

Manga László¹

A súlyos nukleáris baleseteket követő környezeti sugárzásihelyzet-felmérési eljárások és módszerek kutatása és fejlesztése

A súlyos nukleáris balesetek 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, amelyekkel egy atomerőmű vagy más nukleáris létesítmény még szélsőséges körülmények között is meg tudja valósítani a nukleáris környezet-ellenőrzést. Kitérek olyan rendszerekre, eszközökre, amelyekkel a sugárhelyzet-értékelés hatékonyságát növelni lehet, megkönnyítve a döntéshozók gyors és optimális döntését, ezzel elősegítve a környezetterhelés minimalizálását.

Kulcsszavak: súlyos nukleáris baleset, nukleáris környezet-ellenőrző rendszer, sugárhelyzet-értékelés, sugárfelderítés

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL RADIATION SITUATION ASSESSMENT PROCEDURES AND METHODS FOLLOWING 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 in 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 Vezető szervező, MVM Paksi Atomerőmű Zrt. Biztonsági Igazgatóság / Védelmi Főosztály / Baleset-elhárítási Osztály, e-mail: mangal@npp.hu; ORCID ID: 0000-0003-1672-7629.



Bevezetés

Az emberiség történelmét jelentősen befolyásoló, meghatározó tudományos eredmény volt a radioaktivitás felfedezése és annak ipari technológiai alkalmazása. Az atomerőművek világszerte hatalmas jelentőséggel bírnak, nemcsak hasznosságuknak köszönhetően, hanem azok veszélyeit illetően is, amelyek akár katasztrófához is vezethetnek.² Az elmúlt évtizedekben sajnos az ilyen jellegű eseményekre is volt példa, elég, ha csak a csernobili vagy a fukusimai katasztrófákra gondolunk. Emiatt az atomerőművek elterjedésével párhuzamosan a biztonsági előírások is folyamatosan fejlődtek, hogy az energiakinyerés a lehető legnagyobb nukleáris biztonság mellett és a legkisebb környezeti károsítással valósulhasson meg.

A következőkben célom, hogy összefoglalóan ismertessem kutatásaimat, amelyek a nukleáriskörnyezet-ellenőrzés jegyében született fejlesztési javaslatokat és eszközrendszereket vizsgálták. Korszerűsítéseimnek köszönhetően jelentősen csökkenthető a környezet terhelése súlyos nukleáris baleset esetén, ezzel megóvva az emberek egészségét és életét. Kutatási témám napjainkban még aktuálisabb az orosz–ukrán háború miatti energiaválság és az ugyancsak az ehhez az eseményhez köthető zaporizzsjai atomerőmű biztonsága kapcsán. A hosszú távú stratégiai energiapolitikát illetően nemcsak Magyarország, de számos más ország is meghosszabbítja a meglévő atomerőművek üzemidejét, és új atomerőműveket létesít.

Irodalmi áttekintés

Kutatásaim során nagy büszkeséggel töltött el, amikor szembesültem azzal, hogy a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen és azon belül is elsősorban a Katonai Műszaki Doktori Iskolában (a továbbiakban: KMDI) milyen sok szaktekinetly publikált a témámmal kapcsolatosan mind hazai, mind nemzetközi szinten, ami nemegyszer még szabadalommal is zárult. Ennek kapcsán mindjárt szeretném kiemelni egyik témavezetőm, Solymosi József, a KMDI alapítója nevét. Külön öröm volt számomra, amikor olvastam MTA-doktori disszertációját a nukleáriskörnyezet-ellenőrző mérőrendszerek témakörében,³ ugyanis kutatásaim

² MANG – KÁTAI-URBÁN 2016: 120.

³ SOLYMOI 1992: 20.

szorosan összefüggenek a nukleáris balesetek és a környezeti monitoringrendszer tanulmányozása kapcsán fejlesztéseivel a nukleáris mérőműszerek tekintetében, amelyhez a szabadalmak is tartoztak.⁴ Műszerfejlesztéseiről írt publikációi nagyban hozzájárultak a kibocsátás- és környezet-ellenőrző rendszeren javasolt méréstechnikai fejlesztéseimhez.

Ugyancsak szeretném kiemelni Padányi József nevét, aki a KMDI jelenlegi vezetőjeként és egyetemi tanárként is segíti többek között a válságreagáló műveletek, a katasztrófák elleni védekezés, illetve a műszaki támogatás kutatási területén kutatók munkáját. Így én is sokat tanulhattam tőle, de említhetném a tőle olvasott angol nyelvű szócikket⁵ is, amely tanulságos volt számomra a tekintetben, hogy a szélsőséges időjárási jelenségek milyen következményekkel járhatnak az energiabiztonság terén, így a nukleáris létesítményekre is. Ezt azért is tartottam fontosnak, mert munkámban én is kitérek a szélsőséges körülményekre, amit fejlesztési javaslataim során figyelembe vettem. Itt említeném meg szerzőtársa, Berek Tamás, a Műveleti Támogató Tanszék vezetője nevét,⁶ aki az ABV-támogatás elméleti és gyakorlati kutatási területe kapcsán⁷ nyújtott nagy segítséget a sugárvédelmi mérőautó és drón ABV-képességeire vonatkozó fejlesztési javaslataim irányvonalai mentén.

Rengeteget tanultam másik témavezetőmtől, Kátai-Urbán Lajostól, az Iparbiztonsági Tanszék vezetőjétől, aki folyamatosan segítette kutatómunkámat, és nagy iparbiztonsági tudásából és szakértelméből mind szóban, mind írásban⁸ ismereteket szerezhettem oktatásainak és szócikkeinek köszönhetően, amelyeket kutatásaim során jól tudtam alkalmazni. Ugyancsak széles látóköréről tanúskodik az általam a környezeti állomások korszerűsítése kapcsán vizsgált sugárzásmérő intelligens detektorok alkalmazásának lehetőségeiről írt cikkben való közreműködése⁹ vagy a sugárszennyezett területek felmérésével kapcsolatosan tett észrevételei,¹⁰ amelyekkel én is sokat foglalkoztam a sugárfelderítő képességek vonatkozásában. Hasonlóan megemlíteném Vass Gyula, a Tűzvédelmi Műszaki Tanszék vezetője nevét, aki Kátai-Urbán Lajossal több

⁴ SOLYMOSI–TÖMÖR–GAÁL 1983; SOLYMOSI et al. 1990a; SOLYMOSI et al. 1990b; SOLYMOSI et al. 1990c.

⁵ PADÁNYI 2013: 30–40.

⁶ FÖLDI–BEREK–PADÁNYI 2021: 87–96.

⁷ BEREC 2012, 2011, 2010.

⁸ KÁTAI-URBÁN et al. 2023: 1–24.

⁹ PETRÁNYI et al. 2021: 24–31.

¹⁰ PETRÁNYI et al. 2023: 915–921.

témában is közreműködött,¹¹ és megosztotta a katasztrófavédelmi intézetben szerzett hatalmas tudását.

