

DR. MANGA LÁSZLÓ¹

SÚLYOS NUKLEÁRIS BALESETEK KÖRNYEZETI SUGÁRZÁSI HELYZET FELMÉRÉSI ELJÁRÁSAINAK ÉS MÓDSZEREINEK VIZSGÁLATA

A súlyos nukleáris balesetek környezeti hatásai igen nagy veszélyt jelentenek a környezetre és egyben az élő szervezetekre. Erre sajnos az idők folyamán több példa is volt. Munkámban olyan fejlesztési megoldásokat és lehetőségeket mutatok be, amivel egy atomerőmű vagy más nukleáris létesítmény még szélsőséges körülmények között is meg tudja valósítani a nukleáris környezetellenőrzést. Kitérek olyan rendszerekre, eszközökre, amelyekkel a sugárhelyzetértékelés hatékonyságát növelni lehet, megkönnyítve a döntéshozók gyors és optimális döntését ezzel elősegítve a környezetterhelés minimalizálást.

Kulcsszavak: súlyos nukleáris baleset, nukleáris környezetellenőrző rendszer, sugárhelyzet értékelés, sugárfelderítés

ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL RADIATION SITUATION ASSESSMENT PROCEDURES AND METHODS FOR SERIOUS NUCLEAR ACCIDENTS

The environmental effects of severe nuclear accidents pose a great threat to the environment and to living organisms. Unfortunately, there have been several examples of this over time. In my work, I present development solutions and opportunities which a nuclear power plant or other nuclear facility can implement nuclear environmental monitoring even under extreme conditions. I will discuss systems and tools that can be used to increase the efficiency of the radiation situation assessment, helping decision-makers to make quick and optimal decisions, thus helping to minimize the environmental impact.

Keywords: severe nuclear accident, nuclear environmental monitoring system, radiation situation assessment, radiation detection

¹ Dr. Manga László, vezető szervező, Paksi Atomerőmű Zrt. mangal@npp.hu, orcid.org/0000-0003-1672-7629

Bevezetés

Az emberiség történelmét jelentősen befolyásoló meghatározó tudományos eredménye volt a radioaktivitás felfedezése és annak ipari technológiai alkalmazása. Az atomerőművek világszerte hatalmas hangsúlyt kapnak, de nemcsak hasznosságuknak köszönhetően, hanem azok veszélyeit illetően is, ami akár katasztrófához is vezethet [1; 120. o]. Sajnos az ilyen helyzetekre is volt példa az elmúlt évtizedekben. Éppen ezért az atomerőművek elterjedésével párhuzamosan a biztonsági előírások is folyamatosan fejlődtek, hogy az energiakinyerés a lehető legnagyobb nukleáris biztonság mellett és a lekisebb környezeti károsítással valósulhasson meg. A következőkben célom, hogy összefoglalóan ismertessem a kutatásaimat, ami a nukleáris környezetellenőrzés jegyében született fejlesztési javaslatokat és eszközrendszereket foglalja össze.

