsoktól jelentősen eltérnek, mint a parkolási tér megközelíthetőségét, az épületszerkezet kialakítását, valamint a beépített gépi berendezéseket figyelembe véve. Hazánkban egyelőre nem fordulnak elő nagy számban hasonló létesítmények, de nehéz előre megjósolni e műszaki megoldás térhódítását. Budapest belvárosában számos automatizált parkolóházzal találkozhatunk a beavatkozásaink során, ezért fontosnak tartom a téma tűzoltói szemmel való áttekintését.

2. AZ AUTOMATIZÁLT PARKOLÁSI RENDSZEREK TÖRTÉNETI FEJLŐDÉSE

A parkolást segítő rendszerek megjelenése az Egyesült Államokhoz köthető, ahol a járművek mozgását teherliftek alkalmazásával vezették be az első világháború időszakában. A technológia fejlődését jól jelzi, hogy az 1920-30-as években számos kapcsolódó szabadalmat jegyeztek be. A rendszerek tényleges, szélesebb körű telepítése azonban csak az 1940-es évek végén kezdődött meg.

Ez arra vezethető vissza, hogy a háború után a gazdasági újjáépítés és a vele járó urbanizáció felgyorsult. Az Egyesült Államokban a gazdasági növekedés, a városi infrastruktúra fejlesztése és az autóhasználat növekedése kedvező feltételeket teremtett az új technológiai megoldások bevezetésére. A haditechnikai termelés leállt, a polgári autógyártás gyorsan újraindult, és a személygépkocsik száma jelentősen emelkedett. Ez fokozta a városi parkolóhelyek iránti igényt, ami ösztönözte az olyan innovatív megoldások alkalmazását.

A korai rendszerekről általánosságban elmondható, hogy jellemzően függőleges liftmodulokból álltak, amelyek a járműveket egy adott szintre szállították, ahol azokat kezelőszemélyzet segítségével helyezték el. Az ilyen típusú gépesített megoldásokat még a magyar szakirodalom is az angol „silopark” elnevezés után „autósiklóknak” hívta [2]. A létesítmények képessége a kisebbnek mondható 100 férőhelytől akár a nagynak számító 600 parkolóhelyig terjedt. A korai parkolórendszerek közös jellemzője volt, hogy a hagyományos parkológarázsokhoz képest lényegesen kisebb alapterületet igényeltek, ezáltal hatékonyabb területkihasználást tettek lehetővé. Az ötlet az amerikai földrésztől elszakadva kezdte meghódítani Európát és Ázsiát, ahol további fejlesztéseken és alakításokon estek át az egyes rendszertípusok. Az utóbbi évtizedekben azonban – különösen a nagyvárosi központokban jelentkező parkolóhelyhiány következtében – ismét növekvő érdeklődés mutatkozott az automatizált parkolási rendszerek iránt.



1. kép A félig automatizált parkolóházak a kezdeti évtizedekben (bal oldal: Chicago 1936; jobb oldalt: Párizs 1930-as évek) [1]

A korszerű, számítógép-vezérelt megoldások a korábban kidolgozott mechanikus alapelveket ötvözik fejlett vezérlőrendszerekkel, ezáltal nagyobb működési sebességet, megbízhatóságot és biztonságot biztosítanak. A piaci érdeklődés növekedésével párhuzamosan számos európai és ázsiai gyártó jelent meg az amerikai piacon, ahol képviselőket és irodákat hoztak létre. Emellett több amerikai vállalat is bekapcsolódott az automatizált parkolási rendszerek fejlesztésébe és forgalmazásába, tovább erősítve a technológia iránti piaci érdeklődést. A rendszergyártók és forgalmazók között ma már számos nemzetközi vállalat található, és az automatizált parkolórendszerekhez kapcsolódó projektek jelentős része jelenleg is tervezési vagy előkészítési szakaszban van. [3]

3. VÁLTOZATOK ÉS RENDSZERELEMEK

A világon számos különböző kialakítású és működési elvű parkolási rendszer létezik. Ezek teljes körű bemutatása nem lehetséges, mivel a technológiai fejlődés következtében folyamatosan jelennek meg újabb megoldások és rendszerfejlesztések. A parkolási rendszerek kialakítása nagymértékben függ a helyi igényektől, a rendelkezésre álló területtől, valamint az alkalmazott műszaki és gazdasági feltételektől. Emiatt a rendszerek sokfélesége rendkívül széles skálát ölel fel. A következőkben ezért a legjellemzőbb, nemzetközi szinten is széles körben alkalmazott parkolási rendszerek kerülnek bemutatásra. Az alábbiakban egy alaposan feldolgozott nemzetközi tudományos cikkből fogok pár lényeges dolgot kiemelni [4].

3.1. *Toronyparkoló rendszer (Tower parking)*

A torony rendszerű automatizált parkolók egy központi járműemelőből és az emelőakna két oldalán elhelyezett parkolóhelyekből állnak. Ez az elrendezés több szinten ismétlődik, így hozva létre a parkolótoronyt. A földszinten általában egy átadóállomás található, ahol a járművet a rendszer szükség esetén elforgatja, majd az emelő a megfelelő parkolási szintre szállítja.

Onnan oldalirányban a kijelölt parkolóhelyre helyezi. A jármű kiadása ennek a folyamatnak a fordított sorrendjében történik. A rendszer működésének alapját egy elektromechanikus meghajtású felvonó képezi, amely az átadóhelyen fogadja a járművet, majd azt a megfelelő parkolóhelyhez szállítja. A parkolás történhet raklapos (palettás) vagy raklap nélküli kialakítással is, a rendszer műszaki megoldásától függően. Az ilyen típusú parkolórendszerek jellemzően 30–40 jármű tárolására alkalmasak, azonban megfelelő tervezés esetén ennél nagyobb kapacitású létesítményekben is alkalmazhatók. A torony rendszerű automatizált parkolók egyik jelentős előnye a viszonylag gyors járműkiadás, amely optimális működés mellett akár két percen belül is megvalósulhat. Ezeket a rendszereket elsősorban közepes vagy nagy léptékű épületek esetében alkalmazzák, ugyanakkor önálló parkolótoronyként, parkolási szolgáltatást nyújtó létesítményekben is hatékony megoldást jelenthetnek.

3.2. Siló rendszer (Silo system)

A siló típusú parkolórendszer egy kör alaprajzú, mélyépítésű vagy toronyszerű létesítmény, amelynek középpontjában egy 360 fokban elforgatható központi emelőszerkezet áll. Ez a függőleges tengely köré szervezett konfiguráció sugaras elrendezésben tárolja a gépjárműveket, ahol a belső mechanizmus egyszerre végzi az autók emelését és a kívánt szektorba történő beforgatását. Legfőbb sajátossága a rendkívüli helykihasználás mellett a mozgási utak lerövidítése, mivel a fixen telepített központi manipulátorral minden tárolóhely azonos távolságra van a függőleges tengelytől. Míg a többi rendszer gyakran lineáris vagy rácsszerkezetű mozgatást igényel, a siló a centrifugális logikát követi, ami gyorsabb és gördülékenyebb gépjármű-kiadást eredményez. Legnagyobb előnye a minimális felszíni helyigény és a csendes üzemmód, ugyanakkor hátránya a magasabb kivitelezési költség és a körkörös geometria miatti kötött, nehezen bővíthető építészeti forma.



2. kép A siló típusú rendszer [5]

3.3. *Puzzle rendszer (Puzzle system)*

A puzzle rendszerű parkolók rugalmas elrendezési lehetőségeket kínálnak, mivel a rendszer felépítése nagymértékben alakítható. A járműveket hordozó platformok (palleták) a tartószerkezetek között több irányba is elmozdíthatók, így egyik keretből a szomszédos keretbe bármely irányban áthelyezhetők. Ennek köszönhetően a rendszer kialakítása nem korlátozódik a hagyományos téglalap vagy négyzet alaprajzra; a puzzle rendszerek „T”, „U”, „L” vagy „H” alakú elrendezésben is megvalósíthatók. Ez a kialakítás lehetővé teszi azt is, hogy a rendszer alkalmazkodni tudjon az épület szerkezeti elemeihez, például oszlopokhoz vagy más akadályokhoz, amelyek más parkolórendszerek esetében nehezebben kezelhetők.

A puzzle parkolórendszer egy olyan mechanikus parkolási megoldás, amely speciális berendezések segítségével növeli a parkolókapacitást egy adott területen belül. A rendszerek működését általában elektromos motorok vagy hidraulikus szivattyúk biztosítják, amelyek a járműveket hordozó platformokat a megfelelő tárolási pozícióba mozgatják. A rendszer egyik fontos jellemzője, hogy a járművek külön platformokon helyezkednek el, így egyenként történő be- és kiállításuk is megvalósítható.

3.4. *AGV rendszer (AGV system = Automated Guided Vehicle)*

Az AGV-típusú (Automated Guided Vehicle - automatizált irányított jármű) parkolási rendszer az egyik legmodernebb és legrugalmasabb megoldás az automatizált parkolás világában. Ezt a technológiát gyakran "robotikus parkolásnak" is nevezik, mivel önjáró robotok végzik a feladatokat. A járműveket a parkolási modulokban palettákra helyezik, amelyeket az önjáró robotok gyűjtenek össze (a jármű raklapja alá hajtva azt felemelik, majd kivezetik a parkolási modulból a rendszerbe). A rendszerek jellemzően sima, befejezett betonpadlón működnek, és képesek mind hosszanti, mind keresztirányú mozgásra a rögzített útvonalakon, továbbá helyben is el tudnak fordulni. Ez lehetővé teszi, hogy a járműveket bármely irányból felvehessék, és több AGV egyidejű működése esetén egyszerre több be- és kiállítás is megvalósítható különböző útvonalakon.



3. kép Az AVG, vagy „robotikus” rendszer [6]

3.5. Kocsihordó rendszer (Shuttle system)

A kocsihordó (shuttle) rendszer olyan automatizált parkolórendszer, amelyben a járműveket egy speciális mozgó platform vagy kocsi szállítja a parkolóhelyek és az átadóállomás között. A rendszer alapvető elemei közé tartozik a shuttle kocsi, a raklap, amelyre a járművet helyezik, a sín- vagy pályarendszer, valamint a vezérlőrendszer, amely koordinálja a mozgásokat. A shuttle rendszerek előnye, hogy lehetővé teszik a gyors és hatékony parkolást és kiadást, akár több szinten, és minimalizálják a szükséges építési alapterületet, így ideálisak sűrűn beépített városi környezetekben. Emellett az egyidejű, párhuzamos mozgások révén jelentősen növelhető a rendszer áteresztőképessége, és csökkenthető a járművek közötti várakozási idő. Hátránya, hogy a rendszer telepítése és karbantartása költséges, valamint a technológia meghibásodása esetén a javítás bonyolult lehet, különösen nagy kapacitású létesítményekben.

4. ÁLTALÁNOS ÉPÍTÉSZETI ÉS GÉPÉSZETI JELLEMZŐK

A hagyományos mélygarázsokkal és parkolóházakkal ellentétben az automatizált parkoló rendszerrel felszerelt parkolóházak parkolási területein nincs emberi jelenlét. Ez talán a legfontosabb jellemző, amely jelentős hatással lesz a belső építészeti kialakításra. A járművek horizontális és vertikális mozgatását automatizált gépek programok segítségével végzik. Az építészeti kialakítás is úgy került megtervezésre, hogy az emberi tartózkodást csak az esetleges meghibásodások kijavításához igazították. Mivel a gépjárműveket nem a használójuk, hanem a gépészeti rendszer juttatja a program által meghatározott helyre, ezért a parkolási műveletek, valamint a ki-és beszállás nem igényel nagy szélességet. A járművek közti szabad területek jelentősen lecsökkennek, a kapacitás akár meg is duplázódhat. Az építész kialakítást figyelembe véve a belmagasság csökkenthető, továbbá elhagyhatóak olyan alapvető elemek, mint a rámpák, felhajtók, lépcsőházak valamint a gyalogjárda. A belső tartószerkezeti elemek jellemzően vasbetonból készülnek, de találkozhatunk acélvázis belső kialakítással is. A gépészetet tekintve személyliftek nem kerülnek kialakításra, a tárolásra használt tereket nem szükséges megvilágítani és szellőztetni (vagy csak minimális mértékben).



4. kép Csökkentett belmagasság [szerző saját fotója]

4.1. Előnyök

Ezen kialakítások számos előnyt hordoznak magukban. Növekszik a vagyonbiztonság, csökken a lopások és járműbalesetek kockázata. Szintén nő a gyalogos biztonság, hiszen a személyeknek nem kell közlekedniük a gépjárművek között, számukra csak a felső szinten engedélyezett a mozgás. Csökken a parkolóhelyek keresésével eltöltött idő, valamint nem alakulnak ki kisebb forgalmi fennakadások. Ezek ma már nem elhanyagolható szempontok, ugyanis közvetett módon csökken a károsanyag kibocsátás is. A parkolást igénybe vevő úgy kapja vissza a gépjárművet, hogy már az a kijárat felé van pozícionálva. Számos olyan megoldás is létezik, amelyek kedveznek az elektromos gépjárműveket használóknak, így több esetben megoldott a gépkocsik személyi felügyelet nélküli töltése is.

4.2. Hátrányok

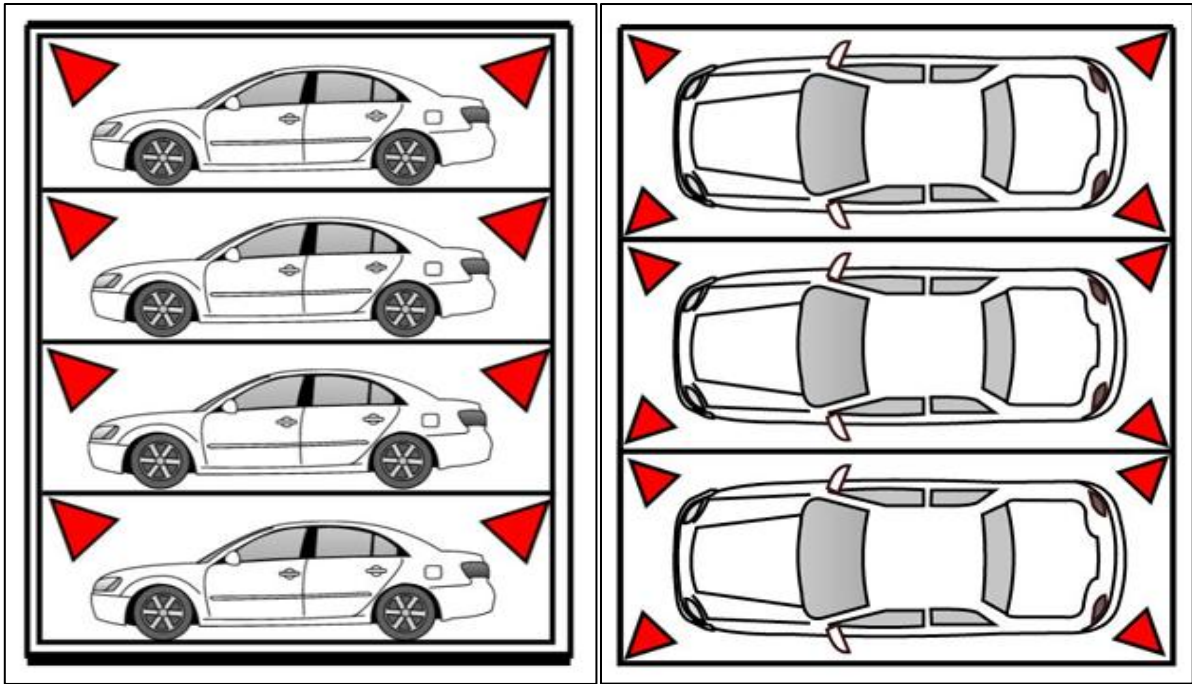
Nem lehetünk a rendszerrel szemben elfogultak, így a hátrányok számba vétele is fontos. Nem ajánlott nagy járműforgalmat lebonyolító városrészekre telepíteni, ugyanis az automatika munkavégzése szubjektíven tekintve lassúnak mondható. Ez független attól, hogy több gépjárműlift is tud dolgozni egyszerre. Ha technikai meghibásodás történik a rendszerben, akkor a járművek ki-és bejuttatása szünetel, a probléma elhárításáig nem lesznek elérhetőek a gépkocsik. Meg kell említeni, hogy ez az eshetőség nagyon kis számban fordulhat csak elő. Hátrányként lehet megemlíteni még, hogy a felhasználó számára nem mindig egyértelműek a rendszer által közölt utasítások. A létesítési költségek is nagyobbak, mint egy általánosságban használt parkolóháznak, mélygarázsnak.

5. TŰZVÉDELMI KIALAKÍTÁS

Az automatikus parkolási rendszerrel ellátott mélygarázsok tűzvédelmi berendezései alapvetően hasonlóak a hagyományos parkolási létesítményekben alkalmazott rendszerekhez, azonban kialakításukban és telepítésükben számos sajátosság figyelhető meg. Az ilyen létesítményekben is megtalálhatók a szabványos tűzjelző rendszerek, sprinkler-hálózatok és egyéb tűzoltó berendezések, valamint a gépi hő- és füstelvezető rendszerek, amelyek biztosítják a gyors riasztást és a hatékony füsteltávolítást vészhelyzet esetén. Ugyanakkor az automatizált parkolási rendszerek speciális felépítése – a sűrűn egymás mellett elhelyezett járművek és a több szintre tagolt parkolómodulok – olyan körülményeket teremt, amelyek a tűzvédelmi tervezés szempontjából külön figyelmet igényelnek.

A járművek közelsége és a zárt tér miatt a potenciálisan éghető anyagok – például gumiabroncsok, textíliák, kárpitok, műanyag alkatrészek, valamint különféle szigetelések és kiegészítők – jelenléte fokozhatja a tűz terjedésének sebességét és intenzitását. Ennek következtében a sprinkler-hálózatok tervezésénél különösen fontos a fejek elhelyezése, sűrűsége, szórási iránya és típusa. A sprinkler nemcsak a járművek fölött, hanem azok között, illetve a parkolóterület falain is elhelyezhető, hogy minden potenciálisan veszélyeztetett zónát lefedjenek, és minimalizálják a tűz gyors terjedését.

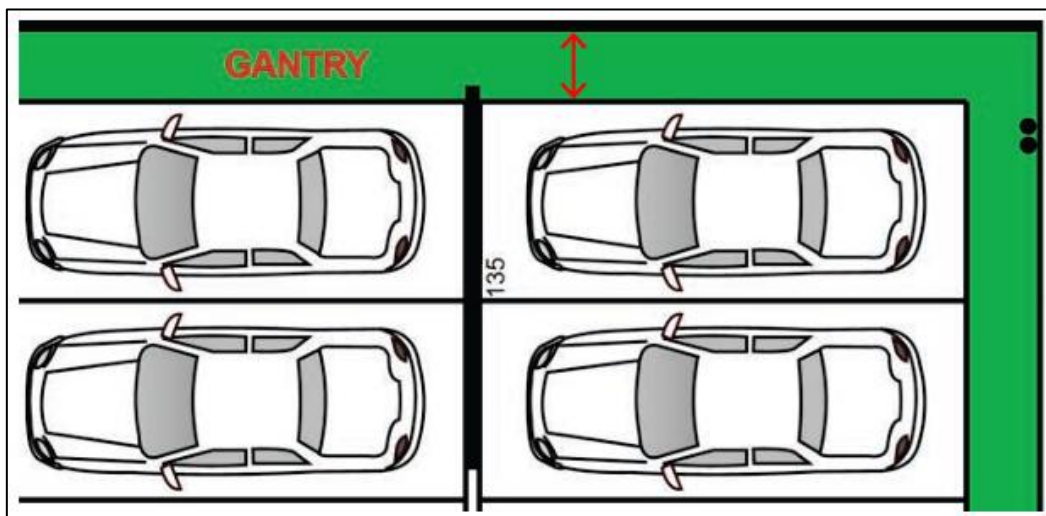
A hatékony oltás érdekében nem ritkán kiegészítő rendszereket is alkalmaznak, például habbal oltó berendezéseket, amelyek képesek a hagyományos vízalapú oltórendszereknél gyorsabban és hatékonyabban lefedni a nagyobb éghető felületeket. Emellett a személyzet biztonságát szolgálják a lépcsőházakban elhelyezett fali tűzcsapok, amelyek lehetővé teszik a közvetlen beavatkozást. Az automatizált rendszerek összetett szerkezete miatt a tűzvédelmi tervezés során kiemelt figyelmet kell fordítani az üzemzavarokból adódó veszélyekre, például az emelők, szállítók és shuttle-platformok működésének esetleges akadályozottságára, amelyek befolyásolhatják a vészhelyzeti menekülési útvonalakat és az oltási tevékenységet.



5. kép Az oltórendszer fejeinek javasolt kialakítása [7]

Fontos nem csak az aktív, hanem a passzív tűzvédelmi rendszerek alkalmazása is. A tervezési folyamat során nagy figyelmet kell fordítani a nagyszámú és sűrű járműtárolás miatt a minél kisebb tűzszakaszok létesítésére, a tűzálló burkolatok kivitelezésére, a fal-és földemattörések szakszerű lezárására.

Az automatikus tűzoltó berendezések létesítésén túl figyelembe kell venni a tűzoltói megközelíthetőség biztosítását. Bármilyen rendszer kerül megtervezésre, a tűzoltói jelenlét, a felügyelet biztosítása alapvető szempontnak kell lennie. A kiszolgáló és karbantartást végző személyzet által használt lépcsőháznak olyan kialakításúnak kell lennie, amely elősegítse az érintett jármű megközelíthetőségét, az oltóberendezés hatékonyságának ellenőrzését, valamint az esetleges utómunkák, hőkamerás átvizsgálás lehetőségét. A járművek elhelyezésére szolgáló terekben számos esetben kialakítanak a falak mentén tűzoltói közlekedésre alkalmas felületeket, amelyeknek elősegítik a biztonságos felderítést, beavatkozást és az utómunkákat.



6. kép A körbejárhatóság biztosítása (zölddel jelölve) [7]

6. TŰZOLTÓI BEAVATKOZÁSOK

Az automatizált parkolási rendszerrel felszerelt mélygarázsok tűzoltás-taktikai szempontból számos sajátossággal rendelkeznek, amelyek komoly veszélyforrást jelenthetnek a beavatkozó állományra nézve és befolyásolhatják a sikeres tűzoltást.

A zárt terekre jellemző, akkumulálódott hő, valamint a nagy füstképződés jelentős veszélyforrást és nagy fizikai megterhelést jelent az állományra nézve. Az égő járművel/járművekkel egy térbe csak minimális létszámot engedünk be, mindig törekedünk a tartalékképzésre, valamint a bent lévő egységekről vezessünk nyilvántartást.

Habár ezen létesítményekben nem jellemző az emberi tartózkodás, könnyelműen ne mondjunk le az életmentés lehetőségéről. A karbantartó, felügyeletet ellátó személyzet létszámellenőrzése ne maradjon el. A létesítmény legfelső szintjén (a parkolást igénybe vevők részére) kialakításra szoktak kerülni személyliftek, valamint szociális helyiségek. Ezek felderítése is indokolt és szükséges.

A gépjárművek a teherliftekbe történő beálláskor úgynevezett „palettákra” kerülnek, amelyek görgők segítségével fém síneken mozognak. A fémek tartószilárdsága hő hatására csökken, ezért fokozott figyelmet kell fordítani a fém szerkezeti elemek hűtésére, állékonyságukat folyamatosan figyeljük.

A fém részek továbbá botlásveszélyt is tudnak eredményezni, ezért a tájékozódás mindig hőkamera segítségével mellett, párban történjen.

Az építészeti és gépészeti kialakítások sajátosságából eredően a szinteket összekötő liftaknák körül nincsenek korlátok. A nagy intenzitású füstképződés hatására ezek a veszélyforrások kevésbé lesznek láthatók. Meglátásom szerint az egyik legfontosabb szempont ezt figyelembe venni, amikor azt a területet vizsgáljuk át, amelyben a tűz keletkezett. Kerüljük a járművek közti mozgást, valamint (amennyiben lehetséges) ne távolodjunk el a falaktól.



7. kép A liftaknák komoly veszélyforrást jelenthetnek [szerző saját fotója]

A rendszer elektromos és hidraulikus egységekből tevődik össze. A sínekben és kábelcsatornáknak futó vezetékben jelentős mennyiségű feszültség lehet (típusonként, gyártónként változó), beavatkozás előtt fokozott figyelmet fordítsunk az áramtalanításra.

A feszültségmentesítésről visszajelzést kaphatunk a személyi felügyeletet ellátók helyiségében elhelyezett rendszeren keresztül.

Fokozott figyelmet fordítunk az égő járműből kifolyt éghető folyadékokra. Az épület belső szerkezetének kialakításából eredően jelentős veszélyforrást jelent az égő folyadék lefolyása további szintekre, ezért a felderítést minden épületszinten el kell végeznünk.

Elektromos járművek esetében elsődlegesen győződjünk meg a töltőegység áramtalanításáról.



8. kép Palettával egybeépített töltőegység [8]

Az oltást követően győződjünk meg róla, hogy az oltóanyag nem halmozódott-e fel a mélygarázs legalsó szintjén. Ha rendelkezésre állnak vízgyűjtő zsonpok és beépített szivattyúk, akkor azokat a helyi szakemberek segítségével működtessük, ezek hiányában alkalmazzunk tűzoltótechnikát a feladat végrehajtására.