Mindenképp szeretném még megemlíteni a több egyetemen is tanító Pátzay Györgyöt, aki szoros kapcsolatot tart az atomerőművel elsősorban a vegyészet területén, de sokat profitáltam szakkikkeiből is az atomerőművi balesetek és üzemzavarok tanulságai révén.¹² Az ugyancsak nagy alkotói múlttal rendelkező Muhoray Árpád munkássága is nagy hatással volt rám elsősorban a nemzetközi és nemzeti szinttel is foglalkozó veszélyhelyzeti, katasztrófavédelmi és védelmi-biztonsági szabályozás terén,¹³ amelyre dolgozatomban én is többször kitérek. Súlyos baleset esetén sok feladat hárul a tűzoltóságra, ezért ezzel kapcsolatosan bővítettem ismereteimet az önkéntes tűzoltók bevonhatóságát illetően, ebben nagy segítségemre voltak a Katasztrófavédelmi Intézet vezetőjének, Varga Ferencnek a szakkikerei.¹⁴

Fontos kérdéseket feszeget még a veszélyes üzemek biztonságával foglalkozó áttekintő értékelésében Kátai-Urbán Maxim is,¹⁵ amelyben felhívja a figyelmet, hogy a nukleáris biztonsági szempontok mellett az atomerőműveknél figyelembe kell venni a súlyos balesetek elleni védekezéssel kapcsolatos mértékadó szakirodalmat, illetve ugyancsak nagyon fontos a környezetbiztonság szempontjából, hogy az üzemeltetők magas szinten betartsák a követelményeket, például a veszélyes anyagok tárolásának tervezését illetően, tűz megelőzési és iparbiztonsági szempontból.¹⁶

A nukleáris létesítmények környezetében kialakított monitoringrendszer

Először a Paksi Atomerőmű példáján keresztül bemutatom az Üzemi Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszert (a továbbiakban: ÜKSER). Ennek szemléltetésére az 1. ábrát választottam, mivel ezen összefüggésében látható a rendszerek sokszínűsége és komplexitása.

Az 1. ábra bal felső oldalán láthatók a kibocsátás-ellenőrzéshez tartozó távadórendszerek, amelyek a légnemű és folyékony kibocsátáson alapuló aktivitásokat,

¹¹ PETRÁNYI et al. 2021; 2023.

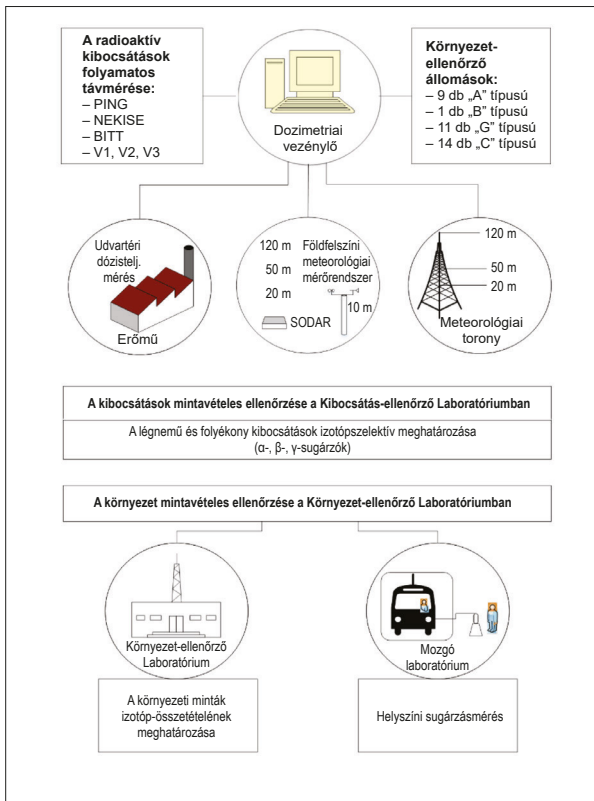
¹² DOBOR–PÁTZAY–KOSSA 2017a, 2017b.

¹³ LÁSZLÓ–MUHORAY 2021; MUHORAY 2021, 2022.

¹⁴ BÉRCZI–VARGA 2014a, 2014b.

¹⁵ KÁTAI-URBÁN 2023: 240–350.

¹⁶ KÁTAI-URBÁN – CIMER 2021: 58–63.



1. ábra. A Paksi Atomerőmű ÜKSER működési sémája

Forrás: MVM Paksi Atomerőmű Zrt. 2022a: 12.6–3

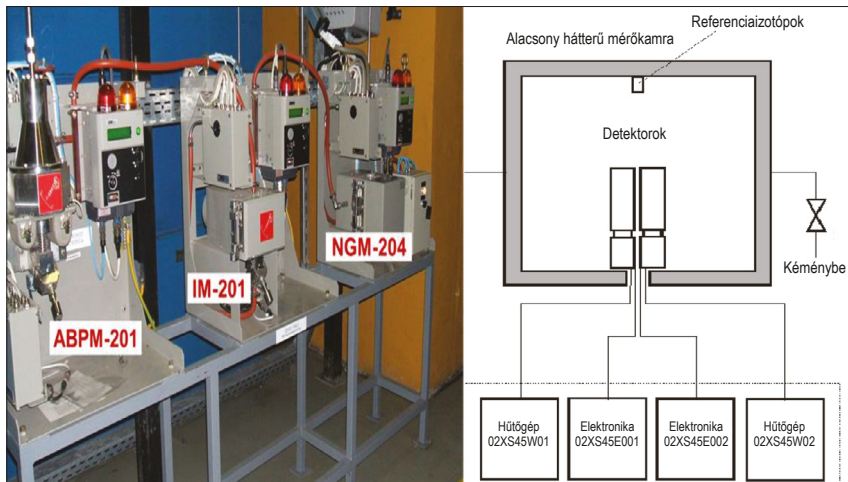
aktivitáskoncentrációkat és dózisteljesítményeket foglalják magukba. Jobb oldalt fent láthatóak az erőműből már kibocsátott légnemű közegek mintázásait és mérését szolgáló távmérő rendszerek, amelyek ugyancsak az előbbieken említett paraméterek monitorozását végzik. Mind a kibocsátás-ellenőrzés, mind a környezet-ellenőrzés kiegészül 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 engednek, 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 1. ábra tetején, közepén), ahova a távadórendszerek 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 „hihetőségvizsgálata”, vagyis – többek között – összehasonlítják az egyes technológiai rendszerek sugárvédelmi paramétereit a kibocsátás- és a környezet-ellenőrzés sugárvédelmi méréseivel.

A környezet terhelésének szempontjából fontos szerepet töltenek be az udvartéri detektorok, amelyek nagy segítséget nyújtanak annak beazonosításában, hogy kémény- vagy épület-kibocsátással állunk szemben egy esetleges baleset során. A kimenekítési útvonalak szempontjából ugyancsak fontos szerepet töltenek be, ugyanúgy, mint a meteorológiai paramétereket szolgáltató rendszerek. Az 1. ábrán tovább lefelé haladva utalás látható a laboratóriumok közül a Környezet-ellenőrző Laboratóriumra, amely Paks belterületén kapott helyet. Ezenkívül a Kibocsátás-ellenőrző Laboratórium végez mintavételen alapuló méréseket, amely viszont az ellenőrzött zónában található. A Környezet-ellenőrző Laboratórium üzemeltetésében van még egy Sugárvédelmi Mérőautó, amely jelenlegi állapotában inkább normál üzemi körülményekre van felkészítve, és helyszíni, ún. *in-situ* mérések és mintavételek végzésére, mérésére használható.