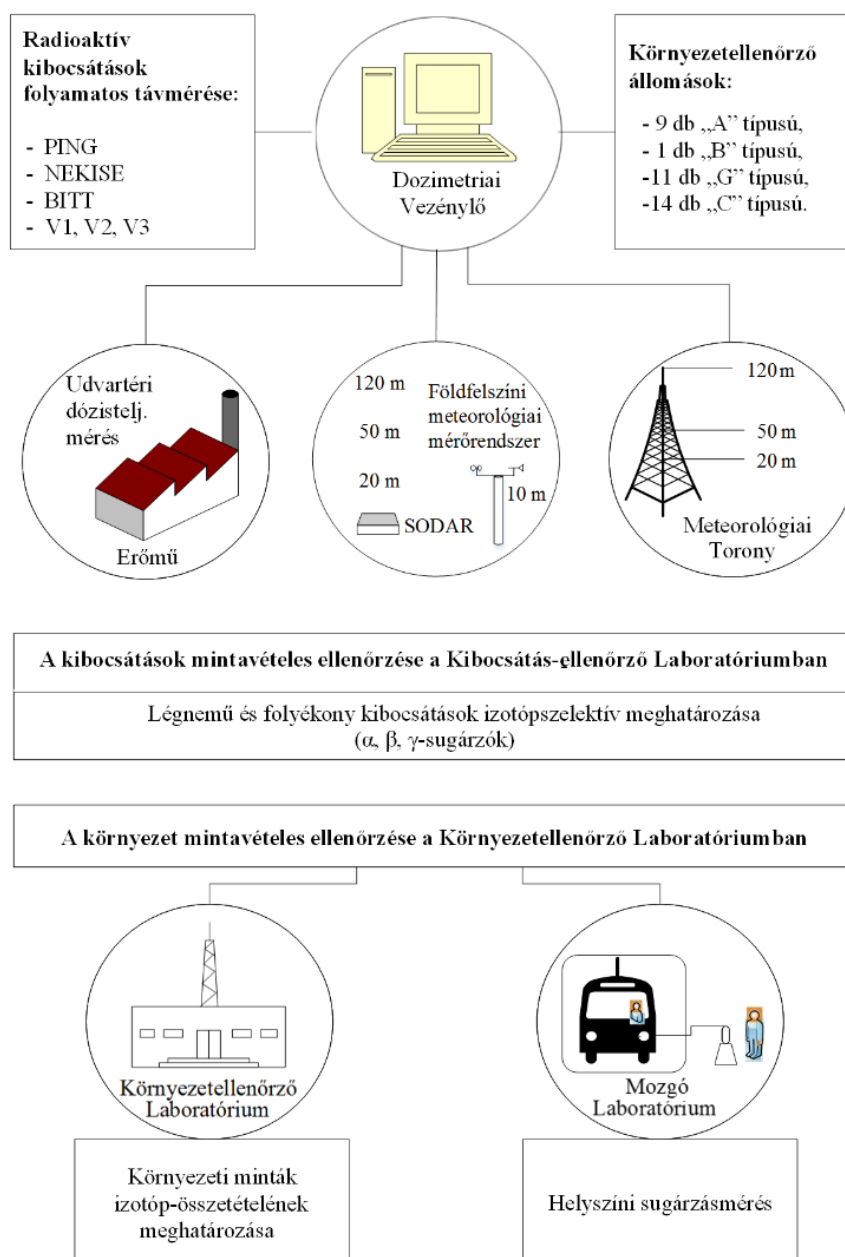
Szakirodalmi áttekintés

A kutatásaim kapcsán szeretném kiemelni Solymosi József nevét. Külön öröm volt számomra, amikor olvastam az MTA doktori disszertációját a nukleáris környezetellenőrző mérőrendszerek témakörében [2] és ezzel szoros összefüggésben lévő fejlesztéseit a nukleáris mérőműszerek tekintetében, amihez a szabadalmak is tartoztak [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Az iparbiztonsági szakirodalom széleskörben foglalkozik a ipari kockázatok kezelésének és elhárításának kérdéseivel [10], amelyek részletes elemzésére jelen tanulmányban csak szűkkörűen lehet kitérni. Itt említeném meg Berek Tamás nevét [11] a műveleti támogató tanszék vezetőjét, aki az ABV támogatás elméleti és gyakorlati kutatási területe kapcsán [12, 13, 14] nyújtott nagy segítséget. Rengeteget tanultam Kátai-Urbán Lajostól és Vass Gyulától, az iparbiztonsági tanszék vezetőjétől, aki folyamatosan segítette kutatómunkámat és az iparbiztonság területén szerzett nagy tudásából és szakértelméből mind szóban, mind írásban [15] ismereteket szerezhettem oktatásainak és szakcikkeinek köszönhetően. Ugyancsak széles látóköréről tanúskodik a sugárzásmérő intelligens detektorok alkalmazásának lehetőségeiről írt cikkben való közreműködése [16] vagy az IRPA konferencián ismertetett sugárszennyezett területek felmérésével kapcsolatosan tett észrevételei kapcsán [17]. Mindenképp szeretném még megemlíteni a több egyetemen is tanító Pátzay Györgyöt, aki szoros kapcsolatot tart az atomerőművel végzettségének köszönhetően elsősorban a vegyészet területén, de sokat profitáltam szakcikkeiből is az atomerőművi balesetek és üzemzavarok tanulságai révén [18,19]. Az ugyancsak nagy múlttal rendelkező Muhoray Árpád munkássága is nagy hatással volt rám elsősorban a nemzetközi és nemzeti szinten is foglalkozó veszélyhelyzeti-, katasztrófavédelmi- és védelmi-biztonsági szabályozás terén [20, 21, 22].

Súlyos baleset esetén sok feladat hárul a tűzoltóságra, ezért ezzel kapcsolatosan bővítettem ismereteimet az önkéntes tűzoltók bevonhatóságát illetően [23], ebben nagy segítségemre volt a Katasztrófavédelmi Intézet vezetőjének, Varga Ferencnek a szakcikke [24].

Nukleáris létesítmények környezetében kialakított monitoring rendszer

Először a paksi atomerőmű példáján keresztül bemutatom az Üzemi Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszert (ÜKSER). Ennek szemléltetésére az alábbi 1. ábrát választottam, mivel ezen az ábrán összefüggésében látható a rendszerek sokszínűsége és komplexitása.



1. ábra A paksi atomerőmű Üzemi Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszerrének (ÜKSER) működési sémája [25 12.6-3]

Az ábra bal felső oldalán láthatóak a kibocsátás-ellenőrzéshez tartozó távadó rendszerek, amelyek a légnemű és folyékony kibocsátáson alapuló aktivitásokat, aktivitáskoncentrációkat és dózisteljesítményeket foglalják magukba. Jobb oldalt fent láthatóak az erőműből már kibocsátásra került légnemű közegek mintázását és mérését szolgáló távmérő rendszerek, amik ugyancsak az előbbiekben említett paraméterek monitorozását végzik. Mind a kibocsátás-ellenőrzés mind a környezet-ellenőrzés esetében ez kiegészítésre kerül a mintavételezésen alapuló mérésekkel. A mérések laboratóriumi körülmények között történnek a mintafeldolgozást követően. Ezen kis kimutatási határral rendelkező, precíziós meghatározások a kibocsátott radioaktív anyag fizikai-kémiai jellemzőire is következtetni enged, ami adott esetben segíti a rendellenes technológia behatárolását.

Súlyos nukleáris baleset esetén, azonban elsősorban a gyors monitorozó távadó rendszerekre tudunk támaszkodni. Ilyen szempontból fontos szerepe van a dozimetriai vezénylőnek (az ábra tetején, középen), ahova a távadó rendszerek jelei futnak be. Itt állandó műszakos személyzet gondoskodik a beérkező jelek figyeléséről és amennyiben anomália tapasztalható vagy figyelmeztető és/vagy vészszint generálódik, megtörténik a mérőcsatorna „hihetőség vizsgálata”, vagyis - többek között - összehasonlításra kerül az egyes technológiai rendszerek sugárvédelmi paramétere a kibocsátás- és környezet-ellenőrzés sugárvédelmi méréseivel.

A környezet terhelésének szempontjából fontos szerepet töltenek be az udvartéri detektorok, amelyek nagy segítséget nyújtanak annak beazonosításában, hogy kémény vagy épületkibocsátással állunk szemben egy esetleges baleset során. A kimenekítési útvonalak szempontjából ugyancsak fontos szerepet töltenek be ugyanúgy, mint a meteorológiai paramétereket szolgáltató rendszerek. Az ábrán tovább lefelé haladva utalás látható a laboratóriumok közül a Környezet ellenőrző Laboratóriumra, ami Paks belterületén kapott helyett. Ezen kívül a Kibocsátás-ellenőrző Laboratórium végez mintavételen alapuló méréseket, ami viszont az ellenőrzött zónában található. A Környezetellenőrző Laboratórium üzemeltetésében van még egy Sugárvédelmi Mérőautó, ami jelenlegi állapotában inkább normálüzemi körülményekre van felkészítve és helyszíni, úgynevezett in-situ mérések és mintavételek végzésére, mérésére használható.

Nukleáris környezetellenőrzés távadó rendszerinek fejlesztése a súlyos nukleáris balesetek tükrében

A továbbiakban bemutatom a nukleáris környezetellenőrzés területén tett tanulmányozásomat és fejlesztési javaslataimat, ami figyelembe veszi a fukushimai súlyos nukleáris baleset utáni úgynevezett „stresszteszt” eredményeit is, amire a világ összes erőművét kötelezték. Ennek keretében a paksi atomerőmű elkészítette a Célzott Biztonsági Felülvizsgálatot, ami sugárvédelmi vonatkozásban kitért a szélsőséges körülmények (földrengés és teljes feszültség kiesés) közötti sugárvédelmi adatszolgáltatás üzembiztonságára és ennek keretében felülvizsgálatra kerültek azon rendszerelemek, amelyek egy súlyos nukleáris baleset esetén létfontosságú adatokat szolgáltatnak. A nukleáris környezetellenőrzés terén tett javaslataim nagy része már kivitelezésre is került, amiket a következőekben ismertetek.