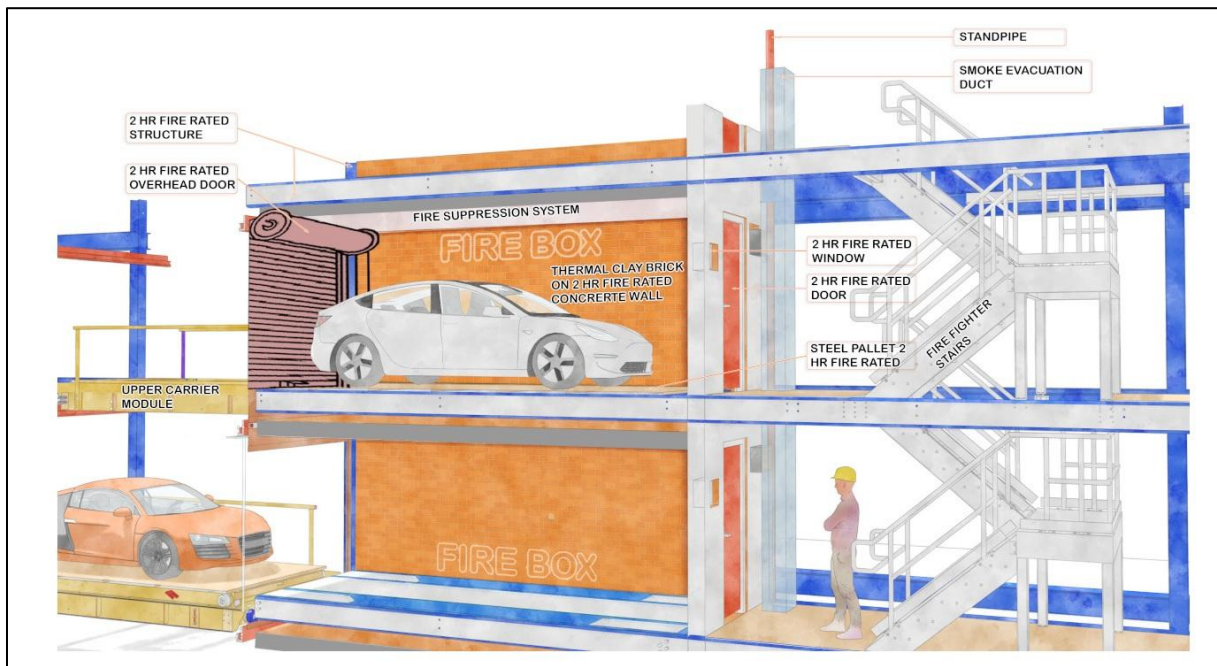
7. TAPASZTALATOK ÉS EGY MEGOLDÁSI LEHETŐSÉG

Automatizált parkolási rendszerrel felszerelt parkolóházakban keletkezett tüzekről még a külföldi szakirodalom is szűken, vagy egyáltalán nem nyilatkozik. Ez több dologra vezethető vissza. Első sorban az automatizált parkolási rendszerek száma a világban igen csekély (főként a keleti világrész országaira jellemző), másodsor az esetleges tüzesetek vélhetően kisebb, lokalizált tüzek voltak, amelyek helyi szinten vizsgálat tárgyát képezhették, viszont ezen tények és tapasztalatok nem kaptak nemzetközi figyelmet. Kutatásom során nem találtam olyan bizonyított tüzesetet, amely automatizált parkolási rendszerrel felszerelt parkolóházban keletkezett volna.

Sajnos a feladat megoldása is várat magára. Tapasztalatok hiányában a megfelelő tűzvédelmi megoldás kidolgozása is nehézkes. A tűzvédelmi szakma és a mérnök társadalom viszont egyértelműen látja a probléma elvi megoldásának a lehetőségét. A cél az, hogy a tűzzel érintett járművet a sűrűn parkoltatott autók közeléből el kell távolítani és egy olyan elkülönített helyre kell vinni, ahol ellenőrzött körülmények között az oltás és az utómunkálatok biztonságosan, akár automatizáltan is elvégezhetőek.

Az alábbiakban egy olyan technikai megoldást szeretnék bemutatni, amely képes jelentősen csökkenteni a károkat és növelni a biztonságot egy automatikus parkolási rendszerrel ellátott mélygarázsban. A megoldás vélhetően még csak elviekben létezik, ugyanis kutatásaim során hiteltérdemlő bizonyítékot nem találtam kivitelezett és már beüzemelt rendszerre. A FIRE BOX elnevezésű műszaki megoldás elsődlegesen elektromos járművek tüzeinek lokalizálására lett kifejlesztve, de a tervező javaslatára általános esetekben (foszszilis üzemanyaggal meghajtott járművek) is alkalmazható. Célja az égő (vagy melegedő) jármű elkülönítése, a tűz terjedésének megakadályozása. A rendszer működését a tervező az alábbiakban írja le [9]:

1. korai észlelés (tűzjelző rendszer segítségével)
2. gyors elkülönítés (akár 90 mp. alatt)
3. hatékony elszigetelés (fizikális elszigetelés, tűzoltás, füsteltávolítás)



9. kép A FIREBOX rendszer áttekintő metszete [9]

Az elkülönített gépjármű így biztonságosan megközelíthető, átvizsgálható, az esetleges utómunkák könnyen elvégezhetőek. Az említett kockázatok csökkennek, mint például a leesés, az áramütés, valamint a szerkezeti tönkremenetelből adódó sérülések. A rendszer további előnye, hogy a kijuttatott oltóanyag a FIRE BOX rendszerben marad, így nem károsítja a szerkezeti elemeket, a vízeltávolításról nem kell külön intézkedni.

8. KÖVETKEZTETÉSEK

Az automatizált parkolási rendszerek speciális tűzvédelmi és tűzoltói kihívásokat jelentenek, mivel a zsúfolt, többszintes épületekben tárolt járművek és az éghető anyagok – gumiabroncsok, műanyag alkatrészecskék, kárpitok, szigetelések – fokozzák a tűz terjedésének sebességét és intenzitását. A sprinkler-hálózatok tervezésénél kiemelten fontos a fejek sűrűsége, elhelyezése és a szórás iránya; a sprinkler fejeket nemcsak a járművek fölé, hanem a parkolóterület falaihoz és a járművek közé is érdemes telepíteni. Kiegészítőként habbal oltó rendszerek is alkalmazhatók a nagyobb éghető felületek gyorsabb és hatékonyabb lefedésére. A személyzet biztonságát szolgálják a lépcsőházakban elhelyezett fali tűzcsapok és a tűzoltói felderítést segítő, a falak mentén kialakított járófelületek.

A zárt terek, az összetett gépészeti rendszerek – emelők, shuttle-platformok, liftaknák – és az elektromos-hidraulikus vezérlések további veszélyforrásokat jelentenek, ezért a tűzoltóknak különös figyelmet kell fordítani a hőterhelésre, a füstképződésre, a fém szerkezetek stabilitására és az elektromos feszültségmentesítésre. Az éghető folyadékok, például üzemanyag vagy elektromos járművek töltőegységeiből származó kifolyt anyagok szintén növelik a kockázatot, így a felderítést minden szinten gondosan kell végezni. Az automatizált parkolók tűzvédelmi kialakítása a hagyományos garázsokhoz képest sokkal komplexebb: nemcsak a hagyományos sprinkler- és hő- és füstelvezető rendszereket kell alkalmazni, hanem a rendszer speciális elrendezését, az automatizált mozgó elemeket és a több szintre tagolt parkolót is figyelembe kell venni. A tűzoltói beavatkozások során a személyi biztonság, a strukturális stabilitás, a füst és hőhatás, valamint az oltóanyagok megfelelő elosztása kulcsfontosságú. A rendszerek magas szintű tűzvédelme, a hozzáférhetőség és a karbantartott, jól tervezett tűzoltási infrastruktúra elengedhetetlen a biztonságos üzemeltetéshez, miközben a parkolási kapacitás és a helytakarékoság előnyei is megmaradnak.

5. IRODALOMJEGYZÉK


- [1] Rare historical photos – Early Vertical Parking Garages from 1920-1960 [Online]. Elérhetőség: <https://rarehistoricalphotos.com/vintage-photographs-of-early-vertical-parking-garages/> (2026.01.19.)
- [2] Beebe, R. S. (2001). Automated parking: Status in the United States. 486. St. Andrew, Scotland.
- [3] Károly, D. H. (1978). Gépkocsi parkolók. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- [4] Aniket Balasaheb Bandgar, Harshad Nivarutti Kumbhar, Vaishnav Tanaji Patil, Pritam Anilkumar Bandgar, Abhaysinh Shivaji Kore (2020). Design and development of automated car parking system using microcontroller [Online]. Elérhetőség: <https://ijsdr.org/viewpaperforall.php?paper=IJSDR2012014> (2026.03.09.)
- [5] Applied & Integrated Manufacturing Inc. [Online]. Elérhetőség: <https://aimagv.com/aps-silo.html> (2026.02.17.)
- [6] Synced - Shenzhen is Building Its Highest AGV Robotic Parking Lot [Online]. Elérhetőség: <https://syncedreview.com/2021/05/31/shenzhen-is-building-its-highest-agv-robotic-parking-lot/> (2026.02.24.)
- [7] AFAC - Fire Safety Requirements for Automated Vehicle Parking Systems [Online]. Elérhetőség: <https://esa.act.gov.au/sites/default/files/2019-06/fire-safety-requirements-for-automated-vehicle-parking-systems.pdf> (2026.06.22.)
- [8] SilMan Automated Parking Systems Integrated Parking Solutions for High-Density Communities [Online]. Elérhetőség: <https://rarehistoricalphotos.com/vintage-photographs-of-early-vertical-parking-garages/> (2026.06.22.)
- [9] Robotic Parking Systems Inc. [Online]. Elérhetőség: <https://roboticparking.com/fire-box/> (2026.06.22.)

A fukushimai katasztrófa tanulságai: A 2011-es nemzetközi mentőmissziótól a 15 éve tartó rehabilitációs folyamatokig

Lessons from the Fukushima Disaster: From the 2011 International Rescue Mission to 15 Years of Rehabilitation Processes

Dr. Jackovics Péter József
szerző

BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, veszélyhelyzet-kezelési főosztályvezető
a HUNOR Mentőszervezet parancsnoka
peter.dr.jakovics@katved.gov.hu

ORCID: 0000-0002-1809-029X 

Absztrakt:

A tanulmány a 2011. március 11-i nagy-kelet-japán földrengést és szökőárt követő fukushimai nukleáris katasztrófa kezelésének folyamatait elemzi, két fő idősíkként. Az első rész a szerző beszámolója alapján mutatja be a cseh-magyar vezetésű európai szakértői misszió operatív tapasztalatait, kiemelve a logisztikai kihívásokat, a sugárvédelmi méréseket és a nemzetközi segélyszállítmányok koordinálását. A második rész a katasztrófa 15 éves távlatából (2026) vizsgálja a technológiai és társadalmi változásokat: elemzi a Fukushima Daiichi atomerőmű leszerelésének aktuális mérföldköveit – beleértve a robotizált üzemanyag-kimentést és a kezelt víz óceáni kibocsátását –, valamint a japán energiapolitika és lakossági attitűd elmozdulását a nukleáris energia irányába. Az elemzés rávilágít, hogy a fukushimai tanulságok miként integrálódtak a modern nukleáris biztonsági rendszerekbe, különös tekintettel a hazai Paks II. projektre.

Kulcsszavak: Fukushima, válságkezelés, nukleáris biztonság, mentőmisszió, Paks II., robottechnológia, energiahatékonyság

Abstract:

This study critically examines how management processes shaped recovery after the Fukushima nuclear disaster, using timelines that reveal both the operational challenges and the long-term implications for nuclear safety. The first section, guided by the author's experience, details the logistical, radiological, and coordination aspects faced during the Czech-Hungarian-led European rescue mission. The second section, reflecting from a 15-year vantage point (2026), analyzes key milestones such as robotic fuel debris retrieval at Fukushima Daiichi, the managed release of treated water, and how these events redirected Japanese energy policy and public opinion. Together, these perspectives illustrate how lessons from Fukushima have directly informed modern nuclear safety systems, especially in projects like Paks II.

Keywords: Fukushima, crisis management, nuclear safety, rescue mission, Paks II, robotic technology, energy efficiency

1. BEVEZETÉS

A 2011. március 11-i nagy-kelet-japán földrengés és az azt követő pusztító szökőár a modern kor egyik legösszetettebb természeti és ipari katasztrófáját idézte elő. A Richter-skála szerinti 9,0-es erősségű szeizmikus esemény és az akár 40 méteres magasságot is elérő hullámok a Fukushima Daiichi Atomerőmű hűtőrendszereinek teljes leállításához, majd nukleáris veszélyhelyzethez vezettek. Ez a „hármaskatasztrófa” nemcsak a 200 milliárd dollárt meghaladó anyagi kár és a több mint 28 000 áldozat miatt rázta meg a világot, hanem alapjaiban kérdőjelezte meg a nemzetközi válságkezelési protokollokat is [1].

Magyarország a katasztrófa idején az Európai Unió Tanácsának soros elnöki tisztét töltötte be, ami a magyar katasztrófavédelmi szervezet egyedülálló stratégiai szerepbe helyezte. Az EU Polgári Védelmi Mechanizmusának keretében felállított 15 fős szakértői misszió tevékenysége során kiemelkedő szakmai mérföldkőnek számított, hogy 2011. március 31-től a küldetés vezetését magyar tiszt vette át. Ez volt az első alkalom, hogy magyar szakember irányított ilyen komplexitású, nukleáris veszélyhelyzetben végrehajtott nemzetközi uniós műveletet [1].

A magyar hozzájárulás a stratégiai vezetésen túlmutatva közvetlen humanitárius segítségben is megnyilvánult: egy 26 tonnás, speciálisan a helyi igényekre szabott segélyszállítmányt juttattak el a legsúlyosabban érintett Sendai régióba. Jelen tanulmány célja, hogy a mentőmisszió operatív tapasztalataiból kiindulva bemutassa azt a 15 éves technológiai utat, amely a mai fukushimai kármentesítéshez és a modern nukleáris projektek – köztük a Paks II. – megemelt biztonsági sztenderdjeihez vezetett [1].

A tanulmány rövid összefoglalóját adja a történeteknek. A szerző a japán misszióról külön publikációban számolt részletesen be, amely forrásként fel lett használva.

A tanulmány aktualitását a 15 éves évforduló adta. Japán 2026. március 11-én emlékezett meg a fukushimai katasztrófa 15. évfordulójáról, amelyen az Európai Unió is – Hadja Lahbib esélyegyenlőségért, felkészültségért, és válságkezelésért felelős biztos személyében – kiemelt szinten képviseltette magát a kétoldalú válságkezelési partnerség jegyében [41].

A szerző a téma feldolgozásával adózik a katasztrófa áldozatai, valamint a mentést és a helyreállítást (rehabilitáció) végzők előtt.

2. NEMZETKÖZI ÉS MAGYAR SEGÍTSÉGNYÚJTÁS

Japán segítséget kért és az Európai Unió aktiválta az uniós polgári védelmi együttműködési rendszert. Tekintettel arra, hogy 2011 első felében Magyarország töltötte be az EU soros elnöki tisztét, a magyar katasztrófavédelem központi szerepet játszott a szervezésben [1].

Az Európai Unió Monitoring és Információs Központja (EU MIC) által szervezett misszióban 15 szakértő vett részt [1]. A szerző, aki a missziót kezdetben csapatvezető-helyettesként segítette, majd 2011. március 31-től – a misszió történetében mérföldkőnek számító módon – csapatvezetőként vezette a csapatot [1].

Az Európai Unió Polgári Védelmi Csapat (a továbbiakban: csapat) tagjainak kiválasztása 2011. március 15-én fejeződött be. A csapatba 17 fő került kiválasztásra [7].

A csapat feladata az Unióból a szigetországba érkező támogatások fogadásának segítése, valamint az érintett kárterületeken a biztonságos gyűjtőpontokig a segélyek szállításának nyomon követése volt. A Brüsszelből induló csoport nyolc EU-s szakértőből, két radiológusból, egy MIC összekötőből és az EUCPT-t támogató hat dániai technikai támogatóból állt (TAST).

A csapat összetételét lásd az 1. számú mellékletben. Az indulás napján biztonsági okokból 2 fő szakértő visszamondta a misszióban való részvételt, így 15 fő utazott Japánba (1. táblázat) [7].

1. táblázat Az EU Polgári Védelmi Csoport és technikai támogató egység összetétel a küldetés (misszió) időtartalom szerint [8] alapján (szerző összeállítása)

Név	Ország	Funkció	1. fázis	2. fázis	3. fázis
			2011. március 18-28.	2011. március 29-április 1.	2011. április 2-9.
EU Polgári Védelmi Csoport					
Vladimír VLCEK	(CZ)	csapatvezető	x	x	
JACKOVICS Péter	(HU)	csapatvezető-helyettes	x	x	x
Johan GYLLEFJORD	(SE)	csapattag	x		
Tomasz TRACIŁOWSKI	(PL)	csapattag	x	x	
Orjan Nordhus KARLSSON	(NO)	csapattag	x		
Vincent BOICHARD	(FR)	csapattag	x		
Per R. GRIM	(DK)	CBRN ¹ szakértő	x		
Stephane DRENNE	(FR)	CBRN szakértő	x	x	x
Antonin PETR	(EU)	EU MIC összekötőtiszt ²	x	x	x
Technikai Támogató Csoport (TAST)					
Peter Visti Svendsen	(DK)	csapatvezető	x		
Thomas Sylvester Jørgensen	(DK)	csapatvezető-helyettes	x		
Philip Takanashi Marquard	(DK)	logisztikus	x		
René Kømler	(DK)	ITC ³	x	x	
Lars Andersen	(DK)	ITC	x		
Seiko Takanashi	(DK)	tolmács	x		

Eredeti tervek szerint a csapat előreláthatóan tíz napot töltött volna a katasztrófa sújtott Japán fővárosában, ahova egyéni védőfelszereléseket, mérőműszereket, infokommunikációs eszközöket vittek magunkkal. A küldetésből végül huszonegy nap lett. A csapat a teljes önfenntartáshoz szükséges logisztikát is biztosította maga számára.

A csapat fő feladatai közé tartozott (2. táblázat):

- Az EU-ból érkező segélyszállítmányok fogadásának koordinálása és a szállítás nyomon követése a biztonságos gyűjtőpontokig [1].
- Folyamatos radiológiai monitoring és biztonsági tervek kidolgozása [1].
- Kapcsolattartás a japán minisztériumokkal (MoFa) [1].

A japán hatóságok nagyfokú visszafogottsága és a nemzetközi segítségnyújtásban való járatlansága kezdetben nehezítette a munkát [1]. A misszió egyik legfőbb tanulsága a „teljes autonómia” követelménye volt: a japán hatóságok elvárták, hogy a mentőcsapatok önállóak legyenek, ne terheljék a helyi infrastruktúrát [1]. A logisztikai nehézségeket fokozta a folyamatos utóregés-veszély (összesen 78 regisztrált utóregés a kint tartózkodás alatt) és a sugárveszély [1].

¹ Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear (Vegyí, Biológiai, Radiológiai és Nukleáris) veszélyek, anyagok és események nemzetközi rövidítése.

² Az Európai Bizottságot képviselő összekötő, aki nemzeti szakértőként a DG ECHO-nál látott el feladatokat, mint cseh állampolgár.

³ Infokommunikációs szakember.

Egy alkalommal a csapat az atomerőmű 58 km-es körzetében a háttérsugárzás hatszoros emelkedését dokumentálta [1]. A csapat feladata az Unióból a szigetországba érkező támogatások fogadásának segítése, valamint az érintett kárterületeken a biztonságos gyűjtőpontokig a segélyek szállításának nyomon követése volt. Az EU Polgári Védelmi Mechanizmus keretében közel 350 tonna humanitárius segélyt sikerült a csapatnak fogadnia és eljuttatnia Japán öt legjobban károsodott prefektúrájába. Az EUCPT szakértőinek napi tevékenységét tette ki a a japán minisztériumokkal való együttműködés. A szakértők rendszeresen vettek részt értekezleten, ahol a kapott belső dokumentumokat elemezheték, majd az EUCPT műveleti bázisán azt kiértékelték. A kapott eredményekről és következtetésekről napi jelentés szintjén számoltak be az EU MIC összekötő tisztjén keresztül a DG ECHO szakterületének. A DG ECHO a jelentés ismeretében, szintén napi on-line értekezlet formájában, a brüsszeli döntés ismeretében adott az EUCPT csapatnak feladatszabást [1][8]. A csapat tagjainál gondot okozott, hogy kezdetben a személyi életbiztosítás kérdése nehezen volt tisztázható. Problémát jelentett, hogy a csapat nem rendelkezett önálló költségkerettel, a helyi kiadásait a tagállamok nagykövetségei segítették (DK: autóbérlés, HU: tolmácsbérlés), a csapattagok egyéni védőeszközzel történő ellátását a MIC nem tudta biztosítani (CZ: bőr és légzésvédőket biztosított). A francia és a svéd radiológiai szakértő felszereltsége magas szintű volt.

2. táblázat Az EU Polgári Védelmi Csapat feladatai beosztások szerint [1][8] alapján (szerző összeállítása)

Feladat	Csapat-vezető	Csapatvezető-helyettes	Összekötő	tagok	CBRN	TAST
Csapatvezetés	x	x				
Stratégiai tervezés	x	x				
Megbeszélések	x	x	x	x	x	
Kapcsolat a helyi és nemzetközi szervezetekkel	x	x	x			
Megbeszélés a hatóságokkal	x	x				
Megbeszélés a civil szervezetekkel	x	x				
Helyzetjelentés, Végső jelentés	x	x			x	
Kimenekítési terv		x				
Akcióterv készítése		x				
Bevetési terv		x				
Evakuációs terv		x				x
Biztonság és védelem		x			x	
Légi szállítás			x			
Cargo			x			
Műveleti tervezés	x			x		
Műveleti napló				x		
Térképek				x		
Adminisztráció				x		
Taktikai tervezés, jegyzőkönyvek	x			x		
Információ menedzsment	x			x		
Felderítés	x	x		x		
Radiológiai megbeszélések					x	
Radiológiai jelentések					x	
Radiológiai mérések					x	
Útvonaltervezés						x
Logisztika						x
Helyi szállítás						x
ICT						x

A 15 fős EU-s szakértői csapat az Európai Unió Képviselőtén, Tokióban állította fel központját [1], mint műveleti bázisát, innen végezte az irányítói feladatait, járt a minisztériumi szintű egyeztetésekre és utazott az érintett prefektúrákba [1]. A szakértők folyamatosan személyi dozimétert viseltek a sugárveszély miatt [1].

3. táblázat A magyar segélyszállítmány adatai (2011. április 6.) [1]

Megnevezés	Mennyiség (darab)
Csokoládés almaszirom	28 800
Instant leves	39 864
Csokoládé szelet	27 000
Őszibarackkonzerv	8 640
Össztömeg	26 tonna
Logisztikai egység	73 raklap (4 teherautó)

A magyar kormány egy 8 fős kutató-mentő csapatot és egy polgári védelmi tisztet ajánlott fel [1]. Magyarország nemcsak szakértői szinten, hanem jelentős anyagi támogatással is képviseltette magát. A magyar segélyszállítmány 26 tonnát (73 raklapot) tett ki, amely több mint 28 000 almasziromot, 8 000 őszibarackkonzervet és 27 000 szelet csokoládét és konzervet tartalmazott a károsultak számára (3. táblázat) [1]. Az EU Polgári Védelmi Mechanizmus keretében közel 350 tonna humanitárius segélyt sikerült az uniós polgári védelmi szakértői csapatnak fogadnia és eljuttatnia Japán öt legjobban károsodott prefektúrájába (1. kép). Az EU és az EU tagállamok szolidaritásuk keretében, összesen 16 millió eurós támogatást adtak a földrengés, a szökőár és a nukleáris baleset által sújtott Japánnak [1].

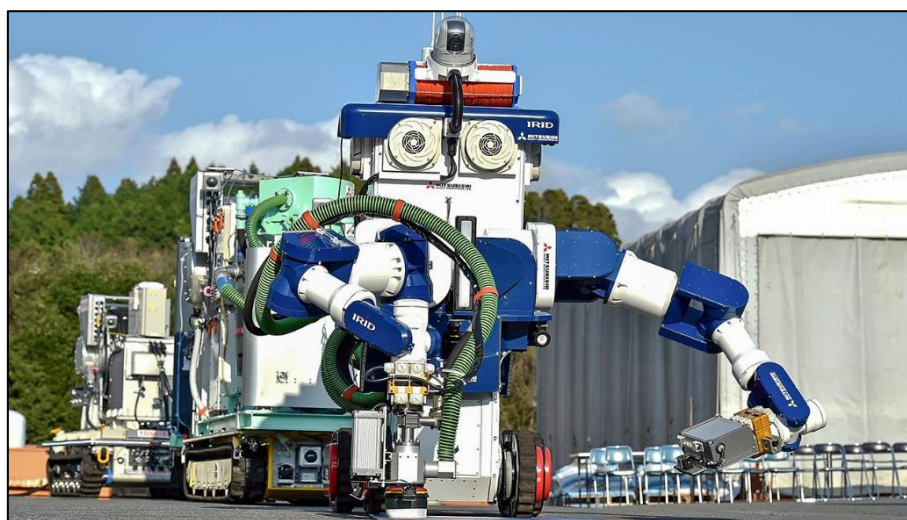


1. kép Magyar szakértő japánban, mint az EU Polgári Védelmi Csapat tagja, a fukushimai katasztrófa idején 2011. április 6-án, Miyagi Prefektúrában, a magyar kormányzati segélyszállítmány átadásán (fotó forrása: szerző)

Az EU Polgári Védelmi Csapat összetétele megfelelő volt, ennek alapján a tagok felkészültsége lehetővé tette azt, hogy a három fázisban felépített 3 hetes uniós misszió végrehajtásra kerüljön. A csapat összetétele megfelelő lehetett volna ahhoz is, hogy 5 szállítmánynál többet fogadjon Japánban [1].