A nukleáris-környezet-ellenőrzés távadó rendszereinek fejlesztése a súlyos nukleáris balesetek tükrében

A továbbiakban bemutatom a nukleáris-környezet-ellenőrzés területén végzett kutatásaimat és fejlesztési javaslataimat, amelyek figyelembe veszik a fukusimai súlyos nukleáris baleset utáni ún. „stresszteszt” eredményeit is, amire a világ összes erőművét kötelezték. Ennek keretében a Paksi Atomerőmű elkészítette a Célzott Biztonsági Felülvizsgálatot, amely sugárvédelmi vonatkozásban kitért a szélsőséges körülmények (földrengés és teljes feszültségkiesés) közötti sugárvédelmi adatszolgáltatás üzembiztonságára, és ennek tükrében felülvizsgáltam azon rendszerelemeket, amelyek súlyos nukleáris baleset esetén létfontosságú adatokat szolgáltatnak. A nukleáris-környezet-ellenőrzés terén tett javaslataim nagy részét már kiviteleztek is, ami véleményem szerint arra enged következtetni, hogy kutatásaim eredményre vezettek és helytállóak.



2. ábra. Az ING- (balra) és a NEKISE- (jobbra) rendszer felépítése

Forrás: a szerző szerkesztése

A kibocsátás-ellenőrzéshez kapcsolódóan megvizsgáltam: a légnemű kibocsátásokhoz kapcsolódó aeroszol-, jód- és nemesgáz- (a továbbiakban: PING) monitoring (2. ábra), valamint a nemesgázok izotópszelektív méréseit végző (a továbbiakban: NEKISE) (2. ábra) rendszereket; az ikerkéményből kiáramló levegő dózisteljesítmény-mérését végző BITT-szondát (3. ábra); a bejövő és kimenő hűtővíz (V1, V2) és az erőműből kibocsátott ún. „mérleg feletti” és tisztított szennyvizek (V3) monitorozását végző vizes állomásokat (4. ábra); a környezet-ellenőrzés kapcsán az erőműből kikerült légnemű kibocsátás ellenőrzését végző állomásokat (A1-9, B, G1-11, C1-14), amelyek elhelyezkedése ugyancsak nyomon követhető a 4. ábrán; a terjedés meghatározásában fontos szerepet játszó meteorológiai rendszereket (SODAR, meteorológiai torony); a dózisteljesítményt mérő udvartéri detektorokat, a kibocsátás- és a környezet-ellenőrzés kapcsán a mintavételezéshez kapcsolódó méréseket, valamint a rendelkezésre álló mérőautót.

A légnemű kibocsátást mérő PING- és NEKISE-rendszer (3. ábra) elemzése után arra a következtetésre jutottam, hogy a felső méréstartomány kiterjesztése és a jódmonitor mintaváltás-kialakítása a megoldás arra, hogy a terjedést számító szoftver a lehető legjobb forrástaggal tudjon számolni, és megfeleljen az ALARA-elvnek. Ez elősegíti a lakossági óvintézkedési ajánlások előrejelzését. A másik rendszerelem, amely mindenképp megoldást nyújt súlyos baleset esetén,



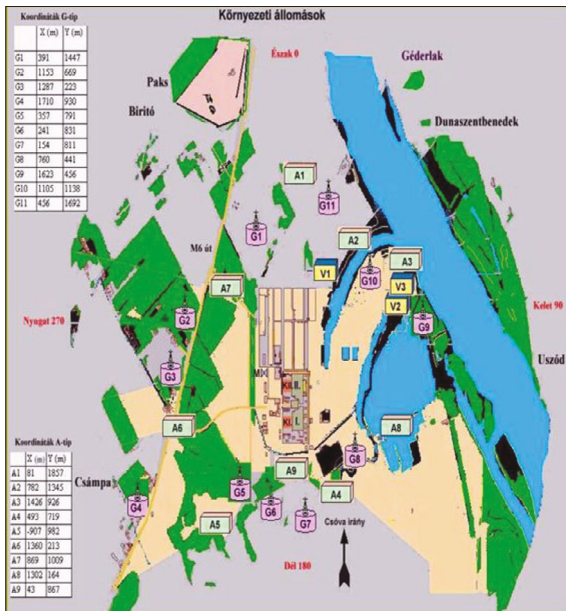
3. ábra. BITT-szonda (balra), légforgalommérő (jobbra)

Forrás: a szerző szerkesztése

a BITT-szonda (3. ábra) mérése és a légforgalom rendelkezésre állása. A szondával kapcsolatosan vizsgálataim kiterjedtek a méréstartományra, a megbízhatóságra, az aktivitáskoncentráció meghatározására, a működési paraméterekre, a földrengés és a teljes feszültségkiesés elleni védelemre, valamint a gazdaságossági szempontokra. Ennek tükrében adtam javaslatot a BITT-szonda megerősítésére, redundanciájának kialakítására és vele szoros összefüggésben a légforgalom mérésére. A BITT-szonda széles méréstartománya (10 nSv/h – 10 Sv/h) és egyéb paraméterei mind megfeleltek az elvárásoknak. A nagy megbízhatóságú légforgalom mérését (3. ábra) azért tartottam rendkívül fontosnak, mert a kibocsátás forrását (kémény és/vagy épület) ebből tudjuk meghatározni, ami ugyancsak nagyon fontos az üzemi területen tartózkodók és a környező lakosság szempontjából. Kutatásaim eredményességét alátámasztotta az a tény is, hogy a műszaki leírásba is ez a metodika került be, amelyet azóta meg is valósítottak.¹⁷

A vizes állomásokat szintén elemzésnek vetettem alá, és megállapítottam, hogy ugyancsak szükségszerű a földrengésállóság és a teljes feszültségvesztés elleni védelem minimum 72 órás áthidalási idővel. Erre azt a megoldási javaslatot tettem, hogy a V1 és a V2 állomás esetén szükséges a normál üzemi szivattyúénál

¹⁷ MVM Paksi Atomerőmű Zrt. 2022b: 6–86.

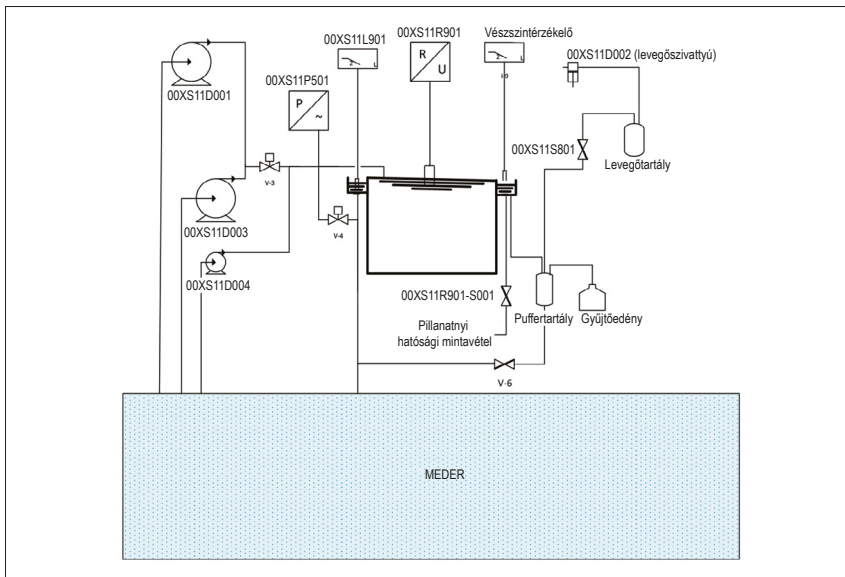


4. ábra. A vizes állomások (V1, V2, V3) és a környezeti állomások (A, G) elhelyezkedése az erőmű környezetében