A kibocsátás-ellenőrzéshez kapcsolódóan megvizsgáltam a légnemű kibocsátásokhoz kapcsolódó aeroszol-, jód- és nemesgáz (a továbbiakban PING) monitoring- valamint a nemesgázok izotópszelektív méréseit végző (továbbiakban NEKISE) rendszereket. Az ikerkéményből kiáramló levegő dózisteljesítmény mérését végző BITT szondát. A bejövő és kimenő hűtővíz (V1, V2) és az erőműből kibocsátásra kerülő úgynevezett „mérleg felletti”- és tisztított szennyvizek (V3) monitorozását végző vizes állomásokat. A környezet-ellenőrzés kapcsán pedig az erőműből kikerült légnemű kibocsátás ellenőrzését végző állomásokat (A1-9, B, G1-11, C1-14). A terjedés meghatározásában fontos szerepet játszó meteorológiai rendszereket (SODAR, torony). A dózisteljesítményt mérő udvartéri detektorokat, a kibocsátás- és a környezetellenőrzés kapcsán a mintavételezéshez kapcsolódó méréseket, valamint a rendelkezésre álló mérőautót.

A fentiek tükrében arra a következtetésre jutottam, hogy a légnemű kibocsátást mérő PING és NEKISE rendszeren is fejlesztések hajthatók végre elsősorban a felső mérés határuk kiterjesztése révén vagy a jódmonitor mintaváltás kapcsán, azonban az egyszerűséget és a gazdaságossági szempontokat is figyelembe véve a BITT szonda megerősítése tűnt a legésszerűbbnek. Ennek a redundanciának a kiépítése azért célszerű, mert széles a méréstartománya és hosszú ideje megbízható mérést szolgáltat. A földrengésállósága és a 72 órás teljes feszültség kiesés elleni védelme viszonylag könnyen megoldható. A BITT szonda által szolgáltatott dózisteljesítmény adatból pedig még aktivitás-koncentrációk is becsülhetők. Azonban ezt a mérést mindenképpen célszerű kiegészíteni még egy légforgalmat mérő nagy

megbízhatóságú szondával, a kibocsátás forrásának (kémény és/vagy épület) meghatározása szempontjából [28 6-86].

A vizes állomások kapcsán ugyancsak szükséges a földrengésállóság és a teljes feszültségvesztés elleni védelem minimum 72 órás áthidalási idővel. Ez utóbbit a V1 és V2 állomás esetén úgy lehet véghezvinni, hogy az üzemtől kisebb teljesítményű pótszivattyút építünk be, ami akkumulátorokról még tovább tudja biztosítani a folyamatosan frissülő vízminztát. Ezáltal a mintagyűjtő edényzetben a minta tartózkodási ideje ugyan hosszabb, de még mindig elégséges a reprezentativitás fenntartásához. A V3 állomás esetén kicsit más a koncepció, mivel itt nincs folyamatos kibocsátás. Itt célszerű a jelenlegi mérés technikát (puffertartály-vízmérő edényzet) átalakítani oly módon, hogy magát a kibocsátó vezeték tudjuk mérni nagy érzékenységű pajzs detektorral, ami kibocsátáskor méri a csővezetékén átfolyó közeg aktivitását. Az edényzet a mintavételezés miatt továbbra is megmaradhat, de az a csővezetékben lévő áramlási viszonyokkal összehangoltan kell, hogy teljesüljön.

További fejlesztési javaslatom volt a redundancia és diverzitás jegyében vezeték nélküli adatkapcsolat kiépítése a központi adatgyűjtő felé, a PLC vezérlésre való áttérés és a sok adatkoncentrátor és ipari számítógép helyett, valamint a konténer klimatizálása, ami a rendelkezésre állást tovább erősítette [28 6-86]. Figyelembe véve az üzemidő hosszabbítás iránti törekvéseket és a leendő Paks 2 környezeti monitoringrendszerbe való beintegrálás lehetőségét az állomást betápkábeleinek és jelkábelek cseréje is megfontolandó földrengésálló módon. További lehetőség, az állomások aggregátoros megáplálása, amihez plusz aggregátorok beszerzése szükséges.

Az A1-9- (üzemi) és a B- (referencia állomás) típusú állomások (1-1,5 km-es körzet) kapcsán ugyancsak általános érvényű a földrengés elleni védelem és a létfontosságú mérések teljes feszültség kiesés elleni védelme. Továbbá a nagyobb rendelkezésre állás jegyében klíma berendezésekkel és PLC vezérléssel lettek ellátva az adatgyűjtők. Az akkumulátortelepek a baleseti helyzetben fontos távmérő eszközöket az úgynevezett kis térfogatú mintavételező egységet tartják működésben, ami az aeroszolk, elemi- és szerves jódok folyamatos monitorozását végzik, valamint a konténeren kívüli nagy méréshatárú BITT szondát látják el feszültséggel 72 órás áthidalási idővel.

Mérés technikai szempontból a szerves jód mérő NaI(Tl) hőstabilizált szcintillációs detektor kicserélése vált célszerűvé hőkompenzált típusúra a nagyobb rendelkezésre állás jegyében. Ugyancsak mérés technikai szempontból pedig a korábban nehezen ellenőrizhető matematikai hatásfokkalibráción alapuló négy jód-izotóp spektrum „bekapuzása” le lett

egyszerűsítve a legjellemzőbb I-131 izotópra való vonatkoztatásra [28 6-86]. Az A1-9- és B-típusú állomások még tartalmaznak a mintavételezés szempontjából fontos eszközöket úgy, mint a trícium és radiokarbon mintavevő egységet, nagyterfogatú mintavevő rendszert, száraz és nedves kihullás mintavételezésére szolgáló edényzetet, de ezek fejlesztésére nincs szükség a súlyos nukleáris baleset szempontjából. A C1-14 állomások (30 km-es körzet) távmérés szempontjából nem töltenek be szerepet (passzív eszközzel történő dózismérésre és esetleges mintavételi lehetőséget biztosítanak), ezért részletességgel nem térek ki rájuk.