3. VÁLTOZÁSOK A KATASZTRÓFA UTÁN

A 2011-es katasztrófa óta a Fukushima Daiichi atomerőműben a mentési munkálatokat a hosszú távú üzemben kívül helyezési (leszerelési) folyamat váltotta fel, amely várhatóan 2050-ig vagy még tovább tart majd [2][3]. Sugármentesítés és műszaki állapot tekintetében 2026 januárjában befejezték az 1-es blokk hatalmas védőburkolatának építését, amely megakadályozza a szennyezett por kijutását a törmelékeltakarítás alatt. A 4-es és 3-as blokk pihentető medencéiből már minden fűtőelemet kimentettek. Az 1-es és 2-es blokk medencéiben lévő rudak eltávolítását 2027-2028-ra tervezik és mivel a sugárzás szintje a reaktorok belsejében továbbra is halálos, robotkarokkal próbálnak mintát venni a megolvadt üzemanyag-törmelékéből. 2024-ben és 2025-ben sikerült az első milligrammnyi mintákat kinyerni a 2-es blokkból [4][5][6][6]. A 2015-ben bemutatott robotok – köztük az ASTACO-SoRa és az üzemanyag-kazetták vizsgálatára tervezett speciális eszközök – jelentették az átmenetet a puszta mentésből a szisztematikus leszerelésbe (2. és 3. kép) [3][4][5].



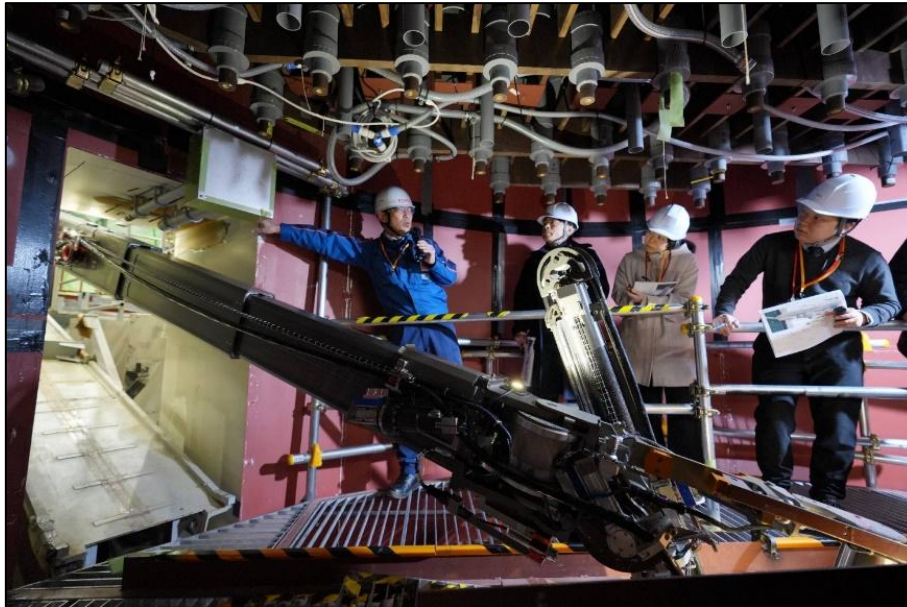
2. kép A tokiói Nemzetközi Nukleáris Leszerelési Kutatóintézet (IRID) 2015 decemberében mutatott be egy új robotot, amely segítséget nyújt a súlyosan megrongálódott fukushimai atomerőmű megtisztításában és leszerelésében, fotó: The Yomiuri Shimbun via AP Images [9]

Az erőmű területén felhalmozott, több mint 1,3 millió tonna szennyezett vizet egy speciális szűrőrendszerrel (ALPS) megtisztították a legtöbb radioaktív izotóptól (a trícium kivételével) [7][10].

4. táblázat Sugárzási szintek és biztonsági állapot változásai 2011. év és 2026. év összehasonlításában [7][10][11] alapján (szerző szerkesztése)

Jellemző	2011. március–április (katasztrófa)	2026. év (jelenlegi állapot)
Háttérsugárzás Tokióban	Időszakos emelkedések, radioaktív jód a csapvízben.	Normál szintű (0,03–0,05 $\mu\text{Sv/h}$), hasonló a világ nagyvárosaihoz.
Sugárzás az erőmű közelében	A 20 km-es zónán belül halálos dózisek; 58 km-re hatszoros emelkedés.	A legtöbb területen biztonságos, a látogatók védőruha nélkül is mozoghatnak az erőmű udvarán.
A reaktorok állapota	Folyamatos gőz- és gázkiáramlás, robbanásveszély, instabil hűtés.	Stabil „hideg leállás”, a reaktorok belseje robotokkal ellenőrzött, pormentes burkolat alatt.
Védőzónák	Szigorú 20 km-es tiltott zóna és 30 km-es óvintézkedési sáv.	A korábbi tiltott zóna 95%-a megnyílt, csak a közvetlen reaktorblokkok környezete zárt.
Ivóvíz és élelmiszer	Szigorú korlátozások (pl. spenót, tej, csapvíz tilalma).	Folyamatos ellenőrzés; a Fukushima környéki termények a legszigorúbban tesztelt élelmiszerek a világon.

2023 augusztusában megkezdődött a tisztított víz ellenőrzött leeresztése a Csendes-óceánba, amely 2026-ban is folyamatos. Eddig összesen 19 kört bonyolítottak le, a mérések szerint a trícium szintje messze a nemzetközi biztonsági határértékek alatt maradt [7][10]. A sugárzás csökkent (4. táblázat), mert a rövid felezési idejű izotópok (pl. Jód-131) napok alatt eltűntek. Az erőmű körüli talaj felső rétegét eltávolították, és a reaktorokat hermetikusan lezárták. A föld alatt egy mesterségesen fagyasztott talajréteg akadályozza meg, hogy a talajvíz bejusson a sérült épületekbe és onnan szennyeződést vigyen ki.



3. kép A Tokyo Electric Power Company Holdings (TEPCO) által bemutatott robotkar, amelyet a szökőár sújtotta fukusimai 1-es számú atomerőműben lévő nukleáris fűtőanyag-törmelék kísérleti eltávolításához fognak használni 2026-ban, fotó: POOL / VIA JIJI [15]

Fukushima prefektúra területének több mint 97%-a mára biztonságosan lakhatóvá vált. 2014 és 2022 között a legtöbb településen feloldották az kitelepít, a lakosságnak eddig csak mintegy 20%-a tért vissza eredeti otthonába [3][11]. A katasztrófa után Japán teljes atomflottáját leállították, de 2026-ig már 14 reaktort újraindítottak az ország más pontjain a szigorított biztonsági előírások mellett [16].

5. táblázat A hátralévő mérföldkövek [7][10][11] alapján (szerző szerkesztése)

Időszak	Tervezett feladat
2031-ig	Az összes pihentető medencében lévő fűtőelem (több ezer darab) kimentése.
2030–2040	A reaktormagokból a megolvadt törmelék folyamatos eltávolítása.
2041–2051	Az épületek teljes lebontása és a terület végleges megtisztítása.

Az 5. táblázatban szereplő ütemterv a „Középtávú és Hosszú távú Útiterv” (Mid-and-Long-Term Roadmap) legfrissebb módosításait tükrözi, amelyeket a japán kormány és a TEPCO a technikai nehézségek miatt többször is aktualizált. Az ütemterv tarthatósága nagyban függ az új robottechnológiák hatékonyságától és a sugárzási szintek csökkenésének ütemétől [12][13][14].

4. MODERN TECHNOLÓGIÁK A MENTESÍTÉSBN

A reaktorok belsejében a sugárzás még mindig azonnali halált okozna egy ember számára, a munka 100%-ban távirányítású. 2026 első felében a 2-es blokkban egy speciális, „teleszkópos” robotkarral próbálnak meg nagyobb mennyiségű mintát venni a reaktortartály alján lévő megolvadt anyagból. Ez kritikus, mert e minták kémiai összetétele alapján tervezik meg a nagymennyiség anyagkiemeléshez szükséges vágóeszközöket [7][10]. Minden egyes robotnak, amit beküldenek, egyedi akadályokkal kell megküzdenie (beomlott tartószerkezetek, extrém sugárzás, ami tönkreteszi az elektronikát). Ha egy robot elakad, a mentése hónapokig tarthat. 2027-ben kezdődhet meg a törmelék grammról grammra történő kimentése. Összesen körülbelül 880 tonna megolvadt üzemanyag és szerkezeti elem (fém, beton) keveréke található az 1-es, 2-es és 3-as blokkban. Nagy teljesítményű lézervágókat és robotizált „porszívókat” fejlesztenek, amelyek a víz alatt képesek feldarabolni és kiemelni a törmeléket [11][16]. Az 1-es blokk a legproblémásabb, mert itt a legsérültebb a szerkezet. 2028-ra tervezik a pihentető medencében maradt 392 darab fűtőelem-kazetta kiemelését. Ehhez egy teljesen új, hermetikusan zárt darurendszert építenek az épület tetejére, hogy elkerüljék a radioaktív por kiszabadulását [17][18][19]

5. FUKUSHIMA HATÁSA PAKSRA

A Paks II. projekt során alkalmazott 3-plusz generációs VVER-1200 reaktortípus tervezésekor közvetlenül felhasználták a fukushimai tanulságokat. Ennek eredményeként az új blokkokat úgynevezett „Fukushima-álló” védelemmel látják el.

1. Zónaolvadék-csapda (Core Catcher): ez az egyik legfontosabb biztonsági innováció, amely kifejezetten a fukushimaihoz hasonló súlyos balesetek kezelésére szolgál, ha a reaktortartály megsérülne, és az üzemanyag megolvadna, ez a hatalmas, 730 tonnás acéltartály felfogja és hűti az olvadékot. Megakadályozza, hogy a forró olvadék átégesse az alaplemezt és a talajba jusson. Speciális olvadótöltetet tartalmaz, amely neutronelnyelő anyagával leállítja a láncreakciót az olvadékban is [17].
2. Kettősfalú védőépület (konténment): a reaktort két, egymástól független vasbeton fal védi a környezettől. Rendkívül ellenálló, képes megvédeni a rendszereket akár egy nagy utasszállító repülőgép rázuhanása esetén is. Ellenáll továbbá tornádónak, robbanásnak és 9-es erősségű földrengésnek is. Nyomásálló és szivárgásmentes acélburkolattal van ellátva, amely baleset esetén megakadályozza a radioaktív anyagok kijutását [18][19]. A két fal közötti térből elszívott levegőt szűrőrendszeren keresztül tisztítják meg, mielőtt a környezetbe kerülne [20][21].

6. MISSZIÓ EREDMÉNYEINEK ELEMZÉSE

A misszió záróelemzése több kritikus pontra is rávilágított a nemzetközi válságkezelés terén:

- A japán prefektúrák és a központi minisztériumok közötti információáramlás sokszor akadózott [1].
- Az uniós csapat összetétele kiváló volt, de a jövőben szükség van az önálló költségkeret és a központilag biztosított egyéni védőeszközök rendszerének fejlesztésére [1]. Mivel a szakértőket a saját tagállamaik delegálják és a kiküldetést az ERCC finanszírozza, a terepen lévő csapatnak nincs közvetlen, azonnal elkölthető operatív büdzséje a helyi, előre nem látható logisztikai igények (pl. azonnali járműbérlet, tolmácsok, helyi eszközbeszerzés) fedezésére. Bár a csapat az EU-t képviseli, a szakértők gyakran a saját nemzeti hatóságaik (pl. katasztrófavédelem, tűzoltóság) által biztosított felszerelésben érkeznek a helyszínre. Központosítva a kék EU-s mellények vannak, a szakértők saját sisakot és speciális védőruházatot hoznak a küldetésre.
- A misszió bebizonyította, hogy a magyar katasztrófavédelmi szakértelem stratégiai szinten is megállja a helyét globális válsághelyzetekben [1].

Korábbi és jelenlegi gyakorlat, hogy az EUCPT mellett szinte minden misszióban bevetnek egy TAST, amelynek az egyik legfontosabb feladata a helyszíni készpénz (cash) kezelése. Jelenlegi gyakorlat, a TAST tagjai a Veszélyhelyzet-kezelési Koordinációs Központ (ERCC) utasítására meghatározott összegű és valutájú készpénzalapot (petty cash) visznek magukkal a misszió helyszínére.[24]

A készpénz alapot olyan azonnali, kis összegű, de kritikus fontosságú helyi kiadásokra költik, amelyeket nem lehet banki átutalással vagy központi szerződésekkel rendezni (pl. azonnali üzemanyag-vásárlás, helyi tolmácsok kifizetése, sürgős logisztikai vagy irodai eszközök beszerzése, javítások). Ha a missziót meghosszabbítják, újabb szakértők érkeznek, vagy váratlan költségek merülnek fel, az ERCC-n keresztül lehetőség van a TAST készpénzkeretének menet közbeni kiegészítésére vagy megemelésére (topping up) [24].

7. KÖVETKEZTETÉS

A fukushimai misszió mérföldkő az EU Polgári Védelmi Mechanizmusának történetében. Az elért eredmények – köztük 350 tonna segély célba juttatása – igazolják a nemzetközi szolidaritás és a szakmai koordináció erejét [1]. A fukushimai áramkimaradás tanulsága, hogy a rendszereknek külső áramellátás és emberi beavatkozás nélkül is működniük kell [22][23]. A fukushimai robbanásokat a felgyülemlett hidrogén okozta. Paks II. esetében passzív hidrogén-rekombinátorokat építenek be, amelyek lángmentesen vízzé alakítják a hidrogént, megelőzve az épület sérülését. Ezek a fejlesztések garantálják, hogy a reaktor baleseti helyzetben is kontroll alatt tartható maradjon, és ne legyen szükség a lakosság tömeges kitelepítésére az erőmű közvetlen környezetén kívül [25]. Fukushima 2026 áprilisában már nem csupán a katasztrófa helyszíne, hanem a megújulás és a hosszú távú kármentesítés szimbóluma Japánban. A 15. évforduló után a régióban a hangsúly a nukleáris leszerelés legnehezebb szakaszára és a lakosság visszatérésének ösztönzésére tolódott [26][27]. A 2011-ben leállított 33 működőképes reaktorból mára 14 egység újra termel, miután megfeleltek a világ legszigorúbb biztonsági előírásainak (pl. repülőgép-becsapódás elleni védelem, tenger alatti gátak). A japán kormány 2023-ban döntött az atomenergia hosszú távú fenntartásáról. Ez magában foglalja a meglévő blokkok élettartamának 60 évre (vagy azon túlra) való meghosszabbítását és új generációs SMR (kis moduláris) reaktorok fejlesztését. A Fukushima prefektúra célja, hogy 2040-re 100%-ban megújuló energiából fedezze szükségleteit, ezzel ellensúlyozva a múltbeli nukleáris tragédiát. Jelenleg itt működik a világ egyik legnagyobb napenergia-alapú hidrogéntermelő üzeme (FH2R) [29][30].

A japán közvélemény az elmúlt 15 évben drámai utat járt be: a katasztrófa utáni teljes elutasítástól mára a gazdasági és energetikai kényszer hatására egyfajta „pragmatikus elfogadásig” jutottak el [28]. A közvéleményben 2022–2023 környékén következett be áttörés, amikor több mint egy évtized után először került többségbe az újraindítást támogatók aránya [29]. Az orosz-ukrán háború miatti globális energiaválság és a rekord magas villamosenergia-árak megváltoztatták a prioritásokat. A japánok 81%-a érzi az emelkedő rezsiköltségek terhét, ami sokakat az atomenergia elfogadása felé terelt [29]. A kutatások szerint a fiatalabb generációk (18–29 év közöttiek) körében a legmagasabb, akár 70% feletti az atomenergia támogatottsága, míg az idősebbek továbbra is kritikusabbak [29]. Az új blokkok építése (mint amilyen Paks II.) még mindig megosztja a társadalmat: kb. 45% támogatja és 46% ellenzi az új generációs reaktorok telepítését. A japán lakosság nem vált hirtelen „atombaráttá”, de a klímavédelmi célok (nettó nulla kibocsátás 2050-re) és a gazdasági realitások miatt mára a többség elkerülhetetlennek tartja a nukleáris energia használatát [30][31]

6. táblázat Összehasonlítás japán és a magyar társadalom hozzáállása az atomenergiáról [34][35][36][37][38] alapján (szerző szerkesztése)

Szempont	Japán (2026)	Magyarország (2026)
Általános támogatottság	Mérsékelt (51%): Hosszú idő után először többségi, de törékeny.	Magas (70% felett): Stabil és évtizedek óta konzisztens.
Fő motiváció	Gazdasági kényszer: Magas energiaárak és importfüggőség csökkentése.	Szakmai hagyomány: Az ország villamosenergia-biztonságának alapköve.
Fő aggály	Biztonság és katasztrófa: A fukushimai események emléke (földrengésveszély).	Környezeti hatások: Elsősorban a radioaktív hulladék elhelyezése.
Fiatalok hozzáállása	Nyitottabbak, a klímavédelmet tartják szem előtt.	Hasonló a többséghez, kevésbé tartják kockázatosnak.
Új blokkok építése	Óvatos (45%): Erős társadalmi vita övezi az új építéseket.	Támogató (kb. 60-65%): A többség egyetért Paks II. szükségességével.

A japán és a magyar társadalom hozzáállása az atomenergiához alapvetően eltérő történelmi és tapasztalati háttérből táplálkozik. Míg Japánban a trauma és az elfogadás kettőssége jellemző, Magyarországon a hagyományosan magas támogatottság dominál. Magyarországon (6. táblázat) a Paksi Atomerőmű több mint 40 éve megbízhatóan és nagyobb incidensek (leszámítva a 2003-as üzemzavart) nélkül működik, ami erős bizalmi tőkét épített ki [34][35][36][37][38].

8. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Jackovics, Péter Szakmai élménybeszámoló a fukushimai kárhelyről POLGÁRI VÉDELMI SZEMLE XIV. évfolyam, 14 (KSZ). pp. 28-38. (2022) ISSN 1788-2168 [Online] Elérhetőség: https://real.mtak.hu/138490/1/Japan_Fukushima_cikk_PV_Szemle_PJackovics.pdf (2026.04.14.)
- [2] Alex Hunt Fukushima Daiichi: How is the decommissioning process going to work? World Nuclear News [Online] Elérhetőség: <https://www.world-nuclear-news.org/articles/fukushima#:~:text=Fukushima%20Daiichi:%20How%20is%20the%20decommissioning%20process%20going%20to%20work?,-By%20Alex%20Hunt&text=The%20decommissioning%20process%20for%20the,Agency's%20General%20Conference%20in%20Vienna> (2026.04.14.)
- [3] Fukushima Update FAQ honlapja About Fukushima Daiichi Nuclear Power Station [Online] Elérhetőség: https://fukushima-updates.reconstruction.go.jp/en/faq/fk_210.html#:~:text=Decommissioning%20work%20is%20still%20ongoing,and%20keeping%20the%20debris%20stable (2026.04.14.)
- [4] Tepco hivatalos honlapja: Roadmap on the Way to Decommissioning [Online] Elérhetőség: <https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/project/roadmap/index-e.html#:~:text=At%20the%20Fukushima%20Daiichi%20Nuclear,Completed%20on%20January%2019%2C%202026> (2026.04.14.)
- [5] Nippon hivatalos honlapja: Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Tours: Trust Building with an Eye to the Challenges Ahead [Online] Elérhetőség: <https://www.nippon.com/en/japan-topics/g02589/#:~:text=the%20Challenges%20Ahead-,Fukushima%20Daiichi%20Nuclear%20Power%20Station%20Tours:%20Trust%20Building%20with%20an,upper%20part%20of%20the%20building> (2026.04.14.)

- [6] Tepco hivatalos honlapja: Status of Each Unit of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station [Online] Elérhetőség: <https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/progress/about/index-e.html#:~:text=At%20Unit%201%2C%20the%20installation,in%20fiscal%20years%202027%2D2028> (2026.04.14.)
- [7] Kim Bo-yeon CHOSUNBIZ honlapja: Japan boosts Fukushima wastewater discharge 14% in 2026 plan [Online] Elérhetőség: <https://biz.chosun.com/en/en-international/2026/01/22/CQGJAM2M2FDTJEWYD4CHH5CQ5E/> (2026.04.14.)
- [8] BM OKF Útjelentés (2011) [Belső anyag]
- [9] Science hivatalos honlapja [Online] Elérhetőség: <https://www.science.org/content/article/how-robots-are-becoming-critical-players-nuclear-disaster-cleanup#:~:text=After%20the%20catastrophe%20of%202011,Tim%20Trainer%20in%20Bedford%2C%20Massachusetts> (2026.04.15.)
- [10] Nippon hivatalos honlapja: Fukushima N-Plant Begins Treated Water Discharge for FY 2026 [Online] Elérhetőség: <https://www.nippon.com/en/news/yjj2026040200523/#:~:text=News,The%20Jiji%20Press%2C%20Ltd.%5D> (2026.04.14.)
- [11] Yomiuri Shimbun The Japan News hivatalos honlapja: Fukushima Towns Only Back to 20% of Population Before Nuclear Disaster [Online] Elérhetőség: <https://japannews.yomiuri.co.jp/society/general-news/20260309-315362/#:~:text=Over%20half%20of%20the%20population,2022%2C%20allowing%20residents%20to%20return> (2026.04.14.)
- [12] Environmental Health News honlapja: Fukushima fuel debris removal pushed to at least 2037 amid cleanup delays [Online] Elérhetőség: <https://www.ehn.org/fukushima-fuel-debris-removal-pushed-to-at-least-2037-amid-cleanup-delays#:~:text=energy-,Fukushima%20fuel%20debris%20removal%20pushed%20to%20at%20least%202037%20amid,material%20across%20land%20and%20sea> (2026.04.15.)
- [13] The Asahi Shimbun honlapja: Fukushima debris removal delayed again, deadline in peril [Online] Elérhetőség: <https://www.asahi.com/ajw/articles/15934878> (2026.04.15.)
- [14] The Asahi Shimbun honlapja: Japan to maximize nuclear power in clean-energy push as electricity demand grows [Online] Elérhetőség: <https://www.asahi.com/ajw/articles/15566041> (2026.04.15.)
- [15] The Japan Times honlapja: Tepco unveils new robot arm for nuclear debris removal [Online] Elérhetőség: <https://www.japantimes.co.jp/news/2026/02/26/japan/tepco-new-robot-debris-removal/#:~:text=A%20robot%20arm%20unveiled%20by,2%20reactors> (2026.04.15.)
- [16] Slade Johnson, Jonathan Russo U.S. Energy Information Administration honlapja, Today in Energy, Since the 2011 Fukushima accident, Japan has restarted 14 nuclear reactors [Online] Elérhetőség: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=64204#> (2026.04.14.)
- [17] Országos Atomenergia Hivatal honlapja: Az Országos Atomenergia Hivatal kiadta a Paks II. Atomerőmű Zrt. kérelmére indult eljárásban az olvadéksapda gyártási engedélyét [Online] Elérhetőség: <https://www.haea.hu/web/v3/oahportal.nsf/web?OpenAgent&article=news&uid=606A13A61E63EB0BC125887100549057> (2026.04.14.)



- [18] Országos Atomenergia Hivatal honlapja: Tudtad-e, hogy mitől lesz biztonságos egy atomerőmű [Online] Elérhetőség: <https://paks2.hu/web/guest/w/tudtad-e-hogy-mitol-lesz-biztonsagos-egy-atomeromu-> (2026.04.14.)
- [19] Lakossági tájékoztató Paks II. Zrt. [Online] Elérhetőség: <https://katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2021-03/74513.pdf> (2026.04.14.)
- [20] Magyar Építőkhonlapja: Paks II. – aktív és passzív rendszerek szolgálják a biztonságot [Online] Elérhetőség: <https://magyarepitok.hu/iparagi-hirek/2024/01/paks-ii-aktiv-es-passziv-rendszerek-szolgajak-a-biztonsagot#:~:text=Az%20%C3%BAj%20blokkokban%20a%20reaktor%20%C3%A9s%20a,ennek%20k%C3%B6sz%C3%B6nhet%C5%91en%20k%C3%A9pes%20ellen%C3%A1llni%20f%C3%B6ldreng%C3%A9snek%2C%20sz%C3%B6k%C5%91%C3%A1rnak%2C%20k%C3%BCls%C5%91> (2026.04.14.)
- [21] Deme Sándor PAKS II. Atomerőmű környezeti sugárvédelme – kapcsolódó műszaki megoldások, Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest (2021) Sugárvédelem XIV. évf. (2021) 1. szám. 13–23. [Online] Elérhetőség: https://www.elftsv.hu/svonline/docs/V14i1/Dem_V14i1.pdf (2026.04.14.)
- [22] Antal-Farkas Zoltán, Vass Gyula, Kátai-Urbán Lajos. (2023). MVM Paksi Atomerőmű biztonsági kérdései. Védelem Tudomány a Katasztrófavedelem Online Szakmai, tudományos folyóirata, 8 (klsz). [Online] Elérhetőség: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/13919> (2026.04.14.)
- [23] Portfólió honlapja: Gergely András, Megérkezett Paks II. egyik legfontosabb biztonsági nagyberendezése [Online] Elérhetőség: <https://www.portfolio.hu/gazdasag/20241014/megerkezett-paks-ii-egyik-legfontosabb-biztonsagi-nagyberendezese-715425#:~:text=Az%20olvad%C3%A9kcsapba%20az%20%C3%A9p%C3%BCl%C5%91%203+%20gener%C3%A1ci%C3%B3s%20VVER%2D1200%2Das,%C3%BCzembe%20%C3%A9p%C3%A9s%C3%A9hez%20nincs%20sz%C3%BCks%C3%A9g%20emberi%20beavatkoz%C3%A1sra%2C%20puszt%C3%A1n> (2026.04.14.)
- [24] Technical Assistance and Support Teams T A S T, Guidance Document, 2021. április., Verziószám 2-es, [Online] Elérhetőség: <https://ercportal.jrc.ec.europa.eu/DesktopModules/ResponseCapacity/Documents/TAST%20guidance%20document.pdf> (2026.05.18.)
- [25] Paks II. Zrt honlapja: Safety has a higher importance [Online] Elérhetőség: <https://www.paks2.hu/web/paks-2-en/w/safety-has-a-higher-importance> (2026.04.14.)
- [26] Nippon honlapja: The first small steps: debris removal at Fukushima Daiichi [Online] Elérhetőség: <https://www.nippon.com/en/japan-topics/g02501/#:~:text=%E2%80%9CWe%20therefore%20foresaw%20no%20safety,charge%20of%20the%20decommissioning%20project> (2026.04.14.)
- [27] Daniel B. Poneman, Clara Gillispie Japan’s Energy Picture Fifteen Years Post-Fukushima the Council on Foreign Relations (2026) [Online] Elérhetőség: <https://www.cfr.org/articles/japans-energy-picture-fifteen-years-post-fukushima> (2026.04.14.)
- [28] Kitada, A. Public opinion changes after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident to nuclear power generation as seen in continuous polls over the past 30 years. Journal of Nuclear Science and Technology, 53(11), (2016). 1686–1700. [Online] Elérhetőség: <https://doi.org/10.1080/00223131.2016.1175391> (2026.04.14.)