Forrás: a szerző szerkesztése

kisebb teljesítményű pótszivattyút beépítése, amely akkumulátorokról még tovább tudja biztosítani a folyamatosan frissülő vízmintát (5. ábra). Ezáltal a mintagyűjtő edényzetben a minta tartózkodási ideje ugyan hosszabb, de még mindig elégséges a reprezentativitás fenntartásához. A V3 állomásnál (6. ábra) más mérési metódust javasoltam, mivel itt nincs folyamatos kibocsátás. Itt célszerű a jelenlegi mérés-technikát (puffertartály-vízmérő edényzet) átalakítani oly módon, hogy magát a kibocsátó vezetékét tudjuk monitorozni nagy érzékenységű pajzsdetektorral, amely kibocsátáskor méri a csővezetékben áramlani 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 redundanciát és a diverzitást szem előtt tartva, hogy vezeték nélküli adatkapcsolat legyen kiépítve a központi adatgyűjtő felé, térjünk át az ipari PLC-vezérlésre, mert ezáltal kiválthatjuk az adatkoncentrátorokat és az ipari számítógépet, amely számossága miatt



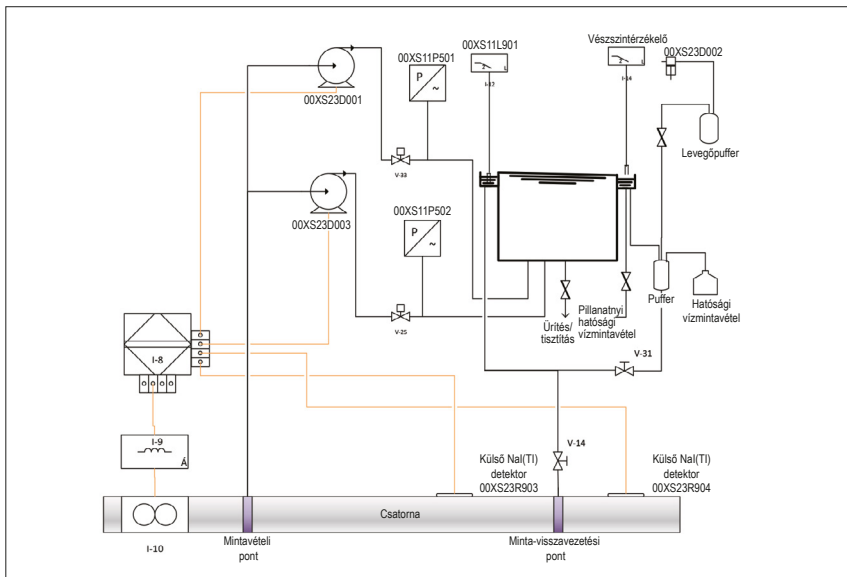
5. ábra. A V1 és a V2 vízmérő állomás koncepcionális kialakítása

Forrás: a szerző szerkesztése

a hiba lehetőségét növelte, valamint szükségszerű a konténer klimatizálással való ellátása a mérések rendelkezésre állásának növelése érdekében (7. ábra). Kutatásaimat és fejlesztési javaslataimat véleményem szerint az is igazolja, hogy instrukcióim alapján dolgozták ki és kiviteleztek a műszaki leírást.¹⁸ Figyelembe véve az üzemidő-hosszabbítás iránti törekvéseket és a leendő Paks 2 környezeti monitoringrendszerbe való integrálásának lehetőségét, hosszabb távon az állomások áramellátását biztosító kábelek és jelkábelek kicserélését is szükségszerűnek tartom, méghozzá földrengésálló módon. További lehetőség az állomások aggregátoros áramellátása – az állomások rendelkeznek csatlakozókkal –, amelyhez plusz aggregátorok beszerzése szükséges.

Az A1-9 (üzemi) és a B (referenciaállomás) típusú állomások (1–1,5 km-es körzet) kapcsán ugyancsak általános érvényű a földrengés elleni védelem és a létfontosságú mérések teljes feszültségkiesés elleni védelme. Továbbá a mérések nagy megbízhatóságú, folyamatos rendelkezésre állása miatt itt is indokolt az állomások

¹⁸ Energiatudományi Központ 2016: 6–86.

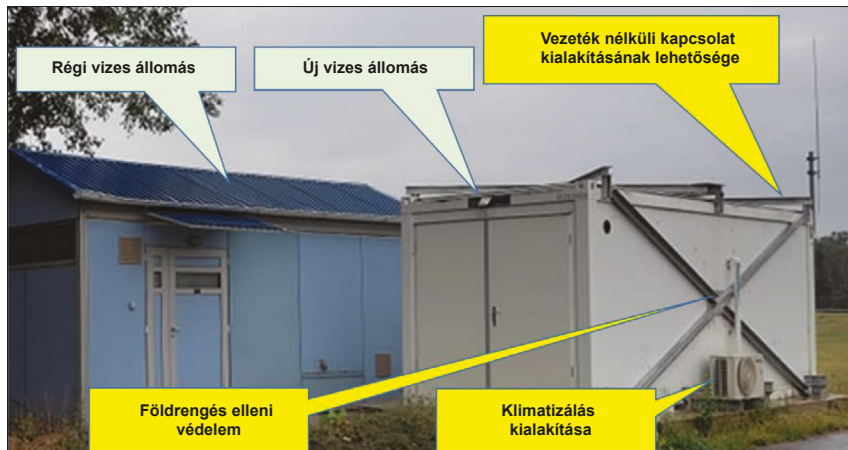


6. ábra. A V3 vízmérő állomás koncepcióális kialakítása

Forrás: a szerző szerkesztése

klimával való ellátása, illetve a hibalehetőségek csökkentése érdekében az ipari PLC-vezérlésre való áttérés. Az akkumulátortelepek a baleseti helyzetben fontos távmérő eszközöket, az ún. kis térfogatú mintavevő és mérőegységeket tartják működésben, amelyek az aeroszok, az elemi és szerves jódok folyamatos monitorozását végzik (8. ábra), valamint a konténeren kívüli nagy méréshatárú BITT-szondát (9. ábra) látják el feszültséggel 72 órás áthidalási idővel. Mérés-technikai szempontból a szerves jódot mérő NaI(Tl) hőstabilizált szcintillációs detektor kicserélését javasoltam hőkompenzált típusúra, ezzel elkerülve a detektor esetleges – hibás automatizmus – túlfűtése miatti mérés megghiúsulását. Ugyancsak mérés-technikai szempontból láttam fontosnak, hogy csak a I-131 izotópra vonatkozzanak az adatok, ezzel sokkal egyszerűbbé és biztosabbá vált a kalibráció elvégzése, ellenőrzése. A cég vezetése és a hatóság ugyancsak helyt adott a javaslatomnak, így a műszaki tervben is ezt dolgozták ki, majd később ezt valósították meg.¹⁹

¹⁹ Energiatudományi Központ 2016: 6–86.



7. ábra. A régi és az új vizes állomás kialakítása

Forrás: a szerző felvétele

Az A1-9 és a B típusú állomások még tartalmaznak a mintavételezés szempontjából fontos eszközöket, úgymint a trícium- és a radiokarbon-mintavevő egységet, a nagy térfogatú mintavevő rendszert, a száraz és a 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 részletesen nem térek ki rájuk.