A G1-11 típusú állomások esetén, az autonóm áramellátást biztosító napelemek bővítésére nincs szükség, ami biztosítja a nagy méréshatárú dózisteljesítménymérő tápellátását. A földrengésállóság szempontjából a tartószerkezet minősítve van, a napelemek rögzítésének földrengés szempontjából való bevizsgálása szükségszerűtlen, mivel a fejlesztés keretében az akkumulátorok kapacitása olyan mértékben kiterjesztésre került, ami a 72 órás áthidalást a napelem elvesztése esetén is messze felülmúlja. További fejlesztés alá eső eszköz a rádiók lecserélése, ami az összes többi vezeték nélküli kapcsolatot létesítő állomásoknál is alapkritérium volt a stabilabb kapcsolattartás végett [26 6-86].

A 18 db udvartéri detektor kapcsán ugyancsak több fejlesztési lehetőséggel éltem. A detektorok a fejlesztés előtt csak vezetékes kapcsolattal (jelkábel, betápkábel) rendelkeztek, javaslatomra most már vezeték nélküli kapcsolattal is rendelkeznek és a helyi akkumulátor segítségével 72 órás áthidalással autonóm működésre is képesek. A földrengés veszélyére való felkészítés keretében 5 db udvartéri detektor áthelyezésre került romhatáron kívülre, ahol nem volt igazolható a környezetében lévő objektum földrengésállósága és olyan acélállványzatot kapott a megfelelő alapokkal, ami az előírt földrengésállósági követelményeknek megfelel [26 6-86].

A meteorológiai rendszerek fontos szerepet töltenek be egy esetleges súlyos nukleáris baleset kapcsán, hiszen ezen adatok segítségével határozhatók meg a terjedésbeli sajátágok. A jelenlegi rendszerek kielégítik a redundancia és diverzitás fogalmát. A SODAR rendszer előnyeként fogalmaznám meg egyszerű mozgó alkatrészek nélküli felépítését, miszerint a földfelszínről kibocsátott ultrahang visszaverődéséből tudja meghatározni a szélprofil. Ez a rendszer már telepítése idején kielégítette a földrengés elleni védelem kritérium rendszerét, azonban az akkumulátor kapacitására vonatkozóan fejlesztési javaslatokat fogalmaztam meg, hogy az előírt 72 órás áthidalásra is képes legyen, illetve az aggregátoros megáplálás lehetőségének kiaknázására plusz aggregátor beszerzésre tettem javaslatot.

A telepítési helyére vonatkozóan vannak még olyan meglátásaim, hogy a körülötte lévő épületek turbulens hatása nemiképp torzíthatja az erőmű környezetére jellemző értékeket. Ilyen szempontból a 120 m-es meteorológiai torony megfelelő helyen van, azonban a SODAR rendszerrel ellentétben nincs bevizsgálva F2-es erősségű tornádó ellen, illetve a rajta elhelyezett eszközök is több karbantartást igényelnek. Mindent összevetve a két rendszer jól kiegészíti egymást, ahol a prioritizált adatszolgáltatást a SODAR végzi.

A mintavételek kapcsán már említettem, hogy egy súlyos nukleáris baleset esetén nincs idő és lehetőség a belőle kinyert adatok meghatározására, azonban vannak olyan jellegű esetek és baleset típusok, amikor kulcsfontosságú a laboratóriumi feldolgozás és az azokból kinyerhető adat. Ezért a 15/2001 (VI.6.) KöM rendelettel [27] összhangban a hatóság által jóváhagyott Kibocsátás- és Környezet Ellenőrzési szabályzatot kiegészíteném TA2-4 (várható üzemi eseményekre és tervezési üzemzavarokra) és TAK1-2 (komplex és súlyos balesetekre) üzemi állapotokban való mintavételekkel, eljárásokkal [28 5-34, 29 4-30].

Nukleárisbaleset-elhárítás sugárhelyzetértékelési eszközrendszereinek tanulmányozása a súlyos nukleáris balesetek tükrében

A következőkben ugyancsak a paksi atomerőmű példáján keresztül mutatom be a nukleárisbaleset-elhárítási rendszert és azon belül felülvizsgálom a sugárvédelmi vonatkozású feladatokat, valamint és meghatározom azon területeket, ahol fejlesztési lehetőségeket látok. A paksi atomerőmű az országos rendelkezésekkel összhangban Balesetelhárítási Szervezetet működtet, aminek feladata, hogy az Átfogó Veszélyhelyzeti Intézkedési Tervben (továbbiakban ÁVIT) foglaltakat kezelni tudja [32 I-V]. Az ÁVIT tartalmazza többek között a Nukleárisbaleset-elhárítási Intézkedési Tervet [30 II. 6-38].

A sugárvédelmi vonatkozású feladatokat a Sugárvédelmi Szervezet látja el valamivel több, mint 50 fővel. A szervezeti egységen belül foglal helyett a Sugárhelyzetértékelő Részleg, Sugárvédelmi Eszközbiztosító Részleg a Radio-, Biológiai-, Vegyi (továbbiakban RBV) Csoport és a Mentесítő Csoport. Az RBV Csoporton belül helyezkedik el a Sugárszennyezettség-mérő Részleg és a Sugárfelderítő Részleg a három Sugárfelderítő Rajjal [30 II. 17-19]. Figyelembe véve egy esetleges súlyos nukleáris baleset bekövetkeztét most elsősorban a sugárhelyzetértékelés- és sugárfelderítés eszközeit vettem górcső alá. Teszem mindezt azért, mert véleményem szerint a döntéshozók egy ilyen helyzetben a technológiai állapotokon kívül ezt kell, hogy első körben mérlegre tegyék a környezet- és az emberek megóvása érdekében.

A sugárhelyzetértékelés egyik kulcsfontosságú eszköze a terjedést számító szoftver. Az erőmű esetében ez két szoftvert foglal magába. Az egyik a Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer keretei között futó úgynevezett Dose on Lite (egyszerűsített online dózisteljesítmény számító) szoftver, ami a környezeti állomások gamma-sugárzás környezeti dózisteljesítmény egyenértéke alapján extrapolációval határozza meg az erőmű 30 km-es távolságára a dózisteljesítmény értékeket [31 3-62]. A másik az úgynevezett TREX (Transport Exchange) program, ami a forrástag ismeretében tudja számolni a kibocsátott radioaktív anyag térbeli eloszlását Lagrange-féle megközelítést alkalmazva, ami figyelembe veszi a terjedést, bomlást és ülepedést [32 1-76]. A számításokat 30 km-es körzetre végzi el előre jelzett AROME (Application of Research to Operations at Mesoscale) adatok alapján, amit az Országos Meteorológiai Szolgálat szuper számítógépe szolgáltat [33] vagy a telephelyi meteorológiai paraméterek alapján.