- [29] David Dalton Poll Shows ‘Staggering Reversal’ In Public Opinion On Nuclear Restarts, Nucnet honlap [Online] Elérhetőség: <https://www.nucnet.org/news/poll-shows-staggering-reversal-in-public-opinion-on-nuclear-restarts-2-3-2023> (2026.04.14.)
- [30] The World Nuclear News honlapja: Poll finds record support for Japanese reactor restart [Online] Elérhetőség: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Poll-finds-record-support-for-Japanese-reactor-res#:~:text=The%20Asahi%20Shimbun%20conducted%20a,favour%20while%2047%25%20were%20opposed.&text=The%20survey%20asked%20respondents%20if,built%20while%2046%25%20are%20opposed> (2026.04.15.)
- [31] The Asahi Shimbun honlapja: 50% in favor of restarting idle nuclear plants [Online] Elérhetőség: <https://www.asahi.com/ajw/articles/15171725#:~:text=Nearly%2013%20years%20after%20the,ratio%20decreased%20with%20elderly%20respondents> (2026.04.15.)
- [32] Japan Atomic Industrial Forum honlapja: The Japan Atomic Energy Relations Organization (JAERO) felmérése [Online] Elérhetőség: <https://www.jaif.or.jp/en/news/7462#:~:text=JAERO%20has%20been%20carrying%20out,should%20be%20increased%20or%20not> (2026.04.15.)
- [33] V. András Ferenc Fukusimai árnyékában – Az atomra „tesz” újra Japán, Tőzsdefórum honlapja [Online] Elérhetőség: <https://tozsdeforum.hu/gazdasag/nyersanyag/fukusimai-arnyekaban-az-atomra-tesz-ujra-japan/#:~:text=Gazdas%C3%A1gi%20k%C3%A9nyszer%20%C3%A9s%20politikai%20akarat.%20Takaichi%20Szanae,a%20nett%C3%B3%20nulla%20kibocs%C3%A1t%C3%A1st%2020m%C3%A1sr%C3%A9szt%20ki%20kell> (2026.04.15.)
- [34] The Asahi Shimbun honlapja: Survey: 93% of election winners favor revisions of Constitution [Online] Elérhetőség: <https://www.asahi.com/ajw/articles/photo/70899198> (2026.04.15.)
- [35] International Atomic Energy Agency honlapja: Fukushima Daiichi Status Updates [Online] Elérhetőség: <https://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/status-update> (2026.04.15.)
- [36] Portfólió honlapja: Friss felmérés érkezett a Paks II. projekt társadalmi elfogadottságáról [Online] Elérhetőség: <https://www.portfolio.hu/gazdasag/20251216/friss-felmeres-erkezett-a-paks-ii-projekt-tarsadalmi-elfogadottsagarol-806500> (2026.04.15.)
- [37] Nézőpont honlapja: A magyarok 78 százaléka nem érez jelentős emelkedést a rezsiköltségekben [Online] Elérhetőség: <https://nezopont.hu/hu/tevekenyseink/kozvelemen-y-kutatasok/a-magyarok-78-szazaleka-nem-erez-jelentos-emelkedest-a-rezsikoeltsegekben> (2026.04.15.)
- [38] Századvég honlapja: Növekszik az atomenergia társadalmi támogatottsága Európában [Online] Elérhetőség: <https://szazadveg.hu/cikkek/novekszik-az-atomenergia-tarsadalmi-tamogatottsaga-europaban-2/> (2026.04.15.)
- [39] Országos Atomenergia Hivatal: Atomerőmű rendszeres jelentései, Verzió száma: 5., 2021. május [Online] Elérhetőség: [https://www.haea.hu/web/v3/OAHportal.nsf/ACA1C323EB58E62DC1257BE9002CD900/\\$File/A1_24_v%C3%A9gleges_.pdf](https://www.haea.hu/web/v3/OAHportal.nsf/ACA1C323EB58E62DC1257BE9002CD900/$File/A1_24_v%C3%A9gleges_.pdf) (2026.04.15.)

- [40] BBC honlapja: Japan to increase reliance on nuclear energy in post Fukushima shift [Online] Elérhetőség: <https://www.bbc.com/news/articles/c5yeyy3y1ejo#:~:text=Japan%20to%20increase%20reliance%20on%20nuclear%20energy%20in%20post%2DFukushima,energy%20was%20from%20nuclear%20sources> (2026.04.15.)
- [41] European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations honlapja: EU steps up support for disaster preparedness and humanitarian aid in Asia [Online] Elérhetőség: https://civil-protection-humanitarian-aid.ec.europa.eu/news-stories/news/eu-steps-support-disaster-preparedness-and-humanitarian-aid-asia-2026-03-30_en#:~:text=This%20announcement%20comes%20as%20Commissioner,claimed%20more%20than%20240%20lives (2026.04.15.)

A kockázat alapú gondolkodás gyakorlati elemei a kritikus szervezeteknél III. rész - A kritikus szervezetek gyakorlatai

Practical elements of risk-based thinking in critical entities Part III. - Exercises of critical entities

Horváth Tímea t. alezredes szerző Tolna Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság iparbiztonsági főfelügyelő Email: timea.horvath@katved.gov.hu ORCID: 0009-0001-2341-7525 	Dr. Hábermayer Tamás t. ezredes szerző Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet egyetemi adjunktus Email: dr.habermayer.tamas@katved.gov.hu ORCID: 0000-0002-6677-9163 
---	---

Absztrakt:

Az Európai Unió szabályozás alapján hazánkban is megtörtént a jogszabályi környezet kialakítása és 2024. év végén megjelentek a jogszabályok a hazai kritikus szervezetekre és infrastruktúrára vonatkozóan. Az új szabályok alapján a kritikus, valamint az ország védelme és biztonsága szempontjából jelentős szervezetek és infrastruktúrák ellenálló képességének, felkészültségének felmérésére az egyik leghatékonyabb eszköz a gyakorlatok végrehajtása. Az ellenálló képességi tervek kidolgozását, majd a hatóság által történő elfogadását követően valamennyi kritikus szervezetnek évente legalább egyszer ellenálló képességi gyakorlatot kell önállóan végrehajtania a 2026. évtől kezdődően. A szerzők a korábban megjelent, a kockázat alapú gondolkodás gyakorlati elemeiről szóló két rész folytatásaként jelen cikkkel az ellenálló képességi gyakorlatok szakszerű előkészítését és gyakorlati megvalósítását kívánják támogatni.

Kulcsszavak: reziliencia, ellenálló képesség, kritikus szervezetek gyakorlatai, kritikus infrastruktúra, ellenálló képességi terv, rendkívüli esemény, riasztási lánc, ellátási lánc

Abstract:

In accordance with European Union regulations, Hungary has also established a legal framework. Legislation pertaining to domestic critical organisations and infrastructure was enacted at the end of 2024. Under the new rules, conducting exercises is one of the most effective tools for assessing the resilience and preparedness of critical organisations and infrastructure. These exercises are also vital for organisations significant to the country's defence and security. After developing resilience plans and receiving approval from the authorities, all critical organisations must conduct a resilience exercise independently. This exercise must be held at least once a year, starting in 2026. This article continues from the two previously published parts on practical risk-based thinking. The authors aim to support professional preparation and practical implementation of resilience exercises.

Keywords: resilience, resistance ability, exercises of critical entities, critical infrastructure, resilience plan, extraordinary event, alert chain, supply chain

1. BEVEZETÉS

A kritikus infrastruktúrák védelmének szabályozása Magyarországon visszanyúl egészen a 90-es évek végére, a mai katasztrófavédelmi szervek jogelőd szervezeteihez. [1] Hosszú folyamat vezetett a meglévő szabályozás átdolgozásához, amely során a kritikus infrastruktúrák védelméről az ellenálló képesség fokozására, fejlesztésére szükséges áthelyezni a hangsúlyt. Az Európai Unió szabályozás alapján a hosszas előkészítő és implementáló munka eredményeként 2024. év végén megjelentek a hazai kritikus szervezetekre és infrastruktúrákra vonatkozó jogszabályok. A nemzeti sajátosságokra vonatkozó részletszabályok a védelmi és biztonsági tevékenységek összehangolásáról szóló törvényben kaptak helyet. [2] A kritikus, valamint az ország védelme és biztonsága szempontjából jelentős szervezetek és infrastruktúrák (a továbbiakban együttesen: kritikus szervezet, kritikus infrastruktúra) új szabályrendszere alapján az ellenálló képesség és felkészültség felmérésére az egyik leghatékonyabb eszköz az előírt gyakorlatok minél magasabb szintű szakmaisággal történő végrehajtása. A vonatkozó jogszabály szerint az ellenálló képességi tervek kidolgozását és a hatóság által történő elfogadását követő évtől valamennyi kritikus szervezetnek évente legalább egyszer ellenálló képességi gyakorlatot kell önállóan végrehajtania. A hatályos szabályozó szerinti első ellenálló képességi gyakorlatokra így már a 2026. évtől sor kerül. A CER irányelvbe¹ beépültek a tagállamok által a korábbi évek során szerzett szakmai tapasztalatok. Az irányelv átfogó keretet hozott létre, amely figyelmet fordít a kritikus szervezetek valamennyi – akár természeti vagy ember okozta, véletlen vagy szándékos – veszéllyel szembeni rezilienciájára. A CER irányelv szakít az ECI irányelv² megközelítésével és tizenegy ágazatra vonatkozóan határoz meg követelményt, közben a kritikus szervezetek ellenálló képességére összpontosít, kockázatalapú gondolkodást [3. p. 15] követel meg, valamint a követelmények támasztása mellett a kritikus szervezetek támogatását is előírja a tagállamok számára.

2. AZ ELLENÁLLÓ KÉPESSÉGI GYAKORLATOK TÍPUSAI, KÖVETELMÉNYEI

A kritikus szervezetnek a védelmi intézkedései megfelelőségére irányuló ellenőrzése érdekében önállóan ellenálló képességi gyakorlatot, illetve a hatósággal és a rendkívüli, kontrollált rendkívüli események kezelésében érintett szervezetekkel közösen komplex ellenálló képességi gyakorlatot kell terveznie és megtartania. A jogalkotó egy harmadik gyakorlati típust is meghatároz, az ún. stressz-tesztet, melyet kizárólag hatósági felkérés alapján folytatnak le.

Az országos szintű tapasztalatok alapján a kritikus szervezetek esetében a gyakorlatok, komplex gyakorlatok eredményeinek feldolgozása és hasznosulása a reziliencia szempontjából kiemelkedő eredmény. [4, p. 122.] A kritikus szervezetek ellenálló képességéről szóló 2024. évi LXXXIV. törvény (Ksze. törvény), továbbá a kritikus szervezetek ellenálló képességéről szóló törvény végrehajtásáról szóló 474/2024. (XII. 31.) Korm. rendelet (Ksze. törvény végrehajtási rendelete) a kritikus szervezetek ellenálló képességi tervében foglaltak megfelelősége és az egyedi ellenálló képesség vizsgálata érdekében – évente legalább egy alkalommal – ellenálló képességi gyakorlat megtartását határozza meg. Az ellenálló képességi gyakorlatot a biztonsági környezetre is figyelemmel, a rendkívüli esemény kezelésével összefüggésben a kritikus szervezet valamennyi telephelyére, valamint az egyes kockázatokkal összefüggésben legalább egy telephelyére vonatkozóan kell megtartani. Az ország védelme és biztonsága szempontjából jelentős szervezetekre és infrastruktúrákra a védelmi és biztonsági tevékenységek összehangolásáról szóló 2021. évi XCIII. törvény (Vbő. törvény) – egyes kivétellel – a Ksze. törvényben foglaltakat rendeli alkalmazni, ezzel egyenértékűnek tekinti a két szabályozás alapján kijelölt szervezeteket és infrastruktúrákat, ezért a továbbiakban együttesen a kritikus szervezetek, kritikus infrastruktúrák elnevezést alkalmazzuk a szabályok ismertetése során.

¹ CER: a kritikus szervezetek rezilienciájáról és a 2008/114/EK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről szóló az Európai Parlament és a Tanács 2022. december 14-i (EU) 2022/2557 irányelv.

² ECI: az európai kritikus infrastruktúrák azonosításáról és kijelöléséről, valamint védelmük javítása szükségességének értékeléséről szóló 2008/114/EK irányelv.

2.1. Az ellenálló képességi gyakorlatok általános követelményei

A jogszabály³ szerint a Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (BM OKF), mint általános kijelölő hatóság meghatározza és a honlapján közzé teszi a kritikus szervezetek egységes és kockázatarányos ellenálló képességének elérése, valamint az ellenálló képességi gyakorlatok megszervezésének támogatása és lebonyolítása érdekében az értékelés szempontjainak és a gyakorlat eredményeként készült irat megküldésének követelményeit. Előfordul, hogy egy kritikus szervezet több kritikus infrastruktúrával is rendelkezik, ebben az esetben a BM OKF meghatározhatja az éves ellenálló képességi gyakorlatok számát és a gyakorlattal érintett kritikus infrastruktúrák körét.

A jogszabályi, tervezési, szervezési és végrehajtási követelmények az ellenálló képességi gyakorlatok esetén:

1. Fontos, hogy az ellenálló képességi gyakorlat tesztelje és fejlessze az adott szervezet és infrastruktúra ellenálló képességét, továbbá az ellenálló képességi tervben a szervezet által megjelölt szervezeti és eszközrendszert a tesztelés mellett gyakoroltassa (észlelés, reagálás, riasztás, tartalék eszközök, rendszerek alkalmazása, kommunikáció). Kiemelt szempont, hogy figyelembe vegye az ágazati, alágazati és területi sajátosságokat.
2. A gyakorlat során meg kell vizsgálni – évente – a szervezet szempontjából legjelentősebb kockázatok közül legalább egy (komplex gyakorlatnál legalább kettő) kockázatra figyelemmel a megfelelőséget. A gyakorlat mutasson rá az ágazatok, az alágazatok, az alapvető szolgáltatások, a kritikus szervezetek vagy a kritikus infrastruktúrák függőségére (függés egy másik szervezet által nyújtott szolgáltatástól pl. áramszolgáltatás), kölcsönös függőségére és kitettségére egyaránt, továbbá a szervezetnek, az infrastruktúrának az ellenálló képességgel kapcsolatos esetleges hiányosságaira, a riasztási lánc esetleges nem megfelelő működésére.
3. A gyakorlatnak elő kell segítenie az események – rendkívüli események – megelőzését (védelmi rendszerek kialakításával), a hatékony kezelést (a munkavállalók ismerjék az esemény bekövetkezésekor a legfontosabb teendőket), a reagálást és az alapvető szolgáltatás gyors helyreállítását. Követelmény a gyakorlattal szemben, hogy kockázatelemzésen alapuljon a forgatókönyve.
4. Szempont, hogy a gyakorlat végrehajtása a valós végrehajtáshoz hasonlítson, és amennyiben a szervezet számára más típusú gyakorlatot (pl. belső védelmi gyakorlatot) is előír a jogszabály, akkor az a végrehajtásáért felelős személyekkel (pl. belső védelmi tervgyakorlat esetén a veszélyes ipari védelmi ügyintézővel) egyeztetve kerüljön megtervezésre és végrehajtásra.
5. Az ellenálló képességi gyakorlatokkal kapcsolatban jogszabályban rögzített köteleesség a kijelölt kritikus szervezet vezetője részére, hogy a kritikus munkakörbe tartozó érintett személyek részvételét biztosítani szükséges, mint az is, hogy az érintett kritikus munkakörbe tartozó személyek részt vesznek a gyakorlaton (avagy teszten). További jelentős követelmény az ellenálló képességi gyakorlattal kapcsolatban, hogy a tervezésben, előkészítésben, lebonyolításban részt vesznek a gyakorlattal érintett kockázatért felelős (pl. gépkezelő), valamint a gyakorlat során feltételezett rendkívüli eseményben érintett személyek (pl. létesítményi tűzoltóság beavatkozó állománya).

A hatályos szabályozó az ellenálló képességi gyakorlatok végrehajtásának koordinálását a kritikus szervezetnél feladatokat ellátó – alkalmazásban álló vagy megbízott – ellenálló képességért felelős vezető kezébe helyezi, aki a gyakorlatokat és annak eredményét – a kijelölő hatóság által kiadásra

³ Ksze. törvény és végrehajtási rendelete.

kerülő útmutató alapján – értékeli, dokumentálja, továbbá az értékelést az éves értékelő jelentésének részeként küldi meg a BM OKF részére. A jogszabály kizárólag az ellenálló képességi gyakorlat tervezésében, előkészítésében, lebonyolításában érintett – a kritikus szervezet – munkavállalói részvételét határozza meg kötelező jelleggel, emellett lehetőséget ad arra, hogy a közreműködő szervezetek, az eseménykezelésben feladat- és hatáskörrel rendelkező szervek, a hatáskörrel rendelkező hatóságok bevonásra kerülhetnek. Ez utóbbi ugyan lehetőség, de fontos lehet az éves ellenálló képességi gyakorlatok során az ellenálló képesség valós tesztelése, a szervezetek közötti kapcsolatok erősítése, egy esetleges esemény során a kommunikáció, együttműködés hatékonyabbá tétele érdekében. A komplex ellenálló képességi gyakorlatnál és a stressz-tesztnél egyedi sajátosság, hogy a BM OKF mint általános kijelölő hatóság éves hatósági ellenőrzési terve alapján történő kijelölése útján kerül megtervezésre és végrehajtásra. A jogszabály szabályozza az ellenálló képességi gyakorlat tekintetében a szervezet alapvető szolgáltatásának korlátozására – arányos mértékben és a szükséges ideig –, és a gyakorlatok soron kívüli végrehajtására – hatóság előírhatja – vonatkozó követelményeket is.

2.2. A komplex ellenálló képességi gyakorlat részletszabályai, követelményei

A komplex ellenálló képességi gyakorlat célja a kritikus szervezet ellenálló képességi tervében megjelölt szervezeti és eszközrendszer alkalmasságának, továbbá a kritikus szervezet és a rendkívüli esemény kezelésében érintett szervezetek együttműködésének vizsgálata. A szabályozó meghatározza, hogy a BM OKF az éves hatósági ellenőrzési tervében, továbbá a Vbö. törvényben foglaltakra is figyelemmel a kijelölt kritikus szervezettel együttműködve komplex ellenálló képességi gyakorlatot tart. Az ellenálló képességi gyakorlattartási kötelezettségéről az adott kritikus szervezetet a BM OKF az adott év január 15 napjáig értesíti. A komplex ellenálló képességi gyakorlat tervezésére és végrehajtására vonatkozó követelményeket a hatályos szabályozók tartalmazzák, melyek értelmében legalább két kockázatot kell, hogy érintsen a gyakorlat. Egy vagy több érintett hatósággal, partner szervezettel (beszállítóval) tesztelni szükséges az együttműködést. A kritikus szervezetnek több szervezeti egységét kell, hogy érintse, továbbá ki kell terjednie a rendkívüli eseményhez vezető okokra, a rendkívüli esemény következményeire, esetleges dominóhatására. A jogszabály értelmében kötelező a szervezet érintett kritikus munkakörbe tartozó személyeinek részt venni komplex ellenálló képességi gyakorlaton, és a kritikus szervezet is köteles biztosítani a kritikus munkakörben foglalkoztatottak részvételét. A vonatkozó szabályozás szerint a komplex ellenálló képességi gyakorlat megfelelőségét a BM OKF, mint általános kijelölő hatóság értékeli, aki a gyakorlatot a helyszínen minősíti. A komplex ellenálló képességi gyakorlat eredménye, minősítése kétféle lehet. *Megfelelt*, avagy *nem megfelelő*. A jogszabály a *nem megfelelő* minősítés esetére több kötelezettség és intézkedés megtételét írja elő. Az általános kijelölő hatóság (azaz a BM OKF) kötelező határozatot bocsát ki az adott szervezet részére, melyben határidő megadásával a komplex ellenálló képességi gyakorlat megismétlésére kötelezi a kritikus szervezetet. Ebben a megismétlő gyakorlat elmulasztásának jogkövetkezményeire is felhívja a szervezet vezetőjének figyelmét, azaz, hogy az ismételt komplex ellenálló képességi gyakorlat megtartásának elmulasztása vagy ismételt *nem megfelelő* minősítése esetén jogszabályban rögzítettek szerinti bírság kiszabásának van helye. Abban az esetben, ha az ellenálló képességi tervben foglaltak olyan mértékben eltérnek a valóságtól, hogy ez az alapvető szolgáltatást befolyásolhatja, a gyakorlat *nem megfelelő* minősítést kaphat. A nem megfelelő komplex ellenálló képességi gyakorlat következménye, hogy a kritikus szervezetnek felül kell vizsgálni a hatályos ellenálló képességi tervét, és szükség esetén módosítania kell.

A jogszabály szerint az általános kijelölő hatóság hatósági felhívásban kötelezést adhat ki az adott kritikus szervezet részére a sikertelen komplex ellenálló képességi gyakorlatot követően szükséges intézkedések megtételére, az ellenálló képességi terv módosítására, annak elkészítési és benyújtási határidejére vonatkozóan. Amennyiben a kritikus szervezet a hatósági felhívásban foglaltaknak nem tesz eleget, úgy vele szemben a hatóság szankcióként a döntésben foglaltak nem teljesítése esetén a bírság kiszabását alkalmazhatja. A jogszabály kedvezményként lehetővé teszi a kritikus szervezet számára, hogy amennyiben az adott évben komplex ellenálló képességi gyakorlat lefolytatására

kötelezett, akkor azzal az adott évben esedékes ellenálló képességi gyakorlatát is teljesíti. A komplex ellenálló képességi gyakorlaton a kritikus szervezet vezetője – vagy képviselőjére jogosult személy –, az ellenálló képességért felelős vezető és a BM OKF is részt vesz, de mellettük részt vehet az ágazati szakhatóság – amennyiben van –, a védelmi és biztonsági igazgatás központi szerve, a kritikus szervezet felügyeleti szerve, valamint a rendkívüli esemény felszámolásában részt vevő, a kritikus szervezet irányítása vagy vezetése alatt álló egyéb szervezet is.

2.3. Ellenálló képességi gyakorlatok

A kijelölt szervezet a kijelölt infrastruktúrája vonatkozásában a hatályos jogszabályok alapján éves ellenálló képességi gyakorlat megtartásra kötelezett, melyet az első kijelölést követő évtől kezdődően köteles rendszeresen, évente legalább egy gyakorlat megtartásával teljesíteni. Az éves ellenálló képességi gyakorlatoknak – a vonatkozó hatályos szabályozás értelmében – a szervezetre vonatkozóan elkészített, jóváhagyott, elfogadott ellenálló képességi tervben és annak mellékletét képező ellenálló képességi mátrixban foglaltak alkalmazhatóságára, megfelelőségére, a kritikus munkakörben foglalkoztatottak évenkénti gyakoroltatására kell kiterjednie. Az ellenálló képesség fokozásához a végrehajtott ellenálló képességi gyakorlatokat követő értékelések, elemzések, a levont következtetések, az azok alapján megfogalmazott fejlesztési javaslatok járulnak hozzá. Alapvető, hogy a szervezetnek a gyakorlat tervezése során az ellenálló képességi tervében és az ellenálló képességi mátrixban szereplő kockázati tényezőket szükséges figyelembe vennie, a kijelölt infrastruktúra területén kell a valós eseményeken alapuló gyakorlatot végrehajtani. Az alapvető szolgáltatás nyújtásához elengedhetetlen eszközök, berendezések, informatikai rendszerek, helyiségek, építmények területén a gyakorlatok során az ellenálló képességi mátrixban azonosított kockázatokhoz kapcsolódó események mentén kerül sor a szervezet ellenálló képességének vizsgálatára, ellenőrzésére. A gyakorlatokon javasolt az energiaellátás biztosítását ellenőrizni, és fontos az informatikai rendszerek sérülékenységére, helyreállítására vonatkozóan is az egyes rendszerek kölcsönös függőségének, reagálási képességének, helyreállítási kapacitásának vizsgálata. Figyelembe kell venni továbbá az ipari kitétséget (*a kritikus infrastruktúra közvetlen közelében működő veszélyes anyagokkal foglalkozó, vagy károsbirték alatti üzemeket és veszélyességi övezeteiket*), a civilizációs veszélyeket, különösen a közlekedési akadályokat, útzárokat, a megközelítési útvonal esetleges közlekedésre alkalmatlanná válását (*hiszen a szervezetnél foglalkoztatottak is igénybe vesznek közlekedési eszközöket és infrastruktúrákat*), továbbá a normál működést és a műszaki meghibásodásokat (*pl. kommunikációs csatorna működése, meghibásodása; EDR⁴ használata, megfelelősége, meghibásodása, üzemképtelensége; internet szolgáltatás működése, kiesése; tartalék áramforrás, egyéb műszaki, kulcsfontosságú berendezés működőképessége, – javíthatatlan – meghibásodása*).