A G1-11 típusú állomásokat is felülvizsgáltam, de esetükben az autonóm áramellátást biztosító napelemek bővítésére nincs szükség, ami biztosítja a nagy méréshatárú dózisteljesítmény-mérő tápellátását. A földrengésállóság szempontjából a tartószerkezet minősítve van, a napelemek rögzítésének földrengés szempontjából való bevizsgálása nem szükséges, mivel a fejlesztés keretében az akkumulátorok kapacitását olyan mértékben kiterjesztették, hogy az a 72 órás áthidalást a napelem elvesztése esetén is messze felülmúlja. Egyetlen korszerűsítés alá tartozó elemet azonosítottam be, a rádiókat, amelyek segítségével megvalósul a vezeték nélküli kommunikáció. Ezek lecserélése az összes többi vezeték nélküli kapcsolatot létesítő állomásnál is alapkritérium volt a stabilabb adatkommunikáció miatt, amelynek specifikációjában a szakterület véleményét kértem ki.²⁰

²⁰ Energiatudományi Központ 2016: 6–86.



9. ábra. A környezeti állomáson kívül elhelyezkedő BITT-szonda

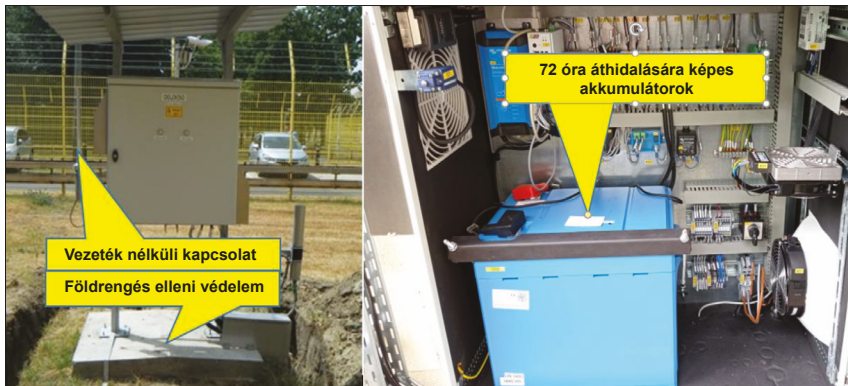
Forrás: a szerző felvétele

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 (10. ábra).

A földrengés veszélyére való felkészítés keretében öt db udvartéri detektor áthelyezését javasoltam romhatáron kívülre, ahol nem volt igazolható a környezetben lévő objektum földrengésállósága, és ezek olyan acélállványzatot kaptak a megfelelő alappal (10. ábra), amely az előírt földrengésállósági követelményeknek megfelel.²¹

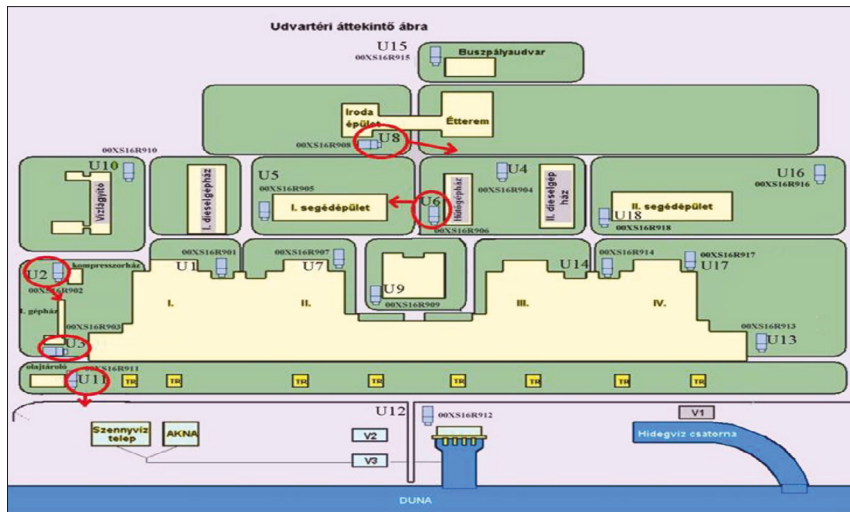
A meteorológiai rendszerek fontos szerepet töltenek be egy esetleges súlyos nukleáris baleset során, hiszen ezen adatok segítségével határozhatók meg a terjedésségi sajátosságok. A jelenlegi rendszerek kielégítik a redundancia és a diverzitás előírásait. A SODAR-rendszer (12. ábra) előnyének tekinthető az egyszerű, mozgó alkatrészek nélküli felépítése: pusztán a földfelszínről kibocsátott ultrahang visszaverődéséből meg tudja határozni a szélprofil. Ez a konstrukció már telepítése idején kielégítette a földrengés elleni védelem kritériumait, azonban az akkumulátor kapacitására vonatkozóan fejlesztési javaslatokat fogalmaztam

²¹ Energiatudományi Központ 2016: 6–86.



10. ábra. Az udvartéri BITT-szondák fejlesztései

Forrás: a szerző felvétele



11. ábra. Az udvartéri detektorok áthelyezése

romhatáron kívülre

Forrás: a szerző szerkesztése



12. ábra. SODAR-rendszer (balra és középen), meteorológiai torony (jobbra)

Forrás: a szerző felvétele

meg, hogy az előírt 72 órás áthidalásra is képes legyen, illetve az aggregátoros rácsatlakozás lehetőségének kiaknázására plusz aggregátor beszerzésre tettem javaslatot.

A SODAR-rendszer telepítési helyére vonatkozóan a jövőre nézve vannak még javaslataim, figyelembe véve, hogy a körülötte lévő épületek turbulens hatása némiképp torzíthatja az erőmű környezetére jellemző értékeket. A 120 m-es meteorológiai torony (12. ábra) viszont ilyen szempontból 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 lehetnek olyan jellegű esetek és balesettípusok, amikor kulcsfontosságú a laboratóriumi feldolgozás és az abból kinyerhető adatok. Ezért a 15/2001 (VI. 6.) KöM rendelettel²² összhangban a hatóság által jóváhagyott kibocsátás- és környezet-ellenőrzési szabályzatot javaslom kiegészíteni TA2-4 (várható üzemi eseményekre és tervezési üzemzavarokra) és TAK1-2 (komplex és súlyos balesetekre) üzemi állapotban való mintavételekkel, eljárásokkal.²³

²² 15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és vízbe történő radioaktív kibocsátásokról és azok ellenőrzéséről. 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról. 4. melléklet.

²³ MVM Paksi Atomerőmű Zrt. 2019a: 5–34, 31; 4–30.