Fejlesztési javaslatom a szoftverekkel kapcsolatosan az, hogy az amúgy is rendelkezésre álló kiterjesztett sugárvédelmi paraméterekkel (munkahelyi-technológiai-, kibocsátás- és környezetellenőrzési adatok) legyen megtáplálva egy komplex szoftver. Ezáltal a terjedés számítása (a megfelelő modellekkel való kiegészítésekkel) nemcsak az erőmű 30 km-es körzetére terjeszthető ki, hanem valós forrástaggal előre jelezhető lenne az épületeken belüli és közvetlen környezetében uralkodó sugárzási viszonyok, amik a további valós mérésekkel frissítve a lehető legpontosabb előrejelzéseket adnák a döntéshozók számára.

Korábban említettem, hogy az erőmű rendelkezik egy sugárvédelmi mérőautóval (Környezetellenőrző Laboratórium üzemeltetésében). Ez az autó felszerelhető kézi mintavevő eszközökkel és kézi műszerekkel, azonban egy súlyos nukleáris baleset esetén ettől nagyobb képességekkel célszerű ellátni. Ezért fejlesztési javaslatom az, hogy az erőműben ugyancsak fellelhető, a baleset-elhárítás kötelékében szolgálatot teljesítő sugárárnyékolt (páncélozott), terepi képességekkel és kívül-belül dózisteljesítmény mérőkkel ellátott csapatszállító autó tovább fejlesztésre kerüljön és/vagy új beszerzése valósuljon meg további képességek növelésével. A képességek ki kell, hogy terjedjenek az autóba integrált, különböző sugárzásokat (α , β , γ) és méréstartományokat átfogó egyéb sugárzásmérő eszközökre (dózismérők, útvonal-monitoring rendszerek, felületi szennyezettségmérők, gamma-spektrométerek), mintavételi eszközökre (levegő-, folyadék-, környezeti minták).

A szennyezett területek jelölésére alkalmas jelölő eszközök kihelyezésére, a kollektív védelem érdekében szűrt levegő betáplálására enyhe kompresszió létrehozására (ezzel a képességgel a meglévő is rendelkezik). A sugárfelderítők további feladata a vegyi- és biológiai

felderítés is, ezért célszerű erre a feladatokra is felkészíteni a gépjárművet a megfelelő műszerezettséggel (spektrométerek, gázmérők, szennyezettségmérők) együtt. Az RBV képességek szempontjából fontos része a gépjárműnek a meteorológiai paramétereket mérő egysége is. Ezeken kívül természetesen nagyon fontos szerepet tölt be a kommunikáció és adatvitel, aminek kiépítését redundáns és diverz módon célszerű telepíteni.

A következőkben olyan eszközrendszer alkalmazhatóságára térek ki, amely a nukleáris létesítmények környezetében még nem terjedt el, így a paksi atomerőmű kapcsán korszakalkotó kezdeményezés. Ezek nem mások, mint a drónok. A tanulmányozásaim során az már az elején kiderült, hogy a légi sugárfelderítés nagyon hatékonyan használható akár kiterjedt radioaktív szennyezések, akár lokális forráspontok, sugárforrások beazonosítására. A helikopteres vagy merevszárnyú drón sugárfelderítési módszerei kapcsán ugyanis számos cikk jelent meg a Katonai Műszaki Doktori Iskola égisze alatt, amik arról tanúskodnak, hogy akár a gyalogos felderítéssel összevethető pontosságot hordoznak magukban, mindezt gyorsan és nagy területek feltérképezése mellett tudják végrehajtani.

Figyelembe véve a drónok azon tulajdonságait, hogy viszonylag olcsók, gyorsan bevethek, akár kötelékben is használhatók, a felszerelhető eszközrendszerek (detektorok, mintavételi- és megfigyelő eszközök) igen változatosak, üzemeltetésük és tárolásuk viszonylag olcsó és egyszerű és nem utolsósorban az élőerő nélkülözhető, ezzel megfelelve az ALARA elvnek, ami az emberek sugárvédelmi szempontjából nélkülözhetetlen. Bizonyos, speciális elven működő – pl. szárny csapkodás elven - drónok segítségével, pedig egyéb sugárfelderítési célok is megvalósíthatók pl. épületen belül. A megfelelő kommunikációs csatornákon keresztül, pedig kiegészítő méréseket tudnak szolgáltatni a sugárhelyzetértékelőknek, amik kulcsfontosságúak lehetnek egy súlyos nukleáris baleset kapcsán.

Komplex döntéstámogató szoftver koncepcionális kifejlesztése, alkalmazása

Egy nukleáris létesítmény esetén a legnagyobb kihívás egy esetleges súlyos nukleáris baleset bekövetkezése és annak kézben tartása oly módon, hogy a környezetet a lehető legkisebb mértékben terheljük. A döntéshozók ilyenkor rendkívül nehéz helyzetben vannak, hiszen rengeteg adatot, tényezőt és egyéb információt kell figyelembe venniük és mérlegelniük. Ezért gondolom azt, hogy egy komplex döntéstámogató szoftver ezt a munkát nagyban meg tudja könnyíteni ugyanis az amúgy is rendelkezésre álló távadók adatai - kiegészítve a mobil eszközök által szolgáltatott adatokkal -, egyéb adatbázisokkal, modellező és előrejelző rendszerekkel egy helyen rendelkezésre tudnának állni. Ezek után olyan szűrések és

algoritmusok alkalmazhatók, aminek révén már csak a releváns adatok maradhatnak ezzel megkönnyítve a döntéshozók munkáját.