A foglalkoztatottaknak a kritikus szervezet struktúrájához, működéséhez igazodó készenlétének, helyettesíthetőségének, szükség szerinti behívhatóságának vizsgálata is fontos szempont lehet. Az egyik legfőbb azonosítható kockázat, mint a legtöbb kritikus szervezet esetében az áramszolgáltatás kimaradása, annak hiánya. Az áramszolgáltatás folytonosságának biztosítására több lehetőség adott, legyen az egy speciális esetben alkalmazható korlátozott idejű megoldás (szünetmentes tápellátás), vagy egy helyettesítő, alternatív megoldás (mobil vagy egy fixen telepített tartalék áramforrás, pl. aggregátor). Ez mindenképpen kiinduló pontja a gyakorlatoknak valamennyi érintett kritikus szervezet kritikus infrastruktúrája esetében, de nem egyedüli és kizárólagos kockázati tényező. A gyakorlat keretében javasolt megvizsgálni az energia ágazattól való függőséget olyan tekintetben is, hogy amennyiben a rendelkezésre álló aggregátor valamely oknál fogva funkcióját nem tölti be, nem működőképes, a helyi áramszolgáltatóval együttműködve milyen lehetőségek adóttak az alapvető szolgáltatás folytonosságának biztosítására. A gyakorlat keretében vizsgálhatók az alternatív csatlakozási lehetőségek, valamint begyakorolható az áramszolgáltató szakembereinek

⁴ Egységes Digitális Rádiótávközlő rendszer (EDR): a Schengeni Megállapodás Schengenben, 1990. június 19-én aláírt Végrehajtási Egyezményének 132., illetve 44. cikkében meghatározott követelményeket kielégítő mobil rádiótelefon-hálózat; keskeny- vagy szélessávú digitális kormányzati célú rádióhálózat; Forrás: A kormányzati célú hálózatokról szóló 346/2010. (XII. 28.) Korm. rendelet

igénybevételével az áramellátás helyreállításának, rendelkezésre állásának biztosítása. Az ellenálló képességi gyakorlat tapasztalatainak felhasználása jó alapja lehet a helyi áramszolgáltatóval egy későbbi együttműködési megállapodás megkötésének, egy meglévő kiterjesztésének, akár keretszerződésben történő rögzítésének. Rendkívül fontos megvizsgálni és figyelembe venni az informatikai hálózati rendszerek, szoftverek sérülékenységét, javítási, pótlási lehetőségeit. Meg kell vizsgálni azokat a feladatokat, eszközöket, szoftvereket, amelyeket a tevékenysége, feladatellátása során az érintettek normál és különleges jogrendi működése során egyaránt ellát, használ, alkalmaz. Az informatikai hálózat – pl. nyilvánosan elérhető internet – alkalmazása esetében is a gyakorlat keretében vizsgálni, tesztelni lehet az igénybe vett szolgáltatóval való együttműködést, és annak kereteit, alternatív helyettesítési módokat az előző bekezdésben az áramszolgáltatónál már ismertetett elvek mentén.



1. ábra: Azonosítható kockázatok, gyakorlattal érintett elemek példákon keresztül⁵
(Forrás: ld. [5])

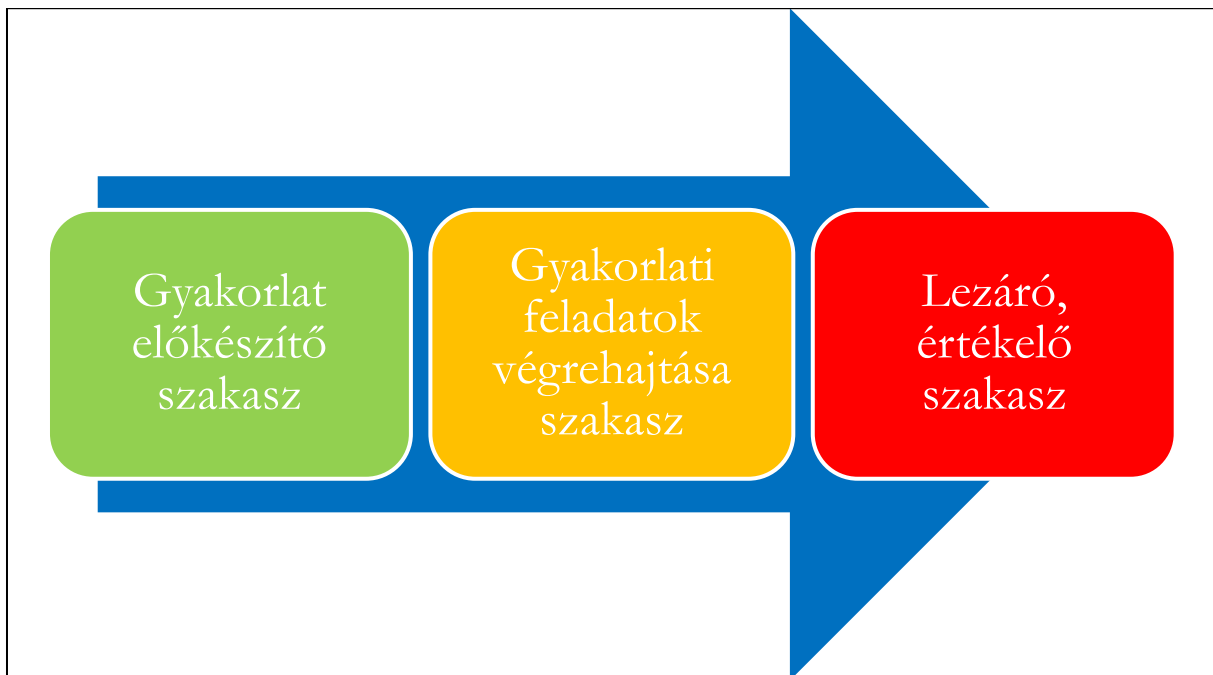
A feladatellátáshoz szükséges létesítményi, építményi infrastruktúra, a szervezet szempontjából kritikus jelentőségű helyiségek, azok klimatizálása – itt elsősorban szerver helyiségekre gondolva, de nem kizárólagosan – további jelentős kockázati tényezőt rejthet. Az ellenálló képességi gyakorlatok által megvizsgálható, tesztelhető, hogy egy esetleges szerver klíma meghibásodása, kiesése esetén – a rendelkezésre álló tartalék klíma megfelelően működtethető-e, ellátja-e a feladatát. Fontos megjegyezni, hogy a szerver helyiségeknél nem kizárólag a hűtés rendelkezésre állása az egyedüli kiemelt szempont, az áramellátás biztosítottságának vizsgálata sem elhanyagolható. Amennyiben nem áll rendelkezésre a szerverekre is kiterjesztett aggregátor, annak kiépítése, a meglévő rendszer fejlesztése válhat szükségessé. Emellett egy gyakorlati elemként vizsgálható a szerver helyiségek esetén a fizikai védelem, jogosultsági szinttől függő hozzáférés megfelelősége, működőképessége. A gyakorlatok során szükséges az EDR rádión történő kommunikáció gyakorlása. Fontos ilyenkor az eszközök meglétének, megfelelő programozásának és az érintett dolgozók részéről a használati készség tesztelése. Az EDR lefedettség hiánya, az eszközök meghibásodása, használhatatlansága egy rendkívüli esemény kezelésekor szintén jelentős kockázatot jelenthet. A gyakorlat keretében elsősorban annak alkalmazása, használata, a rajta történő kommunikáció megfelelősége tesztelhető és ellenőrizhető, de jelentőséggel bír az alternatív kommunikációs eszközök alkalmazási lehetőségének, rendelkezésére állásának vizsgálata is.

⁵ Az ábrát a szerző a Microsoft Copilot felhasználásával készítette.

3. A GYAKORLATOK SZERVEZÉSE, VÉGREHAJTÁSA, ÉRTÉKELÉSE, FEJLESZTÉSE

3.1. A gyakorlatok szervezése

Az ellenálló képességi gyakorlatok szervezését alapvetően három jól elkülönülő fázisra lehet bontani, amelyet a 2. ábra mutat be egyszerűen. A gyakorlatok szervezésénél, tervezésénél mindenképpen érdemes a három fő résszel külön-külön is foglalkozni a hatékonyság érdekében. A gyakorlatokat az előkészítő (megelőző, felkészülő) szakaszra, az ezt követő gyakorlati feladatok végrehajtása szakaszra, végül a végrehajtott gyakorlati elemeket lezáró és értékelő szakaszra választhatjuk szét. [6] A szervezet szempontjából minden szakasz azonos jelentőséggel bír, az egyes szakaszok alatt megszerzett tapasztalatok, tanulságok feldolgozása szükséges a későbbi intézkedések megtételéhez, az ellenálló képességi terv szükség szerinti módosításához, és ezáltal a szervezet ellenálló képességének fejlesztéséhez.

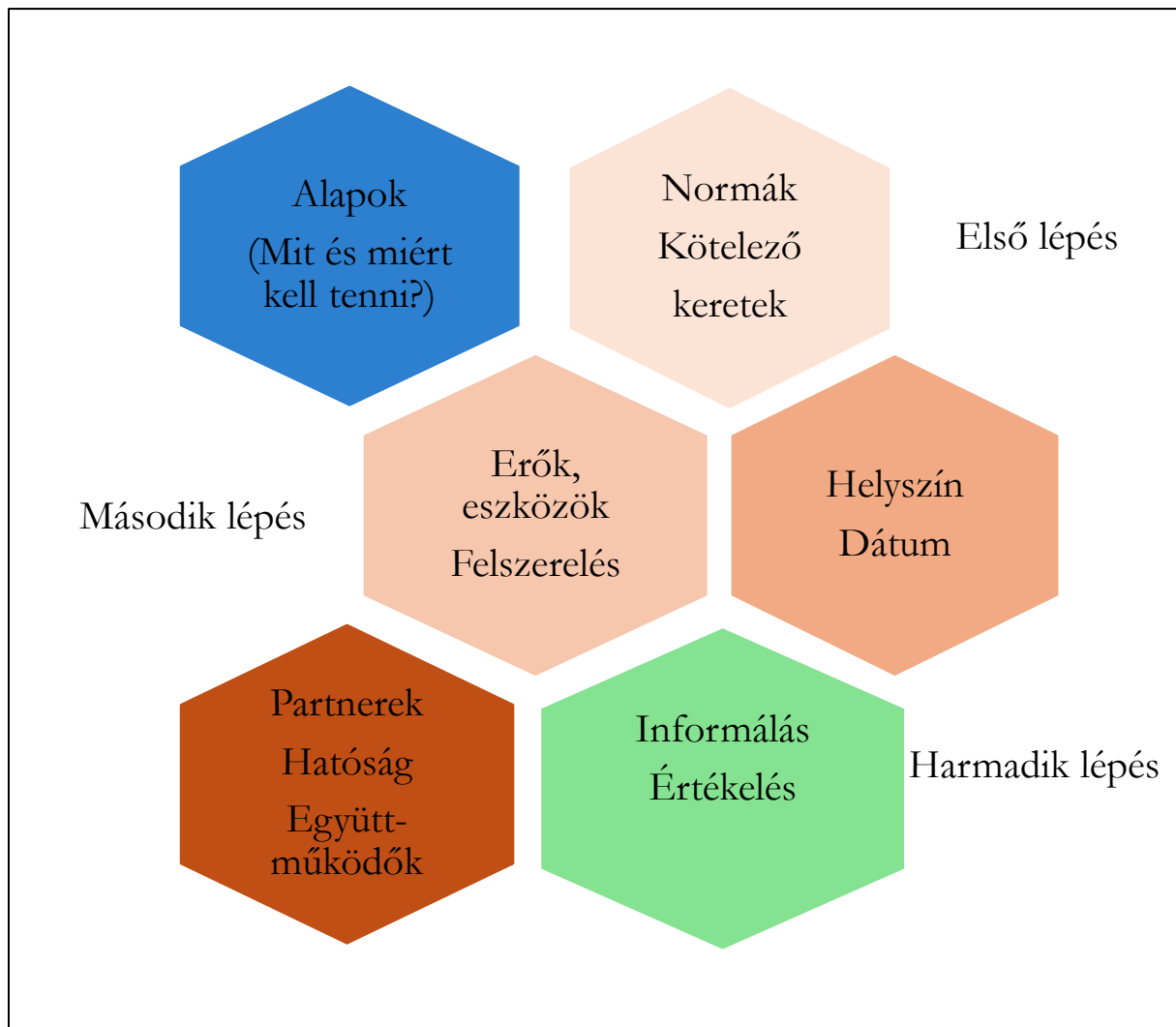


2. ábra: Gyakorlatok szervezésének 3 fő része (Forrás: ld. [6])

3.2. A gyakorlatok előkészítése

A gyakorlat előkészítése a 3. ábra szerinti fő lépésekre tagolható. Az első lépés az alapok lefektetése, meghatározása. Azaz, mi is a cél a gyakorlattal, mit és miért kell gyakorolni. Elengedhetetlen a vonatkozó, kapcsolódó jogszabályok, belső normák, szabályzatok és eljárásrendek (szervezeti működést szabályzó dokumentum; védelmi rendszerek működését szabályzó pl. tűzvédelmi vagy munkavédelmi szabályzatok; kommunikációs szabályzatok stb.), vonatkozó tervek ismerete (pl. tűzriadó terv stb.), azok áttekintése, majd az abban meghatározott szempontok mentén a tervezés megkezdése. A gyakorlat tárgya jellemzően egy vagy több feltételezett esemény kapcsán kialakult – az ellenálló képességi tervben és mátrixban rögzített – rendkívüli esemény vagy események kezelése, az esemény kezelésében érintett szervezetek meglévő eljárásrendjeinek összehangolása, közös priorálása. Tárgya továbbá a gyakorlat keretében feltételezett rendkívüli következményeinek felszámolásában résztvevő, irányító, döntés előkészítő és végrehajtó szervek, szervezetek, kapcsolódó szolgáltatók operatív irányításának, együttműködésének gyakorlása.

A gyakorlat lehet egyben egy katasztrófavédelmi együttműködési gyakorlat is, melynek célja minden olyan intézkedésnek a begyakorlása, amellyel a lakosság védelme megvalósulhat, valamint amelyek az érintett kritikus infrastruktúra lehető legkisebb kieséssel járó működését, helyreállítását biztosítják, szolgálják.



3. ábra: A gyakorlat előkészítése (Forrás: ld. [6])

Alapvető cél tehát az egyedi ellenálló képesség vizsgálata, hiszen fontos, hogy a gyakorlat tesztelje és általa fejlessze a kritikus szervezet, infrastruktúra ellenálló képességét, gyakoroltassa az ellenálló képességi tervben megjelölt szervezeti és eszközrendszer. Vegye figyelembe a kritikus szervezet, infrastruktúra és az alapvető szolgáltatás ágazati, alágazati és területi sajátosságait, mutasson rá a függőségekre, kölcsönös függőségekre és kitettségekre. A gyakorlatnak továbbá fel kell tárnia az esetleges hiányosságokat, gyengeségeket is, beleértve ebbe akár a riasztási lánc nem megfelelő működését is. Ezzel segíti elő a rendkívüli események megelőzését, hatékony kezelését, a reagálást és az alapvető szolgáltatás gyors helyreállítását. A gyakorlat előkészítésekor az alapoknál meg kell határozni a gyakorlat típusát. Fontos eldönteni – és a tervezést ennek megfelelően végigvinni –, hogy éves ellenálló képességi gyakorlatra, komplex gyakorlatra, avagy stressz-tesztre kerül-e sor. Számításba kell venni továbbá, ha a feladat a szervezet által végrehajtandó más jogszabály szerinti – pl. veszélyes üzemekre vonatkozó szabályozás szerinti belső védelmi terv – gyakorlattal együttesen történik. Ezen döntést követően meg kell vizsgálni a vonatkozó normák kötelező és ajánlott előírásait, amelyek további alapot adnak a tervezéshez.

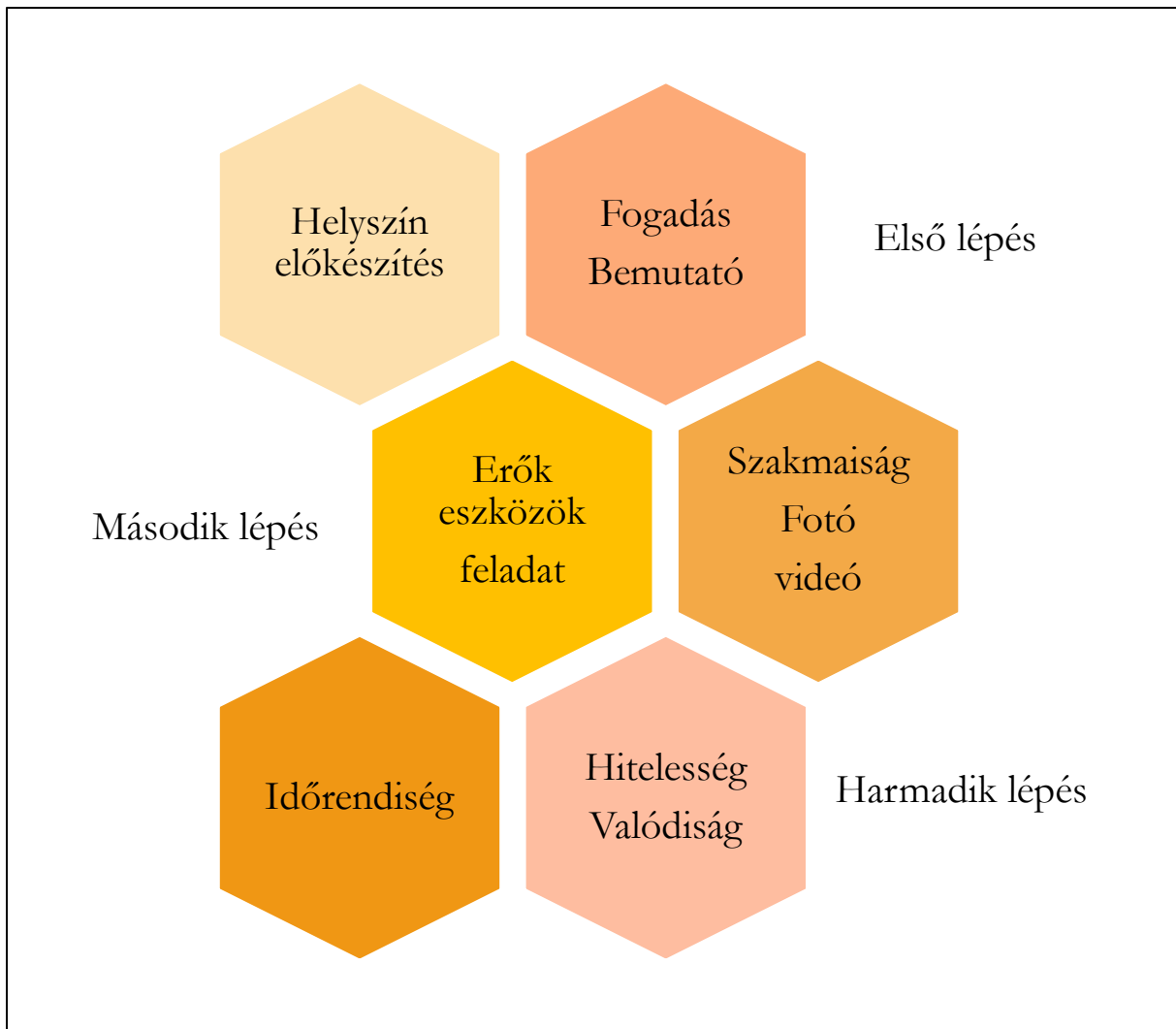
A második lépés az előkészítés során annak vizsgálata, hogy milyen erők, eszközök bevonása, mind mennyiségben, mind minőségben szükséges a gyakorlat kitűzött céljainak megvalósításához. A gyakorlat résztvevői a szabályzó szerinti kritikus munkakörben foglalkoztatottak, illetve a gyakorlat vezetője és értékelője mellett mindazon együttműködő szervezet, szolgáltató, partner, avagy hatóság, akinek közreműködése, jogszabály szerinti jelenléte szükséges, elengedhetetlen a gyakorlat sikeres végrehajtásához. Itt egyértelműen el kell dönteni, hogy a saját erőforrások közül melyek fognak gyakorlatozni, de vizsgálni kell azt is, hogy a célok teljesüléséhez szükséges-e más erőforrások bevonása. Ha szükséges, akkor végig kell gondolni a bevonás lehetőségeit, annak formáját (pl. együttműködési megállapodás, lebiztosítási szerződés), és tudatosan tervezni kell a bevont szervezetek részvételét, úgy, hogy a saját erők és a bevont külső erők feladatelosztása kiegyensúlyozott legyen. Meg kell valósítani a gyakorlat kitűzött célját, de úgy, hogy elsősorban a saját erők képességei kerüljenek tesztelésre és értékelésre, és ne próbálja meg a szervező a gyakorlatot eladni a hatóság részére pusztán csak a külső erők által elvégzett feladatokkal. Az előkészítésnél fontos odafigyelni a megfelelő minőségű és használható, szükség szerint megfelelő engedélyekkel rendelkező, felülvizsgált felszerelések meglétére, különösen az egyéni védőeszközök, munka- és egészségvédelmi eszközök, informatikai és kommunikációs, valamint operatív műveletekben használatos eszközök esetén.

A tárgyi, dologi eszközök, erők mellett a személyi erőforrások – pl. az átálláshoz szükséges háttértámogatást nyújtó informatikusok, avagy amennyiben a feladatellátók megerősítése válik szükségessé – rendelkezésre állása is kiemelten fontos. A gyakorlat továbbá lehetőséget biztosít a kritikus szervezetnek – az előírás alapján készenlétben tartott – EDR készüléken keresztül történő kommunikáció gyakorlásához is, hiszen vizsgálni lehetséges az üzemeltetési tényezőket, a személyi és a tárgyi megfelelőséget, rendelkezésre állást, vagy annak hiányát. A gyakorlat tervezési fázisában szükséges a gyakorlat végrehajtásában érintettek tájékoztatása, egyeztetések lefolytatása, majd ezek rögzítése a gyakorlattervben.

A gyakorlattervben a fentiekben részletezettek alapján szükséges meghatározni a gyakorlat célját, típusát, módszerét, időpontját és helyszínét, a gyakorlat vezetőjét, ellenőrző személyt, és a résztvevők körét, feladataikat, a feltételezett helyzet ismertetését, valamint a logisztikai biztosítás rendjét. A gyakorlattervezési alapokat követően meg kell választani a gyakorlat dátumát, pontos idejét, figyelembe véve azt a jogalkotói szándékot, mely szerint az alapvető szolgáltatást csak arányos mértékben és a szükséges ideig lehet korlátozni. A kockázatok és a kitűzött cél megvalósítása érdekében célszerű a helyszín kapcsán a realiztikusan kritikus, legnagyobb kockázattal járó, legkevesebb megfelelő védelemmel ellátott helyszín kiválasztása. A hatékonyság érdekében érdemes először megvizsgálni az adott eseménytípus várható bekövetkezési valószínűségét, valamint a megállapítással leginkább összefüggésbe hozható helyszíneket. Ez azért lényeges, mert egy jó gyakorlat esetén bármelyik szakaszban előjöhhetnek olyan javaslatok, megoldások, mely alapján fejleszteni lehet a szervezet rezilienciáját a megfelelő módon kiválasztott, a felsővezetés, döntéshozó irányába történő kommunikációval és a megoldás elfogadtatásával.

Az előkészítés során figyelembe kell venni továbbá a partner szervezetek, együttműködők és a hatóság céljait annak érdekében, hogy sikeres és hatékony legyen a gyakorlat végrehajtása. Ennek érdekében érdemes külön egyeztetéseket, megbeszéléseket lefolytatni (kinek és milyen része lesz az adott feladat végrehajtásában), akár külön – külön, akár közösen – mindaddig, amíg az érintettek részéről az elfogadás és a szervező irányába az aktív közreműködés elérése megtörténik. Az előkészítő fázis utolsó lépéseként, megtörténik a lezárás. Célszerű ilyenkor a saját feladatok vonatkozásában egy értékelést is végrehajtani, akkor, amikor még „frissek” a szervezés kapcsán szerzett benyomások, észrevételek, tapasztalatok. Az előkészítő szakasz értékelésének tapasztalatai a legvégén beépülnek az összegző értékelésbe.

3.3. A gyakorlatok végrehajtási fázisa



4. ábra: A gyakorlat végrehajtása (Forrás: ld. [6])

A végrehajtási fázist a 4. ábra szemlélteti. Az indítást megelőzően szükséges az érintett helyszín előkészítése, azon intézkedések megtétele, mellyel biztosítható, hogy az a lehető legkisebb mértékben és ideig korlátozza az alapvető szolgáltatás nyújtását, ugyanakkor mégis realiztikus helyzetet is teremtsen. A szervezet vezetője felelős, hogy gondoskodjon a gyakorlatra meghívottak, és a gyakorlat egyéb részvevőinek fogadására. Indokolt az érkezők részére egy rövid indító megbeszélést és felkészítést tartani, ahol a legfontosabb információk áttekinthetők, a felmerülő kérdések a gyakorlat megkezdése előtt tisztázhatók. Javasolt, hogy az ellenálló képességért felelős vezető vagy az általa kijelölt és felkészített személy (pl. gyakorlatvezető) tartson egy prezentációt⁶, amellyel a legfontosabb szakmai kérdéseket, a helyszíneket, a feladatokat és a biztonsági szabályokat érinti, áttekinti. Jellemzően a megnyitó részeként, de még a gyakorlati elemek végrehajtása előtt – figyelembe véve a helyi sajátosságokat – szükséges valamennyi érintett résztvevő munkavédelmi és balesetvédelmi oktatással történő felkészítése, különösen olyan helyszíneken, ahol szabályozásban ez előírás, illetve ahol ennek elmaradása komoly veszélyt jelentene számukra.