A nukleárisbaleset-elhárítás sugárhelyzet- értékelési 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 meghatározom azon területeket, ahol fejlesztési lehetőségeket látok. A paksi atomerőmű az országos rendelkezésekkel összhangban Balesetelhárítási Szervezetet működtet, amelynek feladata, hogy az Átfogó Veszélyhelyzeti Intézkedési Tervben (a továbbiakban: ÁVIT) foglaltakat kezelni tudja.²⁴ Az ÁVIT tartalmazza többek között a Nukleárisbaleset-elhárítási Intézkedési Tervet.²⁵

A sugárvédelmi vonatkozású feladatokat a Sugárvédelmi Szervezet látja el valamivel több, mint 50 fővel. A szervezeti egységen belül foglal helyet a Sugárhelyzet-értékelő Részleg, a Sugárvédelmi Eszközbiztosító Részleg, a Radio-, Biológiai, Vegyi (a továbbiakban: RBV) Csoport és a Mentésítő Csoport. Az RBV Csoporton belül helyezkedik el a Sugárszennyezettség-mérő Részleg és a Sugárfelderítő Részleg a három Sugárfelderítő Rajjal.²⁶ Figyelembe véve egy esetleges súlyos nukleáris baleset bekövetkeztét most elsősorban a sugárhelyzet-értékelés és a sugárfelderítés eszközeit vettem górcső alá. Teszem mindezt azért, mert véleményem szerint a döntéshozók ilyen helyzetben a technológiai állapotokon kívül ezt kell hogy első körben mérlegre tegyék a környezet és az emberek megóvása érdekében. A sugárhelyzet-értékelés egyik kulcsfontosságú eszköze a terjedést számító szoftver. Az erőmű esetében ez két szoftvert foglal magába. Az egyik a Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer keretei között futó ún. *Dose on Lite* (egyszerűsített online dózisteljesítmény-számító) szoftver (13. ábra), amely a környezeti állomások gammasugárzásának környezeti dózisteljesítmény-egyenértéke alapján extrapolációval határozza meg az erőmű 30 km-es távolságára a dózisteljesítmény-értékeket.²⁷

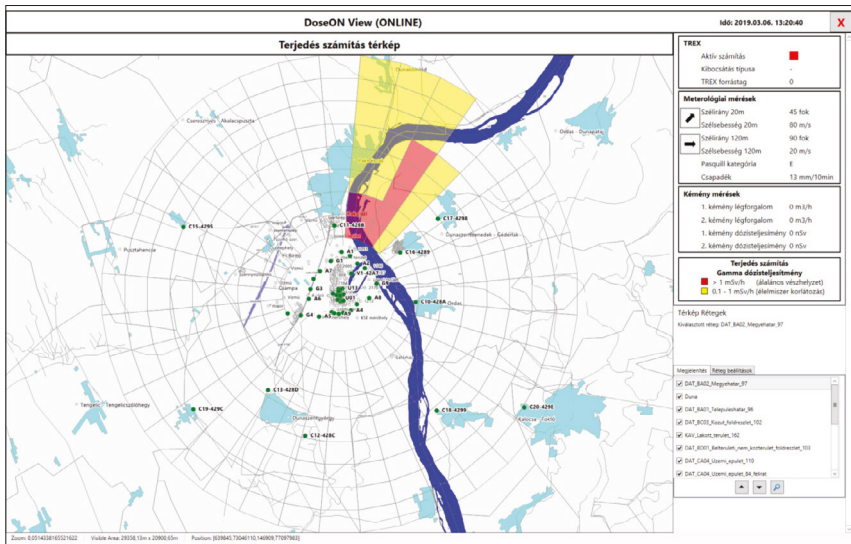
A másik az ún. *Transport Exchange* (TREX) program (14. ábra), amely a forrástag ismeretében tudja számolni a kibocsátott radioaktív anyag térbeli eloszlását Lagrange-féle megközelítést alkalmazva, amely figyelembe veszi a terjedést,

²⁴ MVM Paksi Atomerőmű Zrt. 2019b: I–V. modul

²⁵ MVM Paksi Atomerőmű Zrt. 2019b: II. 6–38.

²⁶ MVM Paksi Atomerőmű Zrt. 2019b: II. 17–19.

²⁷ MVM Paksi Atomerőmű Zrt. 2019c: 3–62.



13. ábra. A Dose on Lite terjedésszámító szoftver

Forrás: a szerző szerkesztése

a bomlást és az ülepedést.²⁸ A számításokat 30 km-es körzetre végzi el előre jelzett *Application of Research to Operations at Mesoscale*²⁹ (AROME-) adatok alapján, amelyeket az Országos Meteorológiai Szolgálat szuperszámítógépe szolgáltat,³⁰ vagy a telephelyi meteorológiai paraméterek alapján.

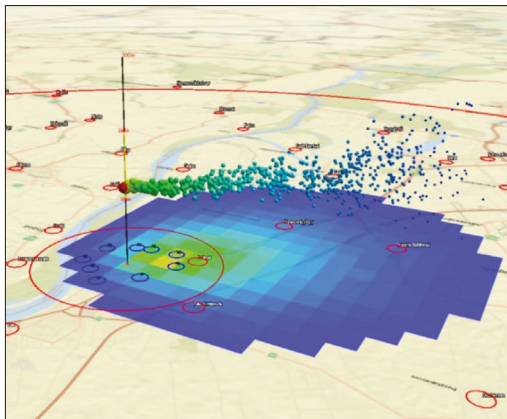
Fejlesztési javaslatom a szoftverekkel kapcsolatosan az, hogy az amúgy is rendelkezésre álló kiterjesztett sugárvédelmi paraméterek (munkahelyi-technológiai, kibocsátás- és környezet-ellenőrzési adatok) legyenek hozzáférhetőek a szoftverek számára. Ezáltal a terjedés számítása (a megfelelő modellekkel való kiegészítésekkel) nemcsak az erőmű 30 km-es körzetére terjeszthető ki, hanem valós forrástaggal előre jelezhetőek lennének az épületeken belüli és a közvetlen környezetben uralkodó sugárzási viszonyok, amelyek a további valós mérésekkel frissítve a lehető legpontosabb előrejelzéseket adnák a döntéshozók számára.

A Környezet-ellenőrző Laboratórium üzemeltetésében az erőmű rendelkezik egy sugárvédelmi mérőautóval (15. ábra).

²⁸ TREX, *Terjedési-Ülepedési Modell Szimulátor 2021*: 1–76.

²⁹ Kutatás alkalmazása a mezoszintű műveletekre – szabad fordításban.

³⁰ Országos Meteorológiai Szolgálat 2023.



14. ábra. TREX terjedésszámító szoftver

Forrás: a szerző szerkesztése

Ez az autó felszerelhető kézi mintavevő eszközökkel és kézi műszerekkel, azonban súlyos nukleáris baleset esetén ennél 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 (16. ábra) képességei legyenek kiegészítve további RBV-képességekkel, és/vagy új beszerzése valósuljon meg. A képességek ki kell hogy terjedjenek az autóba integrált, különböző sugárzásokot (α -, β -, γ -) és méréstartományokat átfogó egyéb sugárzásmérő eszközökre (dózismérők, útvonalmonitoring-rendszerek, felületiszennyezettség-mérők, gammaspektrométerek), mintavételi eszközökre (levegő-, folyadék-, környezeti minták).

Hasonlóan fontos a szennyezett területek jelölésére alkalmas jelölő eszközök kihelyezése, a kollektív védelem érdekében szűrt levegő betáplálása, az enyhe kompresszió létrehozása (ezzel a képességgel a meglévő is rendelkezik). A sugárfelderítők további feladata a vegyi és biológiai felderítés is, ezért célszerű ezekre a feladatokra is felkészíteni a gépjárművet a megfelelő műszerezettséggel (spektrométerek, gázmérők, szennyezettség mérők) 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 az adatátvitel, amelynek kiépítését redundáns és diverz módon célszerű telepíteni.