A döntéstámogató szoftver elsődleges célja az, hogy a technológiai rendszerek állapotának monitorozása mellett, annak sugárzási paraméterei is nyomon követhetők legyenek. Csak így valósítható meg, hogy a radioaktív kibocsátás mértékével és a kibocsátás helyével/helyeivel tisztában legyünk. Amennyiben ezek az információk rendelkezésre állnak már könnyebb a döntéseket meghozni a környezet károsításának minimalizálást figyelembe véve. A szoftvert ezen kívül ki lehet bővíteni egyéb funkciókkal is. Gondolok itt az egyéb veszélyhelyzet-kezelésekre, amik újabb szakterületek bevonását vonják maguk után. Az ehhez kapcsolódó adatbázisok, mérési eredmények ugyancsak rendelkezésre állnak. További lehetőségként említem meg, hogy az ilyen helyzetekben az illetékes országos szervek és hatóságok felé a megfelelő kicsatolásokkal – amik már most is nagyrészt rendelkezésre állnak - az adat és információáramlást meg lehetne könnyíteni a megfelelő jogosultságok és engedélyek beállításával.

További kutatási irányok meghatározása

A nukleáris erőművek üzembiztonsági aspektusai több biztonsági szakterület esetében vizsgálta szakmai és tudományos kérdésekre is kiterjednek. A nukleáris erőművek az iparbiztonság súlyos balesetek elleni védekezéssel foglalkozó szakterületének hatálya alá is tartozik. A kérdéskör vizsgálatával számos tudományos munka foglalkozott az elmúlt években [34-37]. A veszélyes anyaggal foglalkozó balesetek megelőzésének egyik fontos területe a gyúlékony veszélyes anyagok szabad levegőre jutásának megakadályozása, melynek legfontosabb műszaki alapja a jelzőrendszerek kiépítése [38]. Ezek a rendszerek beépíthetők épületen belül, például kereskedelmi és logisztikai raktárak esetében, vagy épületen kívülre, technológiai és természeti környezetben [39]. Az elmúlt években a technológiai fejlődés eredményeként előtérbe került e rendszerek egyszerűsítése, alkalmazásuk összehangolása más célokat szolgáló rendszerekkel. Gyakorlati tapasztalatok alapján megállapítható továbbá, hogy a szolgáltatási kritikus szervezeti szektorokban a fenti rendszerek jelentős hatással vannak az adott létesítmény üzletmenetfolytonossági teljesítményére [40]. Nem tekinthetünk továbbá el a képzés és kutatás közbiztonság növelő szerepéről sem, amely a hatóságok és a rendvédelmi szervezetek együttműködését is igényli [41] Ugyancsak nagyon fontos a környezetbiztonság szempontjából, hogy az üzemeltetők magas szinten betartsák a veszélyes áru tárolási követelmények [42]. Ezen túl a veszélyes áru szállítási tevékenységek közbiztonsági tervezési

szabályainak széleskörű és hatékony alkalmazása is kiemelt kutatási feladatot fog jelenteni [42, 43].

Összefoglalás

Az atomenergia alkalmazásának elterjedése olyan korszakalkotó, hogy anélkül az életet már nehéz elképzelni. Az atomerőművek által használt fűtőelemek fajlagos energia kinyerése jelenleg semmivel sem összevethető és mindezt normál üzem mellett környezetkímélő módon teszik. Az elmúlt évtizedek néhány sajnálatos eseménye azonban arra is rávilágított, hogy a súlyos nukleáris baleset bekövetkeztével is számolnunk kell. Az ilyen helyzetekben a környezet terhelésének csökkentése létszükség. Cikkemben ezt szem előtt tartva teszek fejlesztési javaslatokat a következő témakörökben:

- Nukleáris környezet-ellenőrzés,
- nukleárisbaleset-elhárítás sugárvédelmi vonatkozású eszközrendszereinek fejlesztése,
- komplex döntéstámogató rendszer kifejlesztése.

Ennek tükrében fejlesztési javaslatokat dolgoztam ki a nukleáris környezetellenőrzés terén, aminek nagy része már kivitelezésre is került. Ezek a fejlesztések összefüggésben voltak általános jelleggel a földrengés- és teljes feszültség vesztes elleni védelemmel, illetve behatárolásra kerültek azok a létfontosságú mérések, aminek megerősítése vagy kicserélése szükségszerű volt a súlyos nukleáris balesetet feltételezve.

A nukleárisbaleset-elhárítás szempontjából elsősorban a sugárvédelmi vonatkozású feladatokra fókuszáltam, azon belül is a sugárhelyzetértékelésre és a sugárfelderítési eszközökre, módszerekre. A sugárhelyzetértékelés szempontjából fontos szerepet betöltő terjedésszámító szoftverekre fejlesztési irányként, adtam meg a jelenlegi szoftverek összeintegrálását, és egyéb modellekkel való kibővítést, amivel lehetővé válhat a valós forrástagon alapuló terjedésszámítás. További előnyként könyvelhető, hogy nemcsak 30 km-es körzetre, hanem az épületeken belüli és közvetlen környezetükre is tudnak előrejelzéseket adni rövidebb és hosszabb távon egyaránt.

A sugárfelderítés kapcsán a sugárvédelmi mérőautó fejlesztésére és egy új eszközrendszerre a drónok alkalmazhatóságára teszek javaslatot. A sugárvédelmi mérőkocsi kapcsán felsoroltam azokat a szempontokat, aminek meg kell, hogy feleljenek egy esetleges súlyos nukleáris baleset kapcsán. A drónok sugárvédelmi (mérések, mintavételezések, élőerő nélkülözése révén) és gazdaságossági szempontból is jól alkalmazhatók. Mind a merevszárnyú,

mind a forgószárnyú modellek létjogosultsága bizonyítható, sőt kötelékben vagy több típus együttes alkalmazása révén komplexebb feladatok elvégzésére is alkalmasak.

A komplex döntéstámogató rendszer kifejlesztésével pedig a döntéshozók munkáját lehet megkönnyíteni, hogy a lehető leggyorsabban a legoptimálisabb döntést tudják meghozni. A szoftver segítségével nyomon követhető a technológiai állapot mellett annak sugárzási paraméterei és azok kibocsátási útvonalai. A kellő algoritmus alkalmazásával és a megfelelő előrejelző modellek kiegészítésével pedig az adatok szűrhetők lehetnének, hogy csak a releváns adatok álljanak rendelkezésre. A szoftver további lehetőséget biztosíthat a baleset-elhárításban részt vevő országos szervek és a hatóság felé a kommunikáció és adatszolgáltatás terén. Mindent figyelembe véve a fejlesztési és újítási javaslataimnak köszönhetően folyamatosan monitorozhatók, modellezhetők a sugárzási viszonyok, aminek révén olyan döntések hozhatók, amivel meg tudjuk óvni környezetünk biztonságát, minimalizálhatjuk annak terhelését és megóvhatjuk az emberek életét és egészségét.