⁶ Ezt javasolt a BM OKF által kiadott mintákra alapozni, vagy a szakirányú képzéseken, a gyakorlatok tartására vonatkozó tantárgyon elsajátított prezentációkat alapul venni.

Valamennyi szervezetnél vannak alapvető munkavédelmi, viselkedési szabályok az infrastruktúra területén történő tartózkodáshoz, mozgáshoz kapcsolódóan, melyek megismertetése és a betartása a résztvevőktől elengedhetetlen. A felkészítések végrehajtásával elérhető, hogy minden érintett megfelelő, közel azonos felkészültségi szinttel kezdje meg a feladatait. Fontos megjegyezni, hogy egy gyakorlat során a kritikus munkakörben foglalkoztatott, gyakorlatozó és bevont külsős állományon kívül egyéb résztvevők – pl. a szervezet részéről további megfigyelők, a hatóság képviselői, belső vagy külső ellenőrök, meghívott személyek, az egyes szolgáltatók szakemberei – is jelen lehetnek, az ő tájékoztatásuk, felkészítésük is szükséges. A kritikus szervezetek gyakorlatainak további jellemzője, hogy nem sajtónyilvánosak, és a számos érkező miatt rendkívül fontos alkalmazni és vizsgálni a szervezet be- és kiléptetési protokollját.

A gyakorlatok során alapszabály, hogy a biztonságos végrehajtás elsődleges, és ez minden más szempontot megelőz!

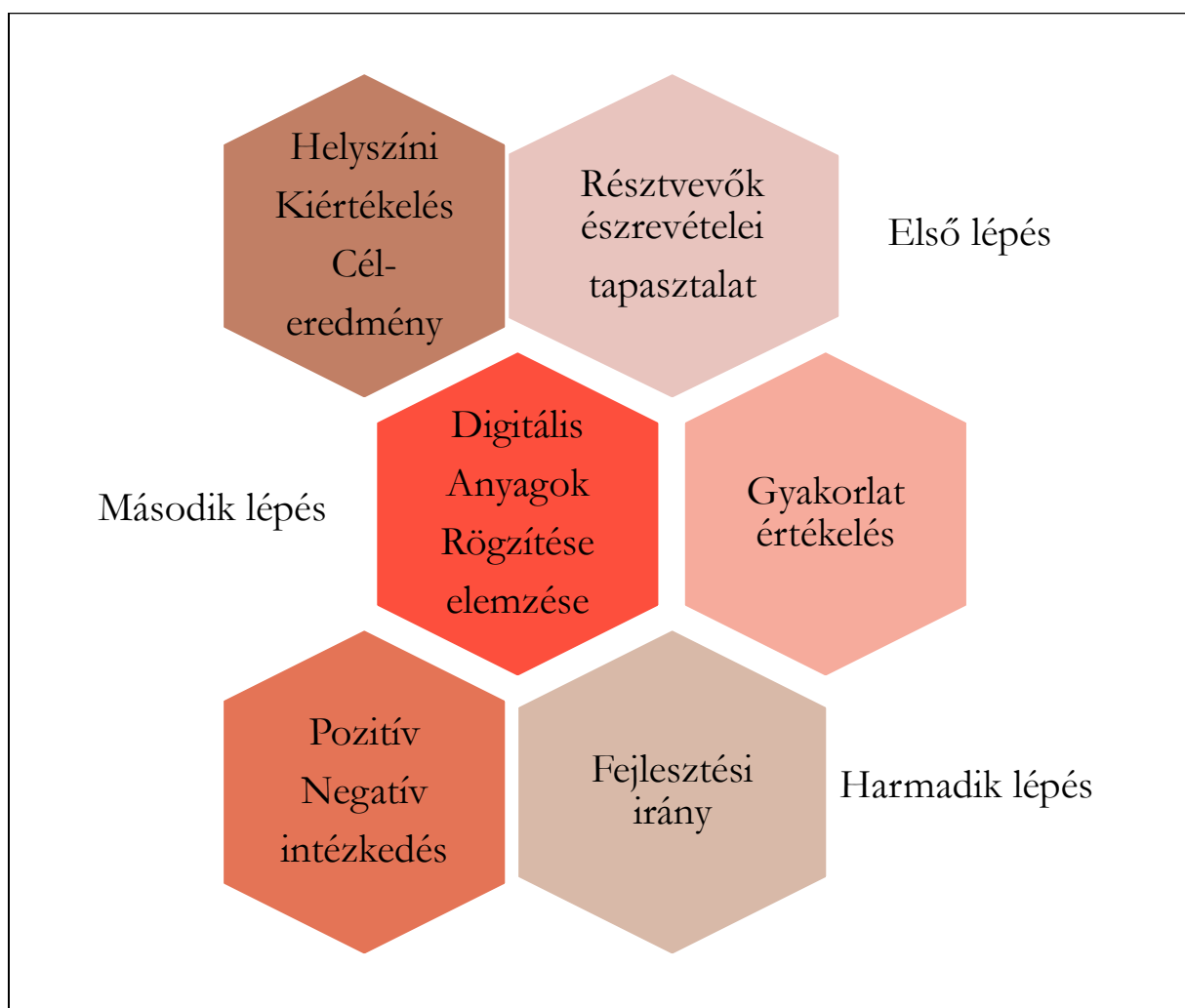
A gyakorlati elemek végrehajtása során arra kell törekedni, hogy a bevont erők, eszközök legyenek képesek biztonságosan, a munka- és balesetvédelmi szabályok betartásával a meghatározott feladatuk elvégzésére. Figyelnünk kell arra, hogy realiztikusan határozzunk meg az egyes részelemek végrehajtásához az időkeretet, amelynek betartását vegyük figyelembe az értékeléseknél. A gyakorlati feladatok végrehajtása több részletben, akár több egymástól elkülönülő helyszínen is megvalósulhat. Ilyenkor különböző erők (pl. rendkívüli esemény kezelésében érintett humán erőforrás), eszközök (pl. számítógépen telepített egyedi alkalmazás), berendezések (pl. szünetmentes tápforrás, vagy aggregátor) felhasználása, alkalmazása válhat szükségessé. A feltételezett esemény kapcsán a végrehajtásra kerülő tényleges gyakorlati elemeknek, cselekményeknek, feladatoknak tükrözniük kell egy valós helyzetet. Fontos, hogy logikai időrendben kerüljenek végrehajtásra és hitelesek legyenek. Valamennyi a gyakorlatlattervben vázolt feladat, cselekmény végrehajtására sor kell, hogy kerüljön, különben nem lesz modellezhető egy valós esemény kapcsán a várható intézkedések, cselekmények köre. A végrehajtott feladatok megfelelő szintű dokumentálását segítheti, amennyiben fotó vagy videó felvétel is készül. Ez alapján a szakmaiság pozitívan és negatívan is értékelhető. Értelemszerűen akkor pozitív, ha kiemelkedő minőségben és hatékonysággal, az időkereten belül sikerült a végrehajtás, és negatív, ha valami olyan akadályozó körülmény lépett fel, amelyre a hatékonyság növelése érdekében intézkedéseket kell hozni. A felvételek készítése segíthet továbbá a későbbi vitás kérdések tisztázásában (pl. viselt-e az érintett megfelelő védőeszközt, megfelelő kart húzta-e meg, stb.), valamint a későbbi fejlesztő intézkedések elmagyarázásában, vezetői döntések meghozatalában.

Az időrendiség, az idővel történő gazdálkodás a gyakorlat szervezőjének egy kiemelten fontos feladata. Minden esetben van egy időkeret, amelyen belül a végrehajtásnak meg kell történnie. A feladatok bonyolultságától és mennyiségétől függően sor kerülhet a lineáris végigvezetésre – ebben az esetben a feladatok egymás után következnek, és a résztvevőknek, ellenőröknek így van lehetőségük minden egyes részt áttekinteni –, vagy párhuzamosan, amikor az egyes részfeladatok egyszerre indulnak akár azonos, akár különböző helyszíneken. Ha a párhuzamos megoldás kerül alkalmazásra, akkor fokozottan törekedni kell a megfelelő erőforrás-elosztásra, a fotó- és videó dokumentálás megvalósítására (különösen a gyakorlat vezetése és az ellenőrök által nem látott helyszíneken). A lineáris végrehajtás előnye az egyszerűség és kevesebb erőforrás-igény, ezzel ellentétben a realiztikusságot a párhuzamos tervezés tudja leginkább biztosítani a valós életbeli tapasztalatok alapján. A legtöbb esetben ugyanis egy rendkívüli esemény kezelése egyszerre, több munkafolyamat végzésével történik. Célszerű az első gyakorlatokat a tapasztalatszerzés érdekében a lineáris végigvezetéssel kezdeni, majd fokozatosan először részeiben, majd teljesen áttérni a realiztikusabb párhuzamos tervezésre. A végrehajtás legutolsó, de talán legfontosabb eleme a hitelesség és a valóság megteremtése. Gyakorlatot soha nem szabad csak „elvégezendő, kipipálandó” feladatnak tekinteni. Rendkívüli módon visszatetsző, ha valaki a biztonsági feladatok végrehajtása során nem veszi komolyan a szabályokat.

Kiemelt érdek az, hogy a kritikus szervezetek rezilienciájának fokozása megtörténjen, amelyhez a megfelelő szakmaisággal bíró gyakorlatok végrehajtása jelentheti a kulcsot. Ezáltal lehet rávilágítani az egyes kockázatokra, a kitétségekre a függőségekre – és a reagáló képesség szintjének emelésére. Ez viszont nem valósítható meg anélkül, hogy valódi, hiteles – a gyakorlaton résztvevők által racionálisan elfogadható és támogatható feladatok legyenek. Ne legyen valóságtól elrugaszkodott, túlzó követelmény és feltételezés (pl. vihar közben a telephelyre lezuhanó repülőgép áramkábeleket szakít, de éppen ugyanekkor veszélyes árut szállító jármű is karambolozik, amely fel is robban a portaszolgálat előtt a helyszínen), vagy épp ellenkezőleg, túlságosan egyszerűen és könnyen végrehajtható feladat (pl. áramkimaradás esetén egy gombnyomással tartalék aggregátor bekapcsolása).

3.4. A gyakorlatok értékelő fázisa

A gyakorlati elemek végrehajtását követően kerülhet sor a levezető, értékelő, záró szakaszra, melyet a 6. ábra szemléltet. Első záró lépésként fontos a gyakorlatot végrehajtó állomány jelenlétében, még az egyes helyszíneken a rövid helyszíni értékelés. Itt sor kerülhet arra, hogy a végrehajtók el tudják mondani az általuk tapasztaltakat, és meghallgassák a gyakorlat vezetése részéről az elvárt feladatok kapcsán az értékelést. Ilyenkor mindkét oldal részéről vizsgálni szükséges a kitűzött cél, elvárt eredmény teljesülését. Ki kell térni a végrehajtott gyakorlati elemek erősségére, illetve arra, hogy hol mutatkoztak meg a gyakorlati feladatok során az esetleges gyengeségek, hiányosságok.



5. ábra: A gyakorlat zárása (Forrás: ld. [6])

A helyszíni értékelést⁷ követően a gyakorlat nem záródik le, hiszen szükséges lesz még a tapasztalatok megfelelő feldolgozása. Ebben nyújthat segítséget még az elkészített digitális anyagok (fényképek, videók) elemzése, melyek utólagos feldolgozásával is fontos tanulságok vonhatóak le. Ezt követően szükséges a gyakorlat tapasztalatai alapján a hatóság által elvárt⁸ értékelés kitöltése, amelyet az ellenálló képességért felelős vezető végez összefoglaló jelentésben. Ennek részelemeként ki kell térni a pozitív és negatív tapasztalatokra, a fejlesztési lehetőségekre és irányokra. A gyakorlatok akkor érik el igazán a valódi céljukat, ha a tapasztalatok alapján a kritikus szervezetek rezilienciájának folyamatos fejlesztése, az ellenálló képességi terv szükség szerinti felülvizsgálata, módosítása, kapcsolódó belső szabályozás módosítása történik.

4. ÖSSZEGZÉS

A kritikus szervezetek rezilienciáját a vonatkozó irányelvek és a gyorsan változó biztonsági környezet miatt folyamatosan fejleszteni szükséges. Ebben kulcsszerepet kap az ellenálló képességért felelős vezető és a kritikus szervezetek biztonságos működése. Az azonosított kockázatok, értékelésük, az ellenálló képességi mátrix és terv, valamint a veszélyek minimalizálására vagy megszüntetésére irányuló, realisztikusan megtervezett gyakorlatok rámutathatnak az adott kritikus szervezet erősségeire, gyenge pontjaira. A pozitív vagy negatív irányú tapasztalatok a vezetői döntéshozatalt befolyásolhatják, a fejlesztési irányokat tekintve prioritásokat mutathatnak, amellyel támogatható a szervezetek ellenálló képességének fejlesztése.

A cikkben leírtak alapján a gyakorlatok minőségi előkészítése és megszervezése az ellenálló képességért felelős vezető egy fontos szakmai képessége, amely egyértelműen kihatást gyakorol a kritikus szervezet biztonságos működésére.

Összefoglalásul a cikkben leírtak alapján egyértelművé válik, hogy miért is van kiemelkedő szerepe és jelentősége az ellenálló képességi gyakorlatoknak. A kritikus szervezetek számára ugyanis a jól megtervezett, előkészített és végrehajtott gyakorlatok nagymértékben hozzájárulnak a biztonsági szintjük növeléséhez, de ez közvetve kevesebb káreseményhez, az ország védelmi képességének növekedéséhez és a reziliencia fejlesztéséhez is vezet.

5. JOGFORRÁSOK

Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2022/2557 irányelve a kritikus szervezetek rezilienciájáról és a 2008/114/EK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről (CER irányelv)

A kritikus szervezetek ellenálló képességéről szóló 2024. évi LXXXIV. törvény

A védelmi és biztonsági tevékenységek összehangolásáról szóló 2021. évi XCIII. törvény

A kritikus szervezetek ellenálló képességéről szóló törvény végrehajtásáról szóló 474/2024. (XII. 31.) Korm. rendelet

Az ország védelme és biztonsága szempontjából jelentős szervezetek ellenálló képességéről szóló 475/2024. (XII. 31.) Korm. rendelet

A kormányzati célú hálózatokról szóló 346/2010. (XII. 28.) Korm. rendelet

⁷ A helyszíni értékelés módszertanának, küszöbértékeinek kifejtése egy későbbi cikkben kerül majd részletesen kifejtésre.

⁸ Ellenálló Képességi Terv minta alapján <https://www.katasztrofavedelem.hu/35635/letoltheto-dokumentumok-es-kitoltesi-segedletek> Letöltve: 2026.03.11.


6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Mógor J., Földi L., Solymosi J. „Lépések a kritikus infrastruktúra védelmének magyarországi szabályozása felé”, *HADMÉRNÖK III. évfolyam, 4. szám* pp. 15-28., 2008, [Online]. Elérhetőség: http://hadmernok.hu/archivum/2008/4/2008_4_mogor.pdf (2026.03.07.)
- [2] Mógor J., Angyal I. „A kritikus infrastruktúrák ellenálló képesség fejlesztését célzó szabályozás mérőkövei 2022-2025”. *Védelem Tudomány a Katasztrófavédelem Online Szakmai, tudományos folyóirata*, 10 (2), [Online]. Elérhetőség: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/19455/16146> (2026.03.07.)
- [3] Mógor J., Pruha M. A. „A kockázat alapú gondolkodás gyakorlati elemei a kritikus szervezeteknél I. rész”. *Védelem Tudomány a Katasztrófavédelem Online Szakmai, tudományos folyóirata*, 10 (3), p. 11. [Online]. Elérhetőség: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/20648> (2026.03.07.)
- [4] Mógor J., Angyal I. „A létfontosságú rendszerek védelmére vonatkozó szabályozás fejlesztése”, *SCIENTIA ET SECURITAS 3. évf. 2. szám*, pp. 118-125., 2022, [Online]. Elérhetőség: <https://akjournals.com/view/journals/112/3/2/article-p118.xml> (2026.03.09.)
- [5] Horváth Tímea – Rendvédelmi szervek alágazat katasztrófavédelmi ellenálló képességi gyakorlatainak megvalósítása, fókusz és fejlesztési lehetőségek című szakdolgozat, NKE 2025
- [6] Dr. Hábermayer Tamás t. ezredes előadás anyaga, NKE, Kritikusinfrastruktúra-védelmi biztonsági összekötő szak, Komplex gyakorlat tervezés és szervezés tantárgy, 2025.

Integrált biztonságirányítás és kiberreziliencia veszélyes üzemekben

Integrated Safety Management and Cybersecurity Resilience in Seveso Plants

Vásárhelyi Örs László
szerző

Szervezet, beosztás: NKE, HHK, KMDI doktorandusz
Email: vasarhelyi.ors.laszlo@stud.uni-nke.hu
ORCID: 0000-0002-6752-2546 

Szabó Rafael
társszerző

Szervezet, beosztás ALTEO Group, CISO
Email: szabo.rafael@hirs.hu

Absztrakt:

A veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek erősödő digitalizációja és az IT–OT rendszerek fokozódó konvergenciája következtében a kiberbiztonsági kockázatok már nem kizárólag az információbiztonság területén jelentenek kihívást, hanem közvetlen hatással lehetnek az üzembiztonságra, az üzemfolytonosságra, valamint a környező lakosság és élővilág egészségére is. Miközben a Seveso-szabályozás hagyományosan a safety szemléletre épül, míg a NIS2 irányelv és az ahhoz kapcsolódó kiberbiztonsági követelmények elsősorban dominánsan IT-fókuszú szemléletet tükröznek, amely nem minden esetben illeszthető közvetlenül a safety-kritikus OT-környezetek működési sajátosságaihoz. A tanulmány egy olyan integrált biztonságirányítási megközelítést mutat be, amely az irányítási, kockázatkezelési és kötelezettségeknek való megfelelési (GRC) szemlélet alkalmazásával támogatja a kockázatarányos követelmények kialakítását a szervezet technológiai, operatív és irányítási területein egyaránt. A modell célja a teljes körű szervezeti reziliencia erősítése, valamint a biztonsági kockázatokra és működési kihívásokra való rugalmas reagálóképesség fejlesztése. A kutatás során a szerzők elemezték a hazai és nemzetközi szabályozási környezetet, a releváns irányítási rendszereket és kiberbiztonsági keretrendszereket, különös tekintettel, a kiber-fizikai környezet megfelelő védelmének kialakításáról szóló ajánlásokra. A tanulmány eredményeként egy olyan integrált megközelítés kerül bemutatásra, amely támogatja a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek komplex rezilienciájának fejlesztését.

Kulcsszavak: biztonságirányítás, reziliencia, veszélyes üzemek

Abstract:

Due to the increasing digitalization of hazardous plants and the growing convergence of IT and OT systems, cybersecurity risks no longer pose a challenge solely in the realm of information security; they can also have a direct impact on operational safety, business continuity, and the health of the surrounding population and wildlife. While the Seveso regulations are traditionally based on a safety-oriented approach, the NIS2 Directive and its associated cybersecurity requirements primarily reflect a predominantly IT-focused approach, which does not always align directly with the operational characteristics of safety-critical OT environments. The study presents an integrated security management approach that supports the development of risk-proportionate requirements across the organization's technological, operational, and governance domains by applying a governance, risk management, and compliance (GRC) approach. The model aims to strengthen comprehensive organizational resilience and develop the ability to respond flexibly to security risks and operational challenges. During the research, the authors analyzed the domestic and international regulatory environment, relevant management systems, and cybersecurity frameworks, with particular attention to recommendations for establishing adequate protection of the cyber-physical environment. The study presents an integrated approach that supports the development of comprehensive resilience in Seveso establishments.

Keywords: safety management, resilience, Seveso plants

1. BEVEZETÉS – A FRAGMENTÁLT BIZTONSÁGI SZABÁLYOZÁS PROBLÉMÁJA

A veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek és a kritikus infrastruktúrák biztonságának kérdése az elmúlt években új dimenzióba lépett, amelyet elsősorban az ipari digitalizáció felgyorsulása, valamint a hagyományos informatikai (IT) és operatív technológiai (OT) rendszerek fokozódó konvergenciája eredményez. Az Ipar 4.0 megjelenését követően a korábban elszigetelt ipari vezérlőrendszerek és egyéb technológiai rendszerek egyre szorosabban kapcsolódnak a vállalati informatikai környezetekhez, valamint a távfelügyeleti, távoli karbantartási és adatgyűjtési funkciók megjelenése miatt egyre gyakrabban kapcsolódnak külső hálózatokhoz is. Ez a folyamat a korábban izolált rendszerek támadási felületének jelentős növekedését eredményezi, és fokozza a kibertérből érkező fenyegetéseknek való kitettséget. Különösen kritikus ez a tendencia a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek esetében, ahol egy kiberbiztonsági esemény nem csupán gazdasági károkat, hanem közvetlen üzembiztonsági, környezeti és a lakosságra negatívan ható következményeket is eredményezhet. [1] [2]

Az ipari rendszerekben a safety és security dimenziók egyre szorosabban összekapcsolódnak. A technológiai folyamatokat felügyelő és védő biztonsági műszeres rendszerek (Safety Instrumented Systems - SIS) digitalizációja és hálózati integrációja új támadási felületeket hoz létre, miközben a rendszerek továbbra is a baleset-megelőzési hierarchia utolsó, kontrollált védelmi vonalát jelentik. Ennek következtében a biztonság értelmezése már nem korlátozható elkülönült safety vagy cybersecurity megközelítésekre, hanem integrált szemléletet igényel. [3] [1] [4]

A szabályozási környezet ugyanakkor továbbra is fragmentált. Számos veszélyes üzem nem tartozik a kiberbiztonsági szabályozások teljes hatálya alá, miközben működése jelentős kockázatokat hordozhat. A szabályozási környezet mellett a szervezeti működés szintjén is jelentős fragmentáció figyelhető meg. A biztonság különböző dimenziói, mint az iparbiztonság, a munkabiztonság, a fizikai biztonság, a kiberbiztonság, a megfelelőség (compliance) és a kockázatkezelés, jellemzően eltérő szervezeti egységekhez, felelősségi körökhöz és módszertani megközelítésekhez kapcsolódnak. A kiberbiztonságon belül további elkülönülés figyelhető meg az informatikai és az operatív technológiai környezetek között, miközben a kapcsolódó kockázatok a gyakorlatban egyre szorosabban összefonódnak. Ez a széttagolt működés akadályozza az egységes, kockázatarányos biztonságirányítás kialakítását, valamint a szervezeti reziliencia átfogó fejlesztését. [5] [6]

A tanulmány alapfeltevése, hogy a veszélyes üzemek teljes körű rezilienciájának fejlesztéséhez olyan integrált megközelítés szükséges, amely képes összehangolni a technológiai, szervezeti, irányítási és megfelelőségi követelményeket. Ennek elméleti keretét a Governance, Risk and Compliance (GRC) szemlélet biztosítja, amely a szervezeti célok, a kockázatok, a teljesítmény és a kötelezettségek kezelését egységes rendszerben értelmezi. A tanulmány célja egy olyan integrált biztonságirányítási modell bemutatása, amely képes összekapcsolni a jogszabályi, irányítási, technikai és szervezeti dimenziókat, és támogatja a biztonság mérhető, fejleszthető és adaptív megvalósítását. [7]

2. A VESZÉLYES ÜZEMEK HAZAI SZABÁLYOZÁSA

A veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek szabályozása az Európai Unióban egységes elveken alapul, amelyek kiindulópontját a Seveso-baleset tapasztalatai képezik. A veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek veszélyének kezeléséről, valamint a 96/82/EK tanácsi irányelv módosításáról és későbbi hatályon kívül helyezéséről szóló 2012/18/EU Európai Parlamenti és Tanácsi Irányelv (továbbiakban Seveso III) célja a súlyos ipari balesetek megelőzése, valamint azok emberi egészségre és környezetre gyakorolt hatásainak csökkentése. Az irányelv kockázatalapú megközelítést alkalmaz, amely a veszélyes anyagok jelenlétéhez és mennyiségéhez igazítva határozza meg az üzemeltetői kötelezettségeket és a hatósági felügyelet kereteit.

A hazai jogrendben az irányelv rendelkezései elsősorban a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről 219/2011. (X.20.) Korm. rendelet révén kerültek átültetésre, amely meghatározza a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek azonosításának, működésének és felügyeletének részletes szabályait.

2.1 A veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek fogalma és kategóriái

A szabályozás értelmében veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemnek minősül minden olyan létesítmény, ahol a meghatározott veszélyes anyagok jelenléte, akár gyártás, feldolgozás, tárolás vagy felhasználás során, elér egy meghatározott küszöbértéket. A Seveso III direktíva ennek megfelelően két alapvető kategóriát különböztet meg: alsó küszöbértékű üzemek és felső küszöbértékű üzemek. A besorolás alapját a jelenlévő veszélyes anyagok típusa és mennyisége képezi, amely egyben meghatározza az alkalmazandó biztonsági követelmények szigorúságát is. A felső küszöbértékű üzemek esetében a szabályozás részletesebb dokumentációs és kockázatkezelési kötelezettségeket ír elő, tekintettel a potenciálisan súlyosabb következményekre.