15. ábra. Sugárvédelmi mérőkocsi

Forrás: a szerző felvétele

A következőkben olyan eszközrendszer alkalmazhatóságára térek ki, amely a nukleáris létesítmények környezetében még nem terjedt el, így a paksi atomerőmű kapcsán korszakalkotó kezdeményezés. Ezek az eszközök nem mások, mint a drónok. Már igen korán nyilvánvalóvá vált számomra, hogy a légi sugárfelderítés nagyon hatékonyan használható akár kiterjedt radioaktív szennyezések, akár lokális forrópontok, sugárforrások beazonosítására. A helikopteres vagy merev szárnyú drón sugárfelderítési módszerei kapcsán számos cikk született a Katonai Műszaki Doktori Iskola tudományos műhelyében, amelyek arról tájékoztatnak, hogy akár a gyalogos felderítéssel összevethető pontosságot ezen eszközök pontossága, mindezt gyorsan és nagy területek feltérképezése mellett tudják végrehajtani.

Figyelembe kell venni a drónok (17. ábra) azon tulajdonságait, hogy viszonylag olcsók, gyorsan bevetethetők, akár kötélékben is használhatók, a felszerelhető eszközrendszerek (detektorok, mintavételi és megfigyelőeszközök) igen változatosak, üzemeltetésük és tárolásuk viszonylag olcsó, egyszerű és nem utolsósorban az élőerő nélkülözhető, ezzel megfelelve az ALARA-elvnek, vagyis hogy a sugárveszélyes munkahelyen foglalkoztatott személyek sugárterhelése a lehető legalacsonyabb szinten maradjon – a gazdasági-társadalmi tényezők figyelembevételével..



16. ábra. Sugárfelderítési célokra is alkalmazható, sugárnyékolt szállító jármű

Forrás: a szerző felvétele

Vannak olyan drónok is, amelyek speciális működésük révén akár az épületen belüli sugárfelderítésre vagy egyéb feltérképezésre is jól alkalmazhatók sugárvédelmi szempontból. A megfelelő kommunikációs csatornákon keresztül kiegészítő méréseket is tudnak szolgáltatni a sugárhelyzet-értékelőknek, amelyek kulcsfontosságúak lehetnek egy súlyos nukleáris baleset kapcsán.

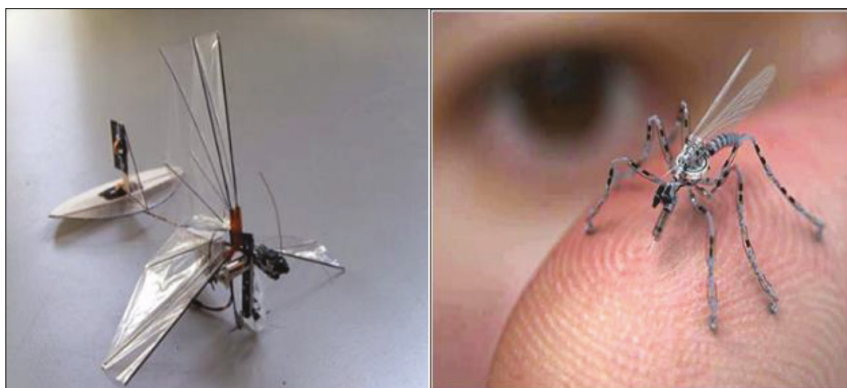
A komplex döntéstámogató szoftver konceptcionális kifejlesztése, alkalmazása

Nukleáris létesítmény esetén a legnagyobb kihívás egy esetleges súlyos nukleáris baleset bekövetkezése és annak közben 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 mobileszközök



17. ábra. Izotópszelektív sugárfelderítésre képes drón

Forrás: a szerző felvétele



18. ábra. Izotópszelektív sugárfelderítésre képes drón

Forrás: MANGA 2016: 189

által szolgáltatott adatokkal – egyéb adatbázisokkal, modellező és előrejelző rendszerekkel egy helyen rendelkezésre tudnának állni. Ezek után olyan szűrések és algoritmusok alkalmazhatók, amelyek 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 ezenkívül ki lehet bővíteni egyéb funkciókkal is. Gondolok itt az egyéb veszélyhelyzetkezelésekre, amelyek újabb szakterületek bevonását teszik szükségessé. 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 – amelyek már most is nagyrészt rendelkezésre állnak – az adat- és információáramlást meg lehetne könnyíteni a megfelelő jogosultságok és engedélyek beállításával.

Összefoglalás

Az atomenergia alkalmazása már annyira elterjedt, hogy anélkül az életet már nehéz elképzelni. Az atomerőművek által használt fűtőelemek fajlagosenergia-kinyerése jelenleg semmivel sem összevethető, és ezt 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. Tanulmányomban ezt szem előtt tartva teszek fejlesztési javaslatokat a következő témakörökben:

- a) nukleáriskörnyezet-ellenőrzés;
- b) a nukleárisbaleset-elhárítás sugárvédelmi vonatkozású eszközrendszereinek fejlesztése;
- c) a komplex döntéstámogató rendszer kifejlesztése.

Ennek tükrében fejlesztési javaslatokat dolgoztam ki a nukleáriskörnyezet-ellenőrzés terén, amelyek nagy részét már kivitelezték is. Ezek a fejlesztések összefüggésben voltak általános jelleggel a földrengés és a teljes feszültségvesztés elleni védelemmel,

illetve behatároltam azokat a létfontosságú méréseket, amelyek megerősítése vagy kicserélése szükségszerű volt a súlyos nukleáris balesetet feltételezve.

A nukleárisbaleset-elhárítás szempontjából elsősorban a sugárvédelmi vonatkozású feladatokra fókuszáltam, azon belül is a sugárhelyzet-értékelésre és a sugárfelderítési eszközökre, módszerekre. A sugárhelyzet-értékelés szempontjából fontos szerepet betöltő terjedésszámító szoftverekre fejlesztési irányként adtam meg a jelenlegi szoftverek egymásba integrálását és egyéb modellekkel való kibővítést, amellyel lehetővé válhat a valós forrástagon alapuló terjedésszámítás. További előnyként könyvelhető el, 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 új eszközrendszerre, a drónok alkalmazhatóságára teszek javaslatot. A sugárvédelmi mérőkocsi kapcsán felsoroltam azokat a szempontokat, amelyeknek meg kell felelni egy esetleges súlyos nukleáris baleset kapcsán. A drónok sugárvédelmi (mérések, mintavételezések, élőerő nélkülözése révén) és gazdaságossági szempontból is jól alkalmazhatók. Mind a merev szárnyú, mind a forgószárnyú modellek létjogosultsága bizonyítható, sőt kötelekben 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 követhetők a technológiai állapot mellett annak sugárzási paraméterei és azok kibocsátási útvonalai. A kellő algoritmus alkalmazásával és a megfelelő előrejelző modellek kiegészítésével 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 történő kommunikációra és adatszolgáltatásra. Mindent figyelembe véve fejlesztési és újítási javaslataimnak köszönhetően folyamatosan monitorozhatók, modellezhetők a sugárzási viszonyok, aminek révén olyan döntések hozhatók, amelyekkel meg tudjuk óvni környezetünk biztonságát, minimalizálhatjuk annak terhelését és megóvhatjuk az emberek életét és egészségét.