Irodalomjegyzék

- [1] Manga L. – Kátai-Urbán, L.: *Nukleáris balesetekből levonható tanulságok – a tudomány állása I. rész.* Bolyai Szemle XXV. évf. 4. szám (2016) pp. 120-136 ISSN 1416-1443. Online: [bolyai-szemle-2016-04.original.pdf\(uni-nke.hu\)](http://bolyai-szemle-2016-04.original.pdf(uni-nke.hu)) (letöltés: 2023.08.20.)
- [2] Solymosi J: *Nukleáris környezetellenőrző mérőrendszerek: Alkotások leírása* 20 p. (1992) Disszertáció/MTA Doktora
- [3] Solymosi J, Tömör J, Gaál L: *Eljárás és berendezés atomrobbantások radioaktív termékei által az élő szervezetre gyakorolt sugárveszély mértékének a termékek életkora alapján történő értékelésére* Lajstromszám: 177 623.
- [4] SOMOS Alapítvány – a védelmi és biztonsági oktatásért és kutatásért: *Szabadalmak hasznosítása* Online: <http://www.sugarvedelem.hu/sjalk.htm> (letöltés: 2023.08.20.)
- [5] Solymosi J, Baumler E, Gresits I, Gujgiczter Á, Németh F, Nagy L Gy, Horváth L, Sarkadi A: *Eljárás és kapcsolódási elrendezés radioaktív felületi szennyeződés mérésére.* Lajstromszám: 201 162.
- [6] Solymosi J, Baumler E, Nagy L Gy, Gresits I, Gujgiczter Á, Sarkadi A, Körösi S, Dorogi L, Vodicska M: *Eljárás és berendezés béta-sugárzó izotópo(ka)t tartalmazó minta aktivitásának mérésére nagy intenzitású gamma-sugárzási háttérben.* Magyar Szabadalom 200 001 (1990)

- [7] Baumler Ede, Erdős Kálmán, Pintér István, Sarkadi András, Gujgiczer Árpád, Solymosi József, Németh Ferenc, Nagy László, Plachtovics György, Illés Zsolt, Szabó Endre: *Univerzális radioaktív sugárázsmérő műszer és eljárás, valamint rendszertехnikai elrendezés a méréshatárának kiterjesztésére* Lajstromszám: 224 502
- [8] Solymosi J, Baumler E, Nagy L Gy, Zagyvai P, Gresits I, Gujgiczer Á, Dorogi L, Takács M, Vajda N, Vodicska M.: *Eljárás és berendezés ismeretlen összetételű és/vagy több komponensű, főként hasadási termékekkel kontaminált terepszakaszok sugárszintjének földi felderítésére.* Lajstromszám: 198 798.
- [9] Solymosi J, Baumler E, Nagy L Gy, Zagyvai P, Gresits I, Gujgiczer Á, Dorogi L, Takács M, Vajda N, Vodicska M: *Eljárás és berendezés ismeretlen összetételű és/vagy több komponensű, főként hasadási termékekkel kontaminált terepszakaszok sugárszintjének légi felderítésére.* Magyar Szabadalom Lajstromszám: 201 161 (1990)
- [10] Kátai-Urbán, Maxim. Veszélyes üzemek biztonságával foglalkozó mértékadó tudományos szakirodalom áttekintő értékelése. *Polgári védelmi szemle 15 : DAREnet projekt különszám* pp. 340-351., 12 p. (2023)
- [11] Földi László, Berek Tamás, Padányi József: Hungary's Energy and Water Security Countermeasures as Answers to the Challenges of Global Climate Change. *ACADEMIC AND APPLIED RESEARCH IN MILITARY AND PUBLIC MANAGEMENT SCIENCE 20* : 2 pp. 87-96. , 10 p. (2021) Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/aarms/article/view/4814/4784> (letöltés: 2023.08.20.)
- [12] Berek Tamás: *ABV védelmi ismeretek.* In: Czank László (szerk.) Katonai alapismeretek Munkafüzet Budapest, Magyarország : Zrínyi Kiadó (2012) pp. 112-119. , 7 p.
- [13] Berek Tamás: 10. *ABV (CBRN) védelmi alapismeretek.* In: Bódi, Stefánia; Berek, Tamás; Tálas, Péter; Czank, László; Mihályi, László; Téglási, József Honvédelmi alapismeretek : Digitális tananyag egyetemisták számára Budapest, Magyarország : Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem (2011) pp. 1-112. , 112 p.
- [14] Berek Tamás: A jövő tisztjeinek ABV védelmi felkészítésének iránya az ABV jártasság követelményeinek tükrében. *HADMÉRNÖK 5 : 2* pp. 5-16. , 12 p. (2010) Online: http://hadmernok.hu/2010_2_berek.pdf (letöltés: 2023.05.25.)
- [15] Szakál Béla - Vass Gyula - Kátai Urbán Lajos: *Katasztrófavédelem I. – Vegyipari Katasztrófák,* Budapest, Szent István Egyetem Ybl Miklós Főiskolai Kar 229 p, 2004