A magyar szabályozás a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről szóló 219/2011. (X.20.) Korm. rendelet alapján egy további kategóriát is bevezet: a küszöbérték alatti üzemeket. Ide azok a létesítmények tartoznak, ahol a jelenlévő veszélyes anyag mennyisége eléri az alsó küszöbérték 25%-át. Ezen üzemek működése indokoltá teheti egyes biztonsági követelmények alkalmazását. Ennek megfelelően rájuk is vonatkoznak előírások, elsősorban a veszélyazonosítás, az alapvető megelőző intézkedések, valamint a hatósági nyilvántartásba vétel és ellenőrzés területén.

A háromszintű besorolási rendszer sajátossága, hogy lehetővé teszi a kockázatarányos szabályozást, ugyanakkor egyben rámutat arra is, hogy a veszélyes anyagokkal kapcsolatos kockázatok nem kizárólag a Seveso-hatály alá tartozó üzemekben jelennek meg. Ez különösen fontos szempont a komplex ipari rendszerek és az ellátási láncok vizsgálata során, ahol a kisebb, de hálózatosan kapcsolódó üzemek is jelentős szerepet játszhatnak a rendszerszintű kockázatok alakulásában.

2.2 Az üzemeltetői kötelezettségek rendszere

A veszélyes üzemek üzemeltetőinek kötelezettségei több szinten jelennek meg, és alapvetően a megelőzés, a felkészülés és a következménykezelés hármas logikájára épülnek.

2.2.1 Balesetmegelőzési politika és biztonsági irányítási rendszer

Az üzemeltető köteles kialakítani és működtetni egy balesetmegelőzési belső szabályozási környezetet, amely meghatározza a szervezet biztonsági céljait és alapelveit. Ennek operatív megvalósítását a biztonsági irányítási rendszer (BIR) biztosítja, amely magában foglalja a szervezeti struktúrát és felelősségi rendet, a technológiai berendezések üzemeltetési és karbantartási eljárásait, a változáskezelési mechanizmusokat, az alkalmazott teljesítménymutatók meghatározását, az oktatási és képzési rendszert, az audit és felülvizsgálati folyamatokat, jelentéstételi eljárásrendeket.

A BIR célja, hogy strukturált módon biztosítsa a biztonsági követelmények folyamatos érvényesülését az üzem teljes életciklusa során.

2.2.2 Veszélyazonosítás és kockázatelemzés

Az üzemeltető feladata a veszélyforrások azonosítása és a baleseti forgatókönyvek elemzése. A jogszabály nem ír elő konkrét módszert, de elvárja a technológiai folyamatok, a veszélyes anyagok tulajdonságainak, valamint a lehetséges hatások és érintett lakosság vizsgálatát.

Felső küszöbértékű üzemek esetén ezt biztonsági jelentésben kell dokumentálni, alsó küszöbértékű üzemek esetén ezt biztonsági elemzésben, míg küszöbérték alatti üzemek esetén hatósági mérlegelést követően.

2.2.3 Védelmi tervezés

A lakosságvédelem a szabályozás kiemelt eleme, amelyet a hatóság a külső védelmi terven keresztül biztosít. Ez meghatározza a veszélyeztetett területeket, a szükséges védelmi intézkedéseket, valamint a beavatkozó szervezetek együttműködését. A hatóság biztosítja a riasztási és tájékoztatási rendszerek működését, valamint gondoskodik a lakosság előzetes tájékoztatásáról, beleértve a veszélyek jellegét és a követendő magatartási szabályokat. A tervek hatékonyságát rendszeres gyakorlatokkal ellenőrzik, és szükség esetén felülvizsgálják. A védelmi rendszer célja, hogy baleset esetén összehangolt, gyors és hatékony beavatkozás valósuljon meg, biztosítva a lakosság és a környezet védelmét.

2.3 A felügyeleti hatóság szerepe és eljárásai

A veszélyes üzemek felügyeletét az iparbiztonsági hatóság látja el, amely az üzemek azonosítását, engedélyezését és ellenőrzését végzi. Az ellenőrzések célja annak biztosítása, hogy a biztonsági rendszerek ténylegesen működjenek. Az ellenőrzések lehetnek rendszeresek vagy eseti jellegűek, és kiterjednek a BIR működésére, a kockázatelemzésekre, az üzemeltetési gyakorlatra és a védelmi tervek végrehajthatóságára. A felügyelet kockázatalapú, így a veszélyesebb üzemek esetében gyakoribb és részletesebb ellenőrzések történnek. Hiányosság esetén a hatóság korrekciós intézkedéseket rendelhet el, korlátozhatja az üzem működését, vagy bírságot szabhat ki a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezéssel összefüggő bírságokról szóló 208/2011. (X.12.) Korm. rendelet alapján.

2.3.1 Védelmi tervezés és lakosságvédelem

A veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemekkel kapcsolatos védelmi tervezés és lakosságvédelem a hazai szabályozás egyik kiemelt területe, amely a súlyos ipari balesetek következményeinek mérséklését célozza. A hatóság egyik alapvető feladata a külső védelmi terv elkészítése és folyamatos karbantartása a felső küszöbértékű üzemek esetében, valamint azon üzemek esetén is, ahol indokolt. A külső védelmi terv célja, hogy meghatározza a baleseti helyzetekben végrehajtandó intézkedéseket a lakosság, a környezet és az anyagi javak védelme érdekében. A terv kidolgozása során a hatóság figyelembe veszi az üzemeltető által készített biztonsági jelentést, valamint az abban szereplő baleseti forgatókönyveket és hatásterületeket. Veszélyes üzemek esetén a lakosságvédelem egyik központi eleme a külső védelmi terv, amely meghatározza a veszélyeztetett területeket, a lakosságvédelmi intézkedéseket, a riasztási és tájékoztatási mechanizmusokat, valamint a beavatkozó szervezetek együttműködésének rendjét. A hatóság feladata a lakosság előzetes tájékoztatása, a tervek rendszeres gyakorlása és felülvizsgálata annak érdekében, hogy baleset esetén gyors és összehangolt beavatkozás valósuljon meg.

3. NIS2 HAZAI IMPLEMENTÁCIÓJA ÉS A „FEHÉR FOLT”

Az ipari rendszerek digitalizációjával és az IT–OT konvergencia erősödésével a kritikus infrastruktúrák és ipari létesítmények kiberbiztonsága kiemelt szabályozási területté vált az Európai Unióban. Ennek egyik legfontosabb eszköze az Unió egész területén egységesen magas szintű kiberbiztonságot biztosító intézkedésekről szóló az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2022/2555 irányelve (továbbiakban: NIS2). A NIS2 irányelv jelentős előrelépést jelent a korábbi NIS irányelvhez képest, mivel kiterjeszti a szabályozás hatályát, pontosítja az érintett szervezetek körét, valamint szigorúbb követelményeket ír elő a kockázatkezelés, az incidenskezelés és a felügyelet területén.

Magyarországon a NIS2 irányelv rendelkezései Magyarország kiberbiztonságáról szóló 2024. évi LXIX. törvény révén kerültek átültetésre, amely meghatározza a kiberbiztonsági követelmények hazai keretrendszerét. A törvény célja a kritikus és a kockázatos szervezetek kiberrezilienciájának növelése, valamint a kibertérből érkező fenyegetésekkel szembeni védekezés megerősítése. A törvényt kiegészíti annak a végrehajtási rendelete 418/2024. (XII. 23.) Korm. rendelet, valamint a biztonsági osztályba sorolás követelményeiről, valamint az egyes biztonsági osztályok esetében alkalmazandó konkrét védelmi intézkedésekről szóló 7/2024. (VI.24.) MK rendelet, ami gyakorlatilag az operatív követelménykatalógust biztosítja. A kiberbiztonsági audit lefolytatásának rendjéről és a kiberbiztonsági audit legmagasabb díjáról szóló 1/2025. (I.31.) SZTFH rendelet, ami a gazdálkodó szervezetekre és azok rendszereire vonatkozó kiberbiztonsági auditok módszertanát és részletszabályait tartalmazza. A hazai implementáció középpontjában a kiberbiztonsági kockázatok azonosítása, értékelése és kezelése áll. A követelményrendszer egy részletes technikai és szervezeti kontrollkatalógusra épül, amelynek kialakításában meghatározó szerepet játszott az amerikai NIST SP 800-53 Rev. 5 kontrollrendszere. A dokumentum azonban elsősorban informatikai környezetekre került meghatározásra. [8]

2.3.2 A szabályozási „fehér folt” problémája

A NIS2 szabályozás egyik lényeges sajátossága, hogy hatálya meghatározott kritériumokhoz kötött. Azon szervezetek képezik a szabályozás tárgyi hatályát, amelyek megfelelnek a törvény által meghatározott ágazati besorolásnak, méret- és bevételi korlátnak, és vagy a szervezet által nyújtott szolgáltatás kritikus jellegű. E megközelítés következtében azonban egy jelentős szervezeti kör kívül maradhat a szabályozás hatályán, ami releváns a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek kapcsán is. Azon alsó küszöbértékű üzemek és küszöbérték alatti üzemek lehetnek érintettek, akik bár nem kiemelten kockázatos üzemek, mégis jelentős mennyiségű veszélyes anyagot kezelnek, és potenciálisan súlyos következményekkel járó események forrásai lehetnek. Ez a helyzet egy úgynevezett szabályozási „fehér foltot” eredményez, ahol a fizikai és folyamatbiztonsági (safety) kockázatok szabályozottak, azonban a kiberbiztonsági dimenzió nem, vagy csak korlátozottan. A hazai NIS2 implementáció egyik sajátossága, hogy a kiberbiztonsági követelményrendszer eredendően informatikai környezetekre lett kialakítva. Ennek következtében az ipari vezérlőrendszerek és egyéb OT rendszerek is egységesen elektronikus információs rendszerként kerülnek kezelésre, és az auditok során ugyanazon követelmények alkalmazása történik. Ez a megközelítés nem veszi teljes mértékben figyelembe az OT rendszerek sajátos működési és biztonsági követelményeit. Ez a jelenség értelmezhető a szabályozási „fehér folt” egy speciális eseteként, amely nem a lefedettség hiányából, hanem a módszertani megközelítés korlátjaiból fakad. A probléma jelentőségét tovább növeli, hogy a modern ipari környezetben a rendszerek nem izoláltan működnek, hanem komplex, hálózatos struktúrák részei. Ennek következtében egy, a NIS2 hatályán kívül eső üzem kockázatot jelenthet a beszállítói láncokban különösen, ha az egy nemzetgazdaság vagy nemzetbiztonság szempontjából jelentős szervezetnek is beszállít. További kockázat, ha az üzem által használt technológiai platformok megosztásra kerültek más szervezetekkel is. Számos nemzetközi kiberbiztonsági jelentés rámutat arra, hogy a támadók a supply kill chain részeként a beszállítói lánc legsebezhetőbb szereplőinek digitális infrastruktúrájában található sérülékenységeket kihasználva jutnak be, és ezeken keresztül teremtene belépési pontot egy kritikus fontosságú szervezet elleni támadáshoz. [9] Ez azt eredményezi, hogy a szabályozás hatályán kívül eső, de kockázatos üzemek rendszerszintű sérülékenységet hozhatnak létre, amely túlmutat egy „stand-alone” létesítmény kockázati szintjén. A kialakuló szabályozási hiátus jól értelmezhető a Governance–Risk–Compliance (GRC) keretrendszer perspektívájából. A GRC szemlélet nem kizárólag a jogszabályi megfelelésre épít, hanem a szervezeti célok és a kockázatok összhangjára. Ennek megfelelően a „fehér folt” problémája rámutat arra, hogy a pusztán szabályozás-alapú megközelítés nem elegendő a komplex kiber-fizikai rendszerek biztonságának szavatolására és végső soron nem biztosít valamennyi hazai veszélyes üzem számára teljeskörű ellenállóképeséget.

4. GRC, MINT INTEGRÁLÓ ELMÉLETI KERET

Napjaink veszélyes üzemi biztonságának és megbízható működésének biztosítása egyre inkább olyan integrált megközelítést igényel, amely túlmutat az egyes szakterületek elkülönült kezelésén. Ebben a kontextusban kiemelt jelentőséggel bír a GRC alapú megközelítés, amely a szervezeti működés három alapvető dimenzióját egységes keretben értelmezi. A GRC szemlélet egyik legismertebb és legszélesebb körben alkalmazott modelljét az OCEG által kidolgozott GRC Capability Model adja, amely a szervezeteket komplex, adaptív rendszerekként kezeli. A modell alapfeltevése szerint a szervezeti működés nem írható le statikus szabályrendszerek mentén, hanem dinamikus kölcsönhatások hálózataként értelmezhető, ahol a célok, a kockázatok és a működési korlátok folyamatosan alakítják egymást. Ennek megfelelően a GRC nem egy különálló funkcionális terület, hanem egy olyan integráló képességrendszer, amely biztosítja, hogy a szervezet céljait a meghatározott keretek között, a kockázatok tudatos kezelése mellett érje el. A sikeres szervezeti működés nagyfokú flexibilitást és adaptációs képességet is jelent. A modell központi fogalma a „principled performance”, amely azt fejezi ki, hogy a teljesítmény csak akkor tekinthető fenntarthatónak, ha az a kockázatok és kötelezettségek figyelembevétele mellett valósul meg. A hagyományos biztonsági és irányítási rendszerek jelentős része compliance-központú logikát követ, amelynek elsődleges célja a jogszabályi és szabványi követelmények teljesítése. Ugyanakkor a kizárólagos compliance-orientáció több szempontból is korlátozott. Egyrészt a compliance jellegéből adódóan reaktív megközelítést képvisel, amely elsősorban a már ismert kockázatokra és előírásokra reagál. Másrészt a szabályozás szükségszerűen általánosított, így nem képes teljes mértékben lefedni az egyedi szervezeti és technológiai sajátosságokat. Ennek következtében előállhat az a helyzet, hogy egy szervezet formálisan megfelel az előírásoknak, ugyanakkor működése ténylegesen nem tekinthető biztonságosnak, mert az elvárt követelmények nem kerültek testre szabásra a tényleges működésre, folyamatokra és rendszerekre. A compliance-központú megközelítés további korlátja, hogy nem ösztönzi a kockázatok proaktív kezelését és a szervezeti tanulást. A szabályok betartása önmagában nem garantálja a nem várt, komplex vagy emergens jellegű kockázatok kezelését, különösen olyan környezetekben, ahol a technológiai és szervezeti változások gyors ütemben zajlanak. Egy előre meghatározott követelménykatalógus hosszabb távon nem ösztönzi a legújabb trendeknek megfelelő vagy előremutató technológiai megoldások alkalmazását. Ez különösen igaz a kiber-fizikai rendszerek esetén, ahol a kockázatok gyakran nem lineáris módon, hanem több tényező kölcsönhatásából alakulnak ki.

A GRC modell egyik kulcseleme a governance, amely a szervezeti irányítás azon szintjét jelenti, ahol a stratégiai célok, az értékek és a működési keretek meghatározása történik, jellemzően board vagy tulajdonosi kört takarja. Ez egy magasabb szintű irányadó funkció, amely kijelöli azt a keretet, amelyen belül a szervezet működhet. A governance szerepe különösen fontos a komplex rendszerek esetében, ahol a döntések következményei több szinten és időtávon jelentkeznek. A megfelelő irányítás biztosítja, hogy a szervezet ne csupán rövid távú célokat kövessen, hanem figyelembe vegye a hosszú távú kockázatokat és következményeket is. Emellett a governance teremti meg azt a keretrendszert, amelyben a különböző szakterületek tevékenysége összehangolható, így a biztonságot is széleskörűen értelmezi a szervezet egészére. Valamint itt kerül magas szinten meghatározásra a szervezet kockázati étvágya is. A governance hiánya vagy gyengesége gyakran vezet fragmentált működéshez, ahol az egyes funkciók elszigetelten, eltérő célok mentén működnek. Ez különösen problémás a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek esetében, ahol a safety és security szempontok közötti „konfliktusok” megfelelő irányítás nélkül nem kezelhetők hatékonyan. A GRC megközelítés harmadik alappillére a kockázatkezelés, amely nem önálló funkcióként, hanem a döntéshozatal integráns részeként jelenik meg. A modell értelmezésében a kockázat a bizonytalanság hatása a szervezeti célokra, amely lehet negatív (veszteség) vagy pozitív (lehetőség) jellegű is. A kockázatkezelés integrációja azt jelenti, hogy a szervezet nem utólag, külön folyamatként kezeli a kockázatokat, hanem már a stratégiai és operatív döntések során figyelembe veszi azokat.

Ez különösen fontos olyan környezetekben, ahol a döntések gyorsan változó feltételek mellett születnek, és ahol a kockázatok jelentős része nem előre definiált. Ezért szükséges a kockázatkezelési folyamatokat ciklikus és eseti jelleggel folyamatosan elvégezni. Valamint szükséges naprakészen tartani a szervezet működési tevékenységével és az aktuális geopolitikai helyzettel összefüggő fenyegetéseket. Az alkalmazandó védelmi intézkedések implementálását pedig mindig a kockázatelemzés eredményei függvényében hangolni. A modern ipari környezetekben a kockázatok gyakran a technológiai, szervezeti és humán tényezők kölcsönhatásából erednek, így kezelésük csak integrált megközelítésben lehetséges. [7]

5. A NEMZETKÖZI SZABVÁNYOK GRC-BE ILLESZTÉSE

A modern veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek esetén különösen igaz, hogy a safety, a security, a megfelelés és a szervezeti működés szorosan összefonódnak. Ennek megfelelően szükségessé válik egy olyan integrált megközelítés, amely képes ezen dimenziók egységes értelmezésére és kezelésére. Ezt a szerepet töltheti be a GRC keretrendszer, amely nem önálló szabványként, hanem integráló elméleti és gyakorlati modellként értelmezhető. A GRC szemlélet alapja, hogy a szervezeti működés három alapvető dimenzió az irányítás (governance), a kockázatkezelés (risk) és a megfelelés (compliance), egységében ragadható meg. E három terület nem elkülönülten, hanem egymással kölcsönhatásban határozza meg a szervezet működését és biztonsági szintjét. A GRC Capability Model ezt a megközelítést egy dinamikus, életciklus-alapú rendszerként írja le, amely a kontextus megértésére, a célok és keretek meghatározására, a végrehajtásra, valamint a visszacsatolásra épül.

5.1 A nemzetközi szabványok integrációja GRC keretben

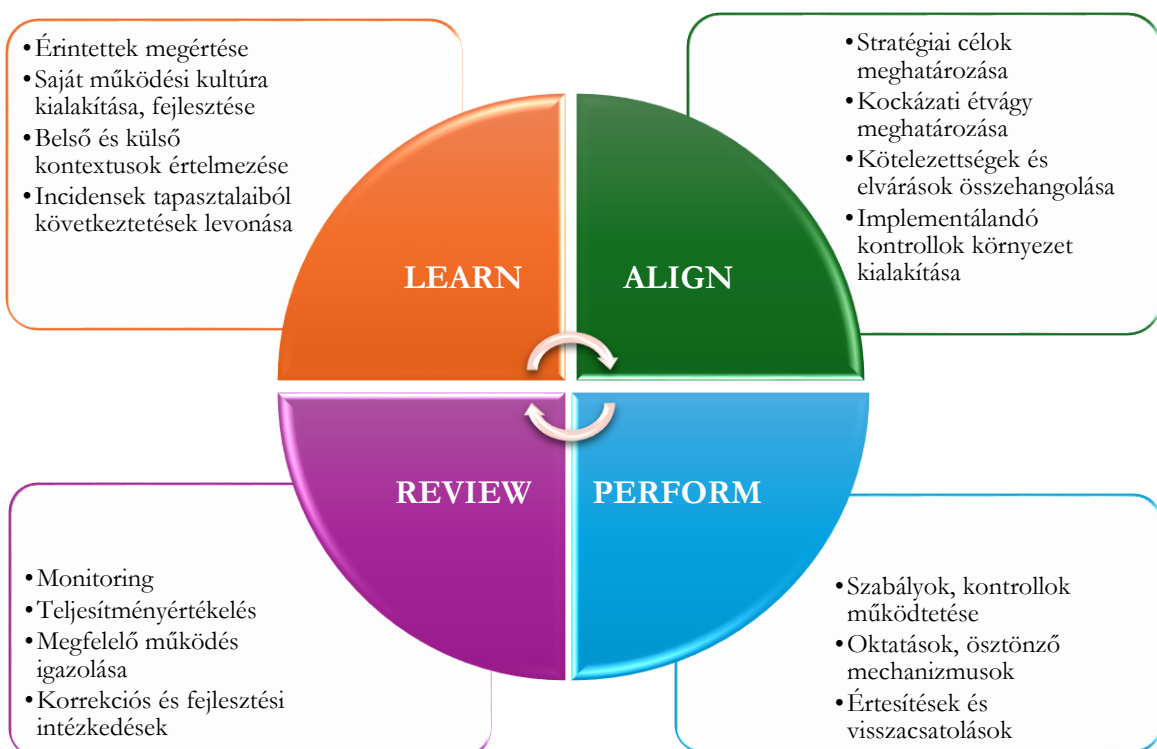
A biztonságirányítás gyakorlati megvalósítása során számos nemzetközi szabvány és ajánlás áll rendelkezésre, amelyek különböző aspektusait fedik le a biztonságnak. Ezek közül kiemelkedő jelentőségű az ISO/IEC 27001, amely a szervezeti szintű információbiztonsági irányítási rendszer kialakításához biztosít keretet. A szabvány kockázatalapú megközelítést alkalmaz, és meghatározza a szükséges irányítási struktúrákat, folyamatokat és felelősségeket, ezáltal elsősorban a governance és risk dimenziókat támogatja. [10] Ezzel szemben a NIST SP 800-53 egy részletes kontrollkatalógust nyújt, amely konkrét biztonsági intézkedéseket definiál. A szabvány erőssége a strukturált, auditálható követelményrendszer, amely elsősorban a compliance dimenziót erősíti, ugyanakkor önmagában nem biztosít teljes körű irányítási keretet. [8]

Az ipari környezet sajátosságait az IEC 62443 szabványsorozat, valamint a NIST SP 800-82 kezeli, amelyek kifejezetten az OT rendszerek védelmére fókuszálnak. Ezek a keretrendszerek figyelembe veszik az ipari rendszerek működési sajátosságait, és olyan technikai és szervezeti intézkedéseket határoznak meg, amelyek biztosítják a kiber- és fizikai folyamatok integrált védelmét. [3] [1] A safety dimenziót a hazai szabályozásban a 219/2011. (X.20.) Korm. rendelet által előírt biztonsági irányítási rendszer (BIR) képviseli, amely a súlyos ipari balesetek megelőzésére és következményeinek kezelésére biztosít strukturált keretet, az ipari folyamatok elfogadható szélsőértékek között tartásáért és az élvédelemért felelő biztonsági műszeres rendszerek (SIS) szintén szigorú nemzetközi IEC 61511 szabványnak kell, hogy megfeleljenek. Ezzel párhuzamosan az ISO 45001 a munkavédelem és az egészségvédelem területén alkalmaz kockázatalapú irányítási megközelítést, amely a szervezeti működés és a biztonsági kultúra integrációját hangsúlyozza. [11] [4]

5.2 A LAPR ciklus

A GRC Capability Model egyik központi eleme a Learn–Align–Perform–Review (LAPR) ciklus, amely a szervezeti működést egy folyamatos, visszacsatoláson alapuló rendszerként írja le.

Ez a megközelítés lehetővé teszi a különböző szabványok és szabályozási keretek funkcionális integrációját azáltal, hogy azokat nem statikus kategóriákba sorolja, hanem a működési folyamat különböző fázisaihoz rendeli. A „Learn” fázis célja a szervezet működési környezetének, kockázatainak, lehetőségeinek és érintetti elvárásainak folyamatos értelmezése, valamint a működés során keletkező tapasztalatok szervezeti tudássá alakítása. Ide sorolhatók a kockázatértékelési tevékenységek, a teljesítménymérések eredményeinek elemzése, a biztonságtudatossági képzések, a gyakorlatok és tesztek tapasztalatainak feldolgozása, valamint a bekövetkezett incidensekből levont tanulságok rendszerszintű beépítése. E fázist olyan keretrendszerek támogatják, mint például az ISO 31000, NIST SP 800-37 kockázatkezelési szabványok vagy a NIST SP 800-137 folyamatos biztonsági monitorozási megközelítése. Az „Align” fázisban kerül sor a célok, politikák és irányítási keretek meghatározására, amelyben az ISO szabványok mellett az etikai dimenzió meghatározó szerepet játszik. E szakasz célja, hogy a szervezet stratégiai célkitűzései, kockázatkezelési elvárásai és megfelelőségi kötelezettségei összhangba kerüljenek egymással, valamint egyértelműen kijelölésre kerüljenek a felelősségi körök és a döntéshozatali mechanizmusok. A „Perform” fázis a kontrollok tényleges megvalósítását jelenti, ahol a NIST SP 800-53 kontrollkatalógusa, a NIST SP 800-82 és az IEC 62443 ipari biztonsági követelményei, valamint a jogszabály által nevesített biztonsági irányítási rendszer (BIR) elvárásai biztosítják a működési alapot. A „Review” fázisban a rendszer működésének értékelése történik auditok, hatósági ellenőrzések és visszacsatolási mechanizmusok révén. Az itt keletkező visszacsatolások és tapasztalatok egyúttal a „Learn” fázis bemeneteit is jelentik, támogatva a szervezeti tanulást, a kockázatok újraértékelését és a folyamatos fejlesztést, ezzel pedig a LAPR ciklikusságának folytonossága is biztosított.



1. ábra LAPR ciklus, készítette: A szerző (forrás: lsd: [7])

A szervezeti kultúra és integritás nem egyetlen fázishoz köthető, hanem a teljes ciklust átható tényezőként jelenik meg, amely alapvetően befolyásolja a kontrollok tényleges működését.