Felhasznált irodalom

- 15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és vízbe történő radioaktív kibocsátásokról és azok ellenőrzéséről.
2011. évi CXCVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról.
- BÄUMLER Ede et al. (1997): *Univerzális radioaktív sugázmérő műszer és eljárás, valamint rendszertechnikai elrendezés a mérőhatárának kiterjesztésére*. Magyar Szabadalom Lajstromszám: 224 502.
- BÉRCZI László – VARGA Ferenc (2014a): Az önkéntes tűzoltóegyesületek tűzoltási és műszaki mentési feladatai. In *Önkéntesség a katasztrófavédelemben*. Budapest: BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság.
- BÉRCZI László – VARGA Ferenc (2014b): Önkéntes tűzoltó egyesületek: támogatás, kategóriák, önálló szaktevékenység. *Védelem Katasztrófavédelem Szemle*, 20(6), 19–20.
- BEREK Tamás (2010): A jövő tisztjeinek ABV védelmi felkészítésének iránya az ABV jártasság követelményeinek tükrében. *Hadmérnök*, 5(2), 5–16. Online: http://hadmernok.hu/2010_2_berek.pdf
- BEREK Tamás (2011): ABV (CBRN) védelmi alapismeretek. In BÓDI Stefánia et al. (szerk.): *Honvédelmi alapismeretek: Digitális tananyag egyetemisták számára*. Budapest: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 1–112.
- BEREK Tamás (2012): ABV védelmi ismeretek. In CZANK László (szerk.): *Katonai alapismeretek*. Munkafüzet. Budapest: Zrínyi, 112–119.
- DOBOR József – PÁTZAY György – KOSSA György (2017a): Atomerőművi balesetek és üzemzavarok tanulságai 1. *Hadmérnök*, 12(1), 58–71. Online: www.hadmernok.hu/171_06_dobor.pdf
- DOBOR József – PÁTZAY György – KOSSA György (2017b): Atomerőművi balesetek és üzemzavarok tanulságai 2. *Hadmérnök*, 12(4), 84–98. Online: www.hadmernok.hu/174_09_dobor.pdf
- Energiatudományi Központ (2016): *A sugárvédelmi ellenőrző rendszer kibocsátás- és környezetellenőrzésének felújítása*. Műszaki Leírás V.1.2. Budapest: EK.
- FÖLDI, László – BEREC, Tamás – PADÁNYI, József (2021): Hungary's Energy and Water Security Countermeasures as Answers to the Challenges of Global Climate Change. *AARMS*, 20(2), 87–96. Online: <https://doi.org/10.32565/aarms.2021.2.7>
- 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, 58–63.
- KÁTAI-URBÁN Maxim (2023): Veszélyes üzemek biztonságával foglalkozó mértékadó tudományos szakirodalom áttekintő értékelése. *Polgári Védelmi Szemle*, 15(DAREnet projekt különszám), 340–351.
- KÁTAI-URBÁN, Maxim et al. (2023): Identification Methodology for Chemical Warehouses Dealing with Flammable Substances Capable of Causing Firewater Pollution. *Fire*, 6(9), 345. Online: <https://doi.org/10.3390/fire6090345>
- LÁSZLÓ Viktória – MUHORAY Árpád (2021): A veszélyhelyzeti szabályozás alkotmányos jogfejlődési tapasztalatainak értékelése. *Hadtudomány*, 31(E-szám), 146–161. Online: <https://doi.org/10.17047/Hadtud.2021.31.E.146>
- MANGA László – KÁTAI-URBÁN Lajos (2016): Nukleáris balesetekből levonható tanulságok – a tudomány állása I. rész. *Bolyai Szemle*, 24(4), 120–136. Online: www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/bolyai-szemle-2016-04.original.pdf

- MANGA László (2016): Drónok és alkalmazási területeik, avagy szóba jöhetnek-e egy esetleges nukleáris baleset esetén. *Műszaki Katonai Közlöny*, 26(2), 183–196. Online: https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2016_2_014_Manga%20Laszlo.pdf
- MUHORAY Árpád (2021): A katasztrófák kezelésének perspektívái és összkormányzati kapcsolódások a 21. században. In Kádár Pál (szerk.): *Védelmi-biztonsági Szabályozási és Kormányzástani Műhelytanulmányok*, (8), 1–22. Online: <https://shorturl.at/knpzW>
- MUHORAY Árpád (2022): A katasztrófavédelem és a védelmi és biztonsági feladatok tükrében. *Polgári Védelmi Szemle*, 14(DAREnet projekt különszám), 64–88. Online: www.mpsv.hu/letoltes/pvszemle/DAREnet_kulon_szam_online.pdf
- MVM Paksi Atomerőmű Zrt. (2019a): *Kibocsátás Ellenőrzési Szabályzata V04*. Paks: MVM PA Zrt.
- MVM Paksi Atomerőmű Zrt. (2019b): Átfogó Veszélyhelyzet-kezelési és Intézkedési Terv. Paks: MVM PA Zrt.
- MVM Paksi Atomerőmű Zrt. (2019c): *SER KK rendszer. Terjedésszámítás a Dose on Lite program algoritmusa*. Paks: MVM PA Zrt.
- MVM Paksi Atomerőmű Zrt. (2022a): Környezetellenőrzési Szabályzata V4. Paks: MVM PA Zrt.
- MVM Paksi Atomerőmű Zrt. (2022b): *1-4. Blokk Végleges Biztonsági Jelentés*. Paks: MVM PA Zrt.
- Országos Meteorológiai Szolgálat (2023): *Térképes modell előrejelzés, AROME*. Online: www.met.hu/idojaras/elorejelzes/modellek/
- PADÁNYI, József (2013): National Defence Research on the Effects of Climate Change. *Hadtudomány*, 23(ksz.), 30–40. Online: <https://www.mht.hu/hadtudomany/2013/eghajlatvaltozas.pdf>
- PETRÁNYI, János et al. (2023): Assessing the Radiation Contamination of Large Areas Using Advanced Technologies. *Radiation Protection Dosimetry*, 199(8–9), 915–921. Online: <https://doi.org/10.1093/rpd/ncad092>
- PETRÁNYI János et al. (2021): Sugármérő intelligens detektorok alkalmazási lehetőségeinek összefoglalása. *Sugárvédelem*, 14(1), 24–31. Online: www.elftsv.hu/svonline/docs/V14i1/Pet_V14i1.pdf
- SOLYMOSI József et al. (1990): *Eljárás és kapcsolódási elrendezés radioaktív felületi szennyeződés mérésére*. Magyar Szabadalom Lajstromszám: 201 162.
- SOLYMOSI József – TÖMÖR József – GAÁL Lajos (1983): *Eljárás és berendezés atomrobbantások radioaktív termékei által az élő szervezetre gyakorolt sugárveszély mértékének a termékek életkora alapján történő értékelésére*. Magyar Szabadalom Lajstromszám: 177 623.
- SOLYMOSI József (1990c): *Eljárás és berendezés ismeretlen összetételű és/vagy több komponensű, főként hasadási termékekkel kontaminált terepszakaszok sugárszintjének légi felderítésére*. Magyar Szabadalom Lajstromszám: 201 161.
- SOLYMOSI József (1992): *Nukleáris környezetellenőrző mérőrendszerek. Alkotások leírása*. MTA-disszertáció. Budapest: MTA.
- SOLYMOSI József et al. (1990a): *Eljárás és berendezés béta-sugárzó izotópo(k)a)t tartalmazó minta aktivitásának mérésére nagy intenzitású gamma-sugárzási háttérben*. Magyar Szabadalom Lajstromszám: 200 001.
- SOLYMOSI József et al. (1990b): *Eljárás és berendezés ismeretlen összetételű és/vagy több komponensű, főként hasadási termékekkel kontaminált terepszakaszok sugárszintjének földi felderítésére*. Magyar Szabadalom Lajstromszám: 198 798.
- TREX, *Terjedési-Üledési Modell Szimulátor* (2021). Veszprém: Radioökológiai Tisztaságért Társadalmi Szervezet.