- [16] Petrányi János, Vass Gyula, Csurgai József és Kátai-Urbán Lajos: Sugárzásmérő intelligens detektorok alkalmazási lehetőségeinek összefoglalása. *Sugárvédelem* XIV. évf. (2021) 1. szám. 24–31 Online: Nukleáris létesítményekre vonatkozó sugárvédelmi követelmények korszerűsítése (elftsv.hu) (letöltés: 2023.08.20)
- [17] Petrányi János, Jónás Jácint, Zsitnyányi Attila, Kátai-Urbán Lajos, Vass Gyula: *Assessing the Radiation Contamination of Large Areas using Advanced Technologies* 6th European Congress on Radiation Protection : Book of Abstracts : Radiation Protection For Everyone. (2022) pp.116-116.,1p.,(2022) Online: irpa2022-boas.pdf (akcongress.com)
- [18] Dobor József, Pátzay György, Kossa György: Atomerőművi Balesetek és Üzemzavarok Tanulságai 1., *Hadmérnök* 12: (1) pp. 58-71. 2017 Online: http://www.hadmernok.hu/171_06_dobor.pdf (letöltés: 2023.08.20.)
- [19] Dobor József, Pátzay György, Kossa György: Atomerőművi Balesetek és Üzemzavarok Tanulságai 2., *Hadmérnök* XII: (4) pp. 84-98. 2017 Online: http://www.hadmernok.hu/174_09_dobor.pdf (letöltés: 2023.08.20.)
- [20] László Viktória, Muhoray Árpád: A veszélyhelyzeti szabályozás alkotmányos jogfejlődési tapasztalatainak értékelése. *Hadtudomány* 31 : E-szám pp. 146-161. , 16 p. (2021) Online: <https://ojs.mtak.hu/index.php/hadtudomany/article/view/8064/6599> (letöltés: 2023.08.20.)
- [21] Muhoray Árpád: Védelmi-biztonsági Szabályozási és Kormányzástani Műhelytanulmányok 2021/8. Online: https://hhk.uni-nke.hu/document/hhk-uni-nke-hu/VBSZK%20M%C5%B1helytanulm%C3%A1nyok%202021_8_%20Muhoray%20%C3%81rp%C3%A1d_A%20katasztr%C3%B3%C3%A1k%20kezel%C3%A9s%C3%A9nek%20perspekt%C3%ADv%C3%A1i%20%C3%A9s%20%C3%B6sszkezel%C3%A1si%20kapcsol%C3%B3k%20a%2021.%20sz%C3%A1zadban.pdf (letöltés: 2023.08.20).
- [22] Muhoray Árpád: A katasztrófavédelem és a védelmi és biztonsági feladatok tükrében Polgári Védelmi Szemle 14: DAREnet projekt Különszám 2022 pp. 64-88. , 25 p. (2022) Online: http://www.mpvsz.hu/letoltes/pvszemle/DAREnet_kulon_szam_online.pdf (letöltés: 2023.08.20.)
- [23] Bakai Kristóf Péter: A Budapest Önkéntes Mentőszervezet megalakulása és működésének első tíz éve. Polgári Védelmi Szemle XVII.: 2025 Különszám pp. 42-54. (2025)

- [24]Bérczi, László, Varga, Ferenc: Az önkéntes tűzoltóegyesületek tűzoltási és műszaki mentési feladatai. *Önkéntesség a katasztrófavédelemben* BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (2014) pp. 1-20. , 20 p.
- [25]*MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: 1-4. blokk Végleges Biztonsági Jelentés* (2022). Paks: MVM PA Zrt.
- [26]*A sugárvédelmi ellenőrző rendszer kibocsátás- és környezetellenőrzésének felújítása, műszaki leírás V.1.2.* (2016). Budapest: EK.
- [27]15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és vízbe történő radioaktív kibocsátásokról és azok ellenőrzéséről11. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról.
- [28]*MVM Paksi Atomerőmű Zrt.:Kibocsátás Ellenőrzési Szabályzata V04.* (2019). Paks: MVM PA Zrt.
- [29]*MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Környezetellenőrzési Szabályzata V4.* (2022). Paks: MVM PA Zrt.
- [30]*MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Átfogó Veszélyhelyzet-kezelési és Intézkedési Terv* (2019). Paks: MVM PA Zrt.
- [31]*MVM Paksi Atomerőmű Zrt.:SER KK rendszer, Terjedésszámítás a Dose on Lite program algoritmusa* (2019). Paks: MVM PA Zrt.
- [32]*TREX, Terjedési-Üledési Modell Szimulátor* (2021). Veszprém: Radioökológiai Tisztaságért Társadalmi Szervezet
- [33] ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT Térképes modell előrejelzés, AROME (2023):. Online: <https://www.met.hu/idojaras/elorejelzes/modellek/>
- [34] Kátai-Urbán, Lajos: Establishment and Operation of the System for Industrial Safety within the Hungarian Disaster Management. *Ecoterra: Journal Of Environmental Research And Protection* 11 : 2 pp. 27-45. (2014)
- [35] Szakál, Béla; Cimer, Zsolt; Kátai-Urbán, Lajos ; Vass, Gyula: Iparbiztonság II.: A veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek következményei és kockázatai: egyetemi tankönyv. Budapest, TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. (2013) , 182 p.
- [36] Kátai-Urbán, Maxim, Tibor Bíró, Lajos Kátai-Urbán, Ferenc Varga, and Zsolt Cimer. 2023. "Identification Methodology for Chemical Warehouses Dealing with Flammable

- Substances Capable of Causing Firewater Pollution" Fire 6, no. 9: 345.
<https://doi.org/10.3390/fire6090345>
- [37] Kátai-Urbán, Lajos, Zsolt Cimer, and Éva Eszter Lublőy. 2023. "Examination of the Fire Resistance of Construction Materials from Beams in Chemical Warehouses Dealing with Flammable Dangerous Substances" Fire 6, no. 8: 293. <https://doi.org/10.3390/fire6080293>
- [38] Tóth, Levente: A komplex objektumvédelem kihívásai napjainkban. Bolyai Szemle 27 : 1 p. 35 (2018)
- [39] Kátai-Urbán, M. (2023). Veszélyes anyagok és áruk tárolásának biztonsága, különös tekintettel a baleseti vízzennyezésre. Hadmérnök, 18 (1), 29–41.
<https://doi.org/10.32567/hm.2023.1.3>
- [40] Bognár, B. 2023. Social Resilience "Security Is What We Do!" Védelem tudomány 7(2) 49 – 64.
- [41] Bakai, Kristóf Péter (2022): Tudás a hatékony szervezet működéséért, avagy a Belügyi Szemle jelentősége a magyar vámhatóság hatékonyságának biztosításában. Belügyi Szemle (2010-) 70 : 11 pp. 2165-2169.
- [42] Kátai-Urbán, Maxim ; Cimer, Zsolt (2021) : A veszélyes anyagot tároló raktárcsarnokok tervezésének tűzvédelmi és iparbiztonsági aspektusai. In: Hábermayer, Tamás; Ackermann, Zsuzsanna (szerk.) II. Iparbiztonsági és hatósági nap : Konferenciakiadvány. Paks, Tolna Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság pp. 58-63.
- [42] Almási, Csaba; Kátai-Urbán, Lajos; Cimer, Zsolt: ABV-felderítő eszközök bemutatása és fejlesztési lehetőségei. Védelem Tudomány 8 : különszám pp. 195-205. (2023)
- [43] Almási, Csaba; Cimer, Zsolt ; Kátai-Urbán, Lajos ; Vass, Gyula: Prevention of Terrorist Attacks during the Transport of Dangerous Goods by Road in Hungary. American Journal of Research Education and Development 2022 (2) 2-10. (2022)