5.3 Az etikai és kulturális dimenzió szerepe

A biztonságirányítás integrált megközelítése nem korlátozódhat a technikai és szabályozási aspektusokra, hanem ki kell terjednie a szervezeti működés etikai és kulturális dimenzióira is. Ebben a kontextusban kiemelt szerepet kaphat például az ISO 37001, amely a korrupció megelőzésére és az etikus működés biztosítására fókuszál. Egy formálisan megfelelően kialakított biztonsági rendszer is sérülékennyé válhat, ha a szervezeti kultúra nem támogatja a szabályok betartását, vagy ha a döntéshozatal során rövid távú érdekek felülírják a biztonsági szempontokat. A GRC megközelítés hangsúlyozza, hogy a szervezeti integritás nem csupán etikai kérdés, hanem a kockázatkezelés és a biztonság alapvető eleme. Belső szinten a hitelesség azt jelenti, hogy a szervezet működése összhangban áll a deklarált értékekkel és szabályokkal, míg külső szinten a szervezet megbízható és transzparens módon viselkedik az érintettek, így különösen a környező lakosság és a szabályozó hatóságok, irányába. A szervezet csak akkor tekinthető fenntarthatónak és hitelesnek, ha nemcsak teljesít és kockázatot kezel, hanem következetesen betartja az önkéntes és kötelező vállalásokat is. Az integritás értelmezhető a szervezet által tett és ténylegesen betartott vállalások közötti összhang mértékéeként. Ebben az értelemben az integritás nem pusztán etikai kategória, hanem a szervezeti működés konzisztenciájának és hitelességének mérőszáma, melynek aránya az alábbi ábrával szemléltethető:

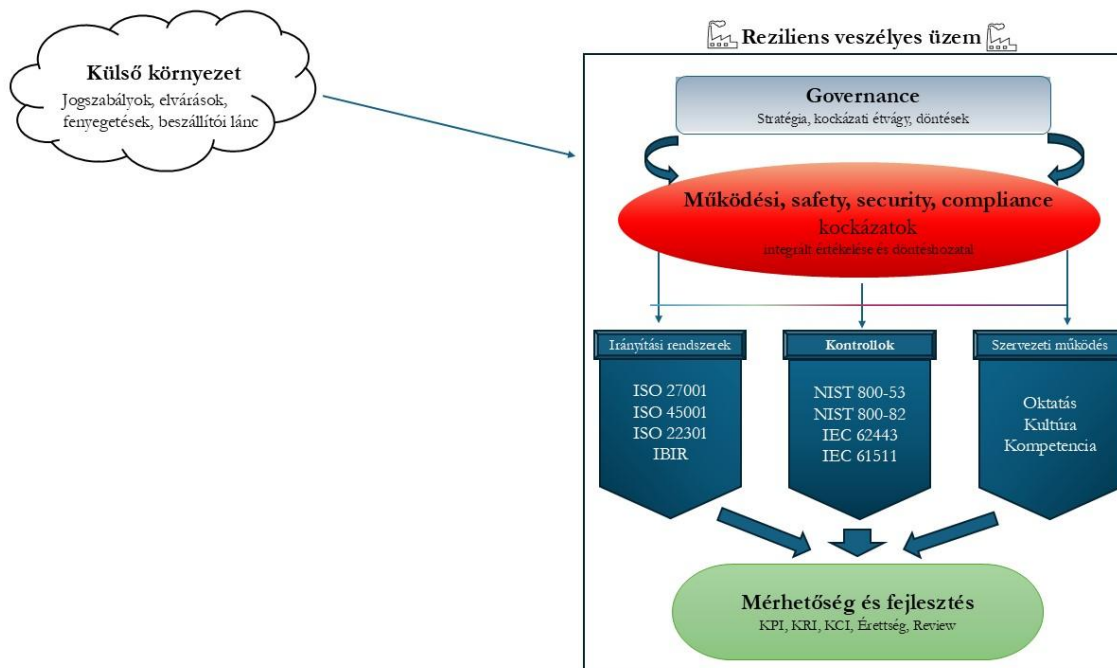
$$\text{integritás} = \frac{\text{betartott vállalások}}{\text{tett vállalások}}$$

Ez a kettős értelmezés különösen releváns a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek esetében, ahol a szervezeti működés közvetlen hatással van a környező lakosság biztonságára és bizalmára. A lakosság felé történő hiteles kommunikáció, a kockázatok átlátható kezelése, valamint a biztonsági intézkedések következetes alkalmazása nem csupán jogszabályi kötelezettség, hanem a társadalmi elfogadottság és a működési legitimitás alapfeltétele is. A GRC megközelítés hangsúlyozza, hogy a szervezeti integritás nem csupán etikai kérdés, hanem a kockázatkezelés és a biztonság alapvető eleme. Az önként vállalt normák és értékek, amelyek túlmutatnak a jogszabályi kötelezettségeken, hozzájárulnak a biztonsági kultúra erősítéséhez és a transzparenciával kapcsolatos kockázatok csökkentéséhez.

6. INTEGRÁLT GRC-ALAPÚ BIZTONSÁGI MODELL VESZÉLYES ÜZEMEKNEK

A veszélyes üzemek sajátossága, hogy a kockázatok következményei túlmutatnak az információbiztonság vagy az üzletmenet-folytonosság hagyományos dimenzióin. Egy ipari vezérlőrendszer vagy biztonsági PLC kompromittálódása közvetlen hatást gyakorolhat a technológiai folyamatokra, amely végső soron veszélyes anyag kibocsátásához vagy más súlyos ipari eseményhez vezethet. Ebből következően a kiberbiztonság nem értelmezhető pusztán támogató informatikai funkcióként, hanem az iparbiztonság integráns elemévé válik. Az ilyen jellegű kockázatok kezelése olyan integrált megközelítést igényel, amely a safety, security, compliance és governance dimenziókat egységes rendszerben értelmezi. A veszélyes üzemek esetében a biztonságirányítás elsődleges célja nem a jogszabályi megfelelés vagy az egyes védelmi intézkedések működtetése, hanem a súlyos következményekkel járó incidensek megelőzése és hatásainak csökkentése. Ennek megfelelően a modellben a safety szemlélet tölti be az integráló szerepet, amelyhez a kiberbiztonsági, megfelelőségi és irányítási követelmények kapcsolódnak. A modell a kockázatkezelést nem önálló szakterületként, hanem olyan összekötő mechanizmusként értelmezi,

amely biztosítja a különböző biztonsági dimenziók közötti kapcsolatot és támogatja a kockázatarányos döntéshozatalt. [12]



2. ábra A GRC meta-keret működése a veszélyes üzemek esetén, készítette: A szerző

Az integrált GRC-alapú modell lényege, hogy a biztonságirányítást nem különálló szabályozási és technikai elemek összességéként kezeli, hanem összekapcsolt irányítási struktúráként. Ebben a megközelítésben a jogszabályi környezet nem csupán megfelelési kötelezettségek halmaza, hanem a kockázatok értelmezésének kiindulópontja. A Seveso és a NIS2 szabályozás eltérő logikája – előbbi következményalapú, utóbbi szervezeti besorolásra épül – olyan szabályozási hiátust eredményezhet, amelynek következtében egy kiber-fizikai szempontból kritikus üzem kívül maradhat a kiberbiztonsági szabályozás hatályán. Az integrált modell ezt a problémát nem jogi, hanem kockázati összefüggésként kezeli, és lehetővé teszi, hogy a szervezet a formális kötelezettségeken túlmenően is kialakítsa a szükséges védelmi intézkedéseket. [7] [13] [14] A javasolt integrált GRC-alapú biztonsági modell a külső szabályozási követelményekre, az integrált irányítási rendszerekre és a technikai kontrollokra épül, amelyeket a vállalati governance és a kockázatkezelési folyamatok kapcsolnak össze egységes biztonságirányítási keretté. A négy elem nem hierarchikus értelemben különül el egymástól, hanem funkcionális szerepük alapján. A jogszabályi réteg határozza meg a kötelező minimumkövetelményeket, az irányítási réteg biztosítja a szervezeti működés és felelősségi rend kereteit, a technikai kontrollréteg valósítja meg a konkrét védelmi intézkedéseket, míg a vállalati governance réteg teremt meg azt a döntési, kockázatvállalási és erőforrás-allokációs környezetet, amelyben a biztonság ténylegesen működőképessé válik.

a. A jogszabályi réteg: Seveso és NIS2 kapcsolódása

A külső követelmények szintjén a modell alapját elsősorban a Seveso-szabályozás és a NIS2 irányelv hazai implementációja képezi. Bár a két szabályozási terület eltérő megközelítést alkalmaz, közös céljuk a szervezet működését veszélyeztető események megelőzése és következményeinek mérséklése.

A Seveso-rendszer elsősorban a veszélyes anyagokból eredő súlyos baleseti kockázatok kezelésére fókuszál, míg a NIS2 és a kapcsolódó hazai szabályozás a kiberbiztonsági kockázatok azonosítására, értékelésére és kezelésére helyezi a hangsúlyt. [7] [15] [16] A Seveso és a NIS2 közötti kapcsolatot nem formális hatályossági kérdésként, hanem kockázati összefüggésként szükséges értelmezni. Ennek alapján azon üzemek esetében is indokolt lehet kiberbiztonsági kontrollrendszer kialakítása, amelyek nem tartoznak a NIS2 hatálya alá, de technológiai folyamataik, veszélyesanyag-készletük, beszállítói kapcsolataik vagy ipari hálózati integrációjuk alapján rendszerszintű kockázatot hordoznak. [17] [7]

b. Az irányítási réteg: ISO-alapú menedzsmentrendszerek szerepe

Az irányítási dimenziót az ISO-alapú menedzsmentrendszerek biztosítják, amelyek lehetővé teszik a különböző biztonsági követelmények szervezeti folyamatokba történő integrálását. Kiemelt szerepet töltenek be az információbiztonsági, munkabiztonsági és üzletmenet-folytonossági követelményeket támogató szabványok, így különösen az ISO/IEC 27001, az ISO 45001 és az ISO 22301. Az irányítási réteg feladata, hogy a különböző szabványi megközelítéseket ne párhuzamos, egymástól független rendszerekként működtesse, hanem integrált menedzsmentrendszerként kapcsolja össze. [18] Az integrált modell ezért egységes kockázati és kontrollnyilvántartást feltételez, amelyben az egyes kockázatokhoz nem csupán informatikai vagy safety jellegű hatások rendelhetők, hanem azok kapcsolatai is megjelennek. [7] [13] [14] [19]

c. Technikai kontrollréteg

A harmadik pillért a technikai és szervezeti kontrollok alkotják, amelyek kialakításában meghatározó szerepet töltenek be az IEC 62443 szabványsorozat, a NIST SP 800-82 OT-biztonsági útmutatója és a NIST SP 800-53 kontrollkatalógusa. E keretrendszerek biztosítják azokat a védelmi intézkedéseket, amelyek támogatják az ipari rendszerek biztonságos működését. [20] [3] [21] [8] Az OT-környezetekben ugyanakkor a sérülékenységmenedzsment sajátos kihívásokat vet fel. Míg az informatikai rendszerek esetében az aktív sérülékenységvizsgálatok, az ügynök-alapú végpontvédelem és a gyors hibajavítás általánosan elfogadott gyakorlatnak számítanak, addig az ipari környezetekben e tevékenységek önmagukban is kockázatot jelenthetnek a technológiai folyamatokra és a safety funkciókra nézve. Egy nem megfelelően végrehajtott szkennelés, frissítés vagy végpontvédelmi megoldás akár a rendszer validált állapotát is befolyásolhatja, ami jelentős üzemeltetési és biztonsági következményekkel járhat. [21] [5] A kérdés ezért nem pusztán technikai, hanem irányítási és kockázatkezelési probléma. Az integrált GRC-modell célja, hogy az IT-, OT-, safety- és megfelelőségi szempontok közös kockázatértékelési folyamatban kerüljenek mérlegelésre, és a döntések formális változáskezelés, safety-hatásvizsgálat és vezetői kockázatelfogadás alapján szülessenek meg. [22] Ennek megfelelően a sérülékenységmenedzsment nem kezelhető sem a hagyományos informatikai gyakorlatok mechanikus alkalmazásával, sem azok teljes elutasításával. A megfelelő megközelítést a kockázatarányos alkalmazás jelenti, amely figyelembe veszi az adott technológiai zóna kritikalitását, a safety követelményeket, valamint a rendelkezésre álló kompenzációs kontrollokat. [23] [21]

d. A vállalati governance réteg: döntéshozatal, felelősség és kockázati étvág

A modell integráló elemét a vállalati governance jelenti, amely biztosítja, hogy a biztonság ne kizárólag technikai vagy megfelelőségi kérdésként jelenjen meg, hanem a szervezeti döntéshozatal részévé váljon. Veszélyes üzemek esetében ez különösen fontos, mivel a biztonsági döntések közvetlen hatással lehetnek a termelésre, a beruházásokra, az üzletmenet-folytonosságra és a külső érintettek bizalmára. [22] A governance réteg feladata a kockázati étvág meghatározása, a felelősségi körök kijelölése, a biztonsági célok és teljesítménymutatók jóváhagyása, valamint a kritikus döntések vezetői szintű kezelése.

Ide tartozik annak eldöntése is, hogy a szervezet milyen mértékű reziduális kockázatot fogad el egy adott technológiai folyamat, beszállítói kapcsolat vagy távoli hozzáférési megoldás esetében. [11] Az integrált GRC-alapú biztonsági modell lényege tehát, hogy a veszélyes üzemek biztonságát nem különálló szabályozási, technikai vagy szervezeti dimenziók összességéként értelmezi, hanem összekapcsolt irányítási rendszerként. A modell összekapcsolja a szabályozási követelményeket, az irányítási rendszereket és a technikai kontrollokat, miközben a végső döntések a szervezet kockázati prioritásaihoz és biztonsági céljaihoz igazodnak. [17]

7. A GRC-ALAPÚ BIZTONSÁGIRÁNYÍTÁS MÉRHETŐSÉGE, ÉRETTSÉGI MODELLJE

Az integrált biztonságirányítási modell gyakorlati alkalmazhatóságának alapvető feltétele a mérhetőség és a folyamatos fejlesztés lehetősége. A veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek esetében a biztonsági teljesítmény értékelése különösen fontos, mivel a kockázatok következményei nem csupán információbiztonsági vagy üzletmenet-folytonossági problémákban, hanem súlyos ipari balesetekben, környezeti káreseményekben vagy lakosságvédelmi kihívásokban is megnyilvánulhatnak. A hagyományos megfeleléségi szemlélet ugyan alkalmas a jogszabályi és szabványi követelmények teljesülésének vizsgálatára, azonban önmagában nem ad kellően árnyalt képet a szervezet tényleges biztonsági képességeiről. A GRC megközelítés ezért a biztonságot nem statikus megfelelési állapotként, hanem folyamatosan fejleszhető szervezeti képességként értelmezi. A modell alapját egy ötszintű érettségi megközelítés képezi, amely az ad hoc működéstől a reziliens és adaptív szervezeti működésig írja le a fejlődés lehetséges állapotait. Az alacsonyabb érettségi szinteken a biztonsági folyamatok jellemzően fragmentáltak, a kockázatkezelés reaktív jellegű, és a safety, security, compliance és governance funkciók elkülönülten működnek. A magasabb szinteken ezzel szemben megjelenik az integrált kockázatkezelés, az egységes kontrollrendszer, a formális döntéstámogatás, valamint a szervezeti tanulás és alkalmazkodóképesség. Az érettségi modell célja nem a maximális fejlettségi szint elérése minden területen, hanem a szervezet kockázati profiljához illeszkedő, fenntartható és indokolható biztonsági képesség kialakítása. [7] [24] A GRC szemléletben a biztonsági teljesítmény mérésének központi eleme a Total Performance megközelítés, amely szerint a szervezeti teljesítmény nem értelmezhető kizárólag megfeleléségi vagy gazdasági mutatók alapján. Veszélyes üzemek esetében a teljesítmény legalább négy egymással összefüggő dimenzióban értelmezhető: safety, security, compliance és governance. A safety dimenzió a technológiai veszélyek kezelésének és a súlyos balesetek megelőzésének képességét, a security dimenzió a kiber- és fizikai fenyegetésekkel szembeni védelmet, a compliance dimenzió a jogszabályi és szabványi követelmények teljesítését, míg a governance dimenzió a vezetői döntéshozatal, az erőforrás-allokáció és a kockázati étvágy kezelésének hatékonyságát méri. Fontos megemlíteni, hogy a dimenziókat egymással összekapcsoltan kell értelmezni. [7]

A teljesítménymérés gyakorlati megvalósítását integrált indikátorrendszer támogatja, amely kulcs teljesítménymutatókra (KPI), kulcs kockázati mutatókra (KRI) és kulcs kontrollindikátorokra (KCI) épül. A KPI-k a biztonsági célok teljesülését, a KRI-k előrejelző jellegű mutatóként a kockázati kitettség változását követik nyomon, míg a KCI-k a kontrollok tényleges működését jelzik. Az indikátorok értelmezése önmagukban nem elegendő; azok csak egymással összefüggésben képesek támogatni a vezetői döntéshozatalt és a szervezeti teljesítmény valós értékelését. Ennek megfelelően a veszélyes üzemek esetén különösen fontos, hogy az indikátorok ne kizárólag informatikai vagy megfeleléségi szempontokat tükrözzenek, hanem figyelembe vegyék a safety következményeket is. Ennek megfelelően például az OT sérülékenységmentesítés értékelése során nem elegendő a javított sérülékenységek számának mérése; vizsgálni kell a kockázatértékelések meglétét, a kompenzációs kontrollok alkalmazását, a safety hatáselemzések elvégzését és a reziduális kockázatok vezetői elfogadását is. [23] [1] [25]

A bemutatott mérhetőségi és érettségi modell lehetővé teszi, hogy a veszélyes üzemek biztonságirányítása a megfelelőségi minimumkövetelményeken túlmenően a tényleges kockázati kitettséghez igazodjon. Ez különösen fontos azokban az esetekben, amikor a szervezet nem tartozik valamely szabályozás közvetlen hatálya alá, ugyanakkor technológiai folyamatai, veszélyesanyag-készlete vagy beszállítói kapcsolatai révén jelentős kiber-fizikai kockázatot hordoz. A GRC-alapú megközelítés így nem csupán a biztonsági teljesítmény mérését támogatja, hanem a fejlesztési prioritások kijelölését, a vezetői döntéshozatal megalapozását és a szervezeti reziliencia folyamatos növelését is. [7] A modell gyakorlati alkalmazhatóságát jól szemlélteti az OT sérülékenységmenedzsment kérdése. Hagyományos informatikai környezetben egy kritikus sérülékenység javításának gyorsasága önmagában megfelelő teljesítménymutatónak tekinthető. Veszélyes üzemek esetében azonban egy frissítés telepítése a technológiai folyamatokra is hatással lehet, ezért a döntés során a kiberbiztonsági és a safety szempontokat egyaránt figyelembe kell venni. Ebben az esetben a KPI mérheti a kezelt sérülékenységek arányát, a KRI jelezheti a nyitott kritikus sérülékenységek számát, míg a KCI azt mutathatja meg, hogy a szükséges kockázatarányos kockázatarányos, safety hatáselemzések és vezetői jóváhagyások megtörténtek-e. Az indikátorok együttes alkalmazása így lehetővé teszi a kockázatarányos döntéshozatalt és a safety–security szempontok összehangolását és egységben történő kezelését.

8. KÖVETKEZTETÉSEK

A 21. századi ipari környezetei miatt a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek biztonsági kihívásai egyre inkább megkövetelik az iparbiztonsági, kiberbiztonsági, megfelelőségi és irányítási funkciók integrált kezelését. A szerzők által végzett jogszabályi összehasonlító elemzések alapján megállapítható, hogy a Seveso alapú szabályozás és a NIS2 hazai implementációja eltérő logikára épül. Míg a súlyos ipari balesetek megelőzését és elhárítását célzó szabályozás elsődlegesen következmény- és veszélyalapú megközelítést alkalmaz, addig a kiberbiztonsági szabályozás elsősorban szervezeti és szolgáltatási alapú besorolást követ. Ennek következtében olyan veszélyes üzemek is megjelenhetnek, amelyek jelentős kiber-fizikai kockázatot hordoznak, ugyanakkor nem tartoznak teljes körű kiberbiztonsági követelmények hatálya alá. A bemutatott megközelítés egyik legfontosabb eleme a mérhetőség biztosítása. Az érettségi modell, a Total Performance szemlélet, valamint a KPI–KRI–KCI alapú indikátorrendszer lehetővé teszi, hogy a szervezetek a biztonságot ne statikus megfelelőségi állapotként, hanem folyamatosan fejleszthető, kockázatarányos és vezetői döntésekkel támogatott szervezeti képességként értelmezzék. A vizsgálatok alapján megállapítható továbbá, hogy veszélyes üzemek esetében a kiberbiztonság nem kezelhető kizárólag hagyományos IT- vagy OT-biztonsági megközelítések mentén, hanem azt a technológiai folyamatokból eredő következmények figyelembevételével, üzembiztonság-központú (safety) megközelítésben szükséges értelmezni és kezelni. A kutatás eredményei alapján megállapítható, hogy a GRC nem önálló biztonsági keretrendszerként, hanem integráló meta-keretként alkalmas arra, hogy összekapcsolja a safety, security, governance és compliance dimenziókat. Ennek alkalmazása hozzájárulhat a veszélyes üzemek teljes körű rezilienciájának kialakításához.

9. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] K. Stouffer, M. Pease, C. Tang, T. Zimmerman, V. Pillitteri, S. Lightman, A. Hahn, S. Saravia, A. Sherule és M. Thompson, „Guide to Operational Technology (OT) Security,” NIST SP 800-82 Rev. 3, 09 2023. [Online]. Elérhető: <https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/82/r3/final>. (10.12.2023)
- [2] Z. Wang, J. Wang, Z. Wei, W. Ye és L. Zhang, „Safety integrity level assessment for safety instrumented system in oil and gas station with cyber threat,” *Reliability Engineering & System Safety*, 1. évfolyam 265 szám Part B, 01 2026.
- [3] International Society of Automation (ISA), „ISA-62443-1-1 Security for industrial automation and control systems, Part 1-1: Terminology, concepts, and models,” ISA, 2007.
- [4] International Electrotechnical Commission (IEC), 61511-1:2016 Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector – Part 1: Framework, definitions, system, hardware and application programming requirements, Geneva: IEC, 2016.
- [5] IBM X-Force, „X-Force Threat Intelligence Index 2026,” IBM Corporation, 25 02 2026. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/reports/threat-intelligence>. (2026.03.11.)
- [6] K. Tamás, Szerző, *ICS/OT kiberbiztonság Bevezetés az OT csodálatos világába*. [Előadás]. 2026.
- [7] OCEG, *GRC Capability Model*, OCEG, 2024.
- [8] National Institute of Standards and Technology, „NIST Special Publication 800-53 Revision 5 Security and privacy controls for information systems and organizations,” U.S. Department of Commerce, 2020.
- [9] CISCO Talos, „2025 year in review,” CISCO, Online, 2025.
- [10] ISO/IEC, 27001:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems — Requirements, Geneva, CH: ISO copyright office, 2022.
- [11] ISO, „ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use,” International Organization for Standardization, Geneva, 2018.
- [12] Center for Chemical Process Safety (CCPS), Risked Based Process Safety Overview, USA, New York, NY: American Institute of Chemical Engineers, 2014.
- [13] ISO/IEC, „ISO/IEC 27002:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security controls,” International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission, Geneva, 2022.
- [14] Joint Task Force, „Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations-NIST Special Publication,” National Institute of Standards and Technology, <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-53r5>, 2020.
- [15] Miniszterelnöki Kabinetiroda, „Magyar Közlöny / Nemzeti Jogszabálytár,” 2024. [Online]. Elérhető: <https://njt.hu> (2026.06.26.)

- [16] Miniszterelnöki Kabinetiroda, „Magyar Közlöny / Nemzeti Jogszabálytár,” 2025. [Online]. Elérhető: <https://njt.hu>. (2026.06.26.)
- [17] National Institute of Standards and Technology, „The NIST Cybersecurity Framework 2.0,” National Institute of Standards and Technology, <https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.29>, 2024.
- [18] ISO, „ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines,” International Organization for Standardization, Geneva, 2018.
- [19] International Organisation for Standardization (ISO), ISO 22301-2019: Security and resilience - Business continuity management systems - Requirements, Geneva: ISO, 2019.
- [20] MITRE, „MITRE ATT&CK,” 2024. [Online]. Elérhető: <https://attack.mitre.org/matrices/ics/>.
- [21] Stouffer, Keith, Pease, Michael, Tang, CheeYee, Zimmerman, Timothy, Pillitteri, Victoria, Lightman, Suzanne, Hahn, Adam, Saravia, Stephanie, Sherule, Angela és Thompson, Michael, „Guide to Operational Technology Security - NIST Special Publication,” National Institute of Standards and Technology, <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r3>, 2023.
- [22] ISACA, COBIT 2019 Framework: Governance and Management Objectives, Schaumburg: ISACA, 2018.
- [23] Souppaya, Murugiah és Scarfone, Karen, „Guide to Enterprise Patch Management Planning: Preventive Maintenance for Technology - NIST Special Publication,” National Institute of Standards and Technology, <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-40r4>, 2022.
- [24] CMMI Institute, „CMMI Model V2.0,” CMMI Institute, <https://cmmiinstitute.com>, 2018.
- [25] ISO/IEC, „ISO/IEC 27004:2016 Information technology — Security techniques — Information security management — Monitoring, measurement, analysis and evaluation,” International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission, Geneva, 2016.

VÉDELEM
Tudomány



A KATASZTRÓFAVÉDELEM
ONLINE SZAKMAI,
TUDOMÁNYOS FOLYÓIRATA