



**Petrányi János**

## **INTELLIGENS SUGÁRZÁSMÉRŐ DETEKTOROK FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEI RADIOAKTÍV SUGÁRFORRÁSOK FIZIKAI VÉDELMI RENDSZERÉBEN**

### **Absztrakt**

Radioaktív anyagok (továbbiakban: sugárforrások) alkalmazásához a ma érvényben lévő szabályozások szerint megfelelő fizikai- valamint sugár-védelmet kell kiépíteni. A közlemény azt az elképzelést járja körül, hogy a sugárvédelemben kötelezően előírt sugárzás mérő eszközök használhatóvá tehetők arra, hogy elektronikai érzékelőként jelzést adjanak a fizikai védelmi rendszer működtető egységeinek. Egy intelligens sugárzásmérő detektálja egy sugárforrás jelenlétét, ezáltal képessé válhat arra is, hogy jelezze, ha valaki megpróbálja elmozdítani (eltulajdonítani) a sugárforrást. A közlemény ismerteti annak az algoritmusnak az alapjait, amelynek segítségével egy intelligens detektor jelzéseket generálhat fizikai védelmi rendszer működtető egységei számára, megtartva a detektor eredeti sugárvédelmi rendeltetését is. A rendszer működésének ellenőrzését, méréseken keresztül igazolom, és vizsgálom az elrendezésben rejlő továbbfejlesztési lehetőségeket. A kidolgozott eljárás javíthatja a sugárforrások védelmét, biztonságosabbá teheti azok használatát, anélkül, hogy plusz eszközöket kellene alkalmazni.

**Kulcsszavak:** sugárforrás, tárolás, szállítás, sugárvédelem, besugárzó, fizikai védelem, intelligens detektor, sugárzás mérés,



## ENHANCING THE CAPABILITY OF THE PHYSICAL PROTECTION SYSTEM FOR RADIOACTIVE SOURCES WITH INTELLIGENT RADIATION DETECTORS

### Abstract

For the use of radioactive materials, adequate physical and radiation protection must be established in accordance with the actual regulations. This article investigates whether radiation detectors, which are mandatory in radiation protection, can be used as an electronic sensor to alert the physical protection system in case of a robbery. An intelligent radiation detector can sense the presence of a radiation source, thus also being able to indicate if someone is trying to move (steal) the radiation source. This article describes the basics of an algorithm by which an intelligent detector can become suitable as an electronic device for generating signals for physical protection systems while retaining the original radiation protection purpose of the detector. I verify the operation of the system through measurements and examine the possibilities for further development. The developed procedure can improve the protection of radiation sources, make their use safer, without the need to build additional equipment.

**Keywords:** radiation source, storage, transport, radiation protection, irradiator, physical protection, intelligent detector, radiation measurement,

### 1. BEVEZETÉS

Radioaktív anyagok használata sok tekintetben kockázatos. Számolni kell azzal, hogy sugárvédelmi szempontból biztonságos-e a tevékenység. A sugárvédelmi rendszer biztosítja, hogy azok, akik használják a sugárforrásokat, vagy a közelében élnek ne szenvedhessenek az indokolt mértéknél nagyobb sugárterhelést. A sugárforrástól való lehető legnagyobb távolság megtartása, a sugárveszélyes helyen történő tartózkodási idő minimumra csökkentése, valamint passzív (pl.: árnyékolások) és aktív (pl.: sugárzás mérő műszerek) védelmek használata teszik



lehetővé, hogy sugárvédelmi szempontból megfelelő legyen a munkavégzés. Magyarországon a sugárvédelmi szabályokat kormányrendelet határozza meg [1], illetve léteznek különböző ajánlások, szabványok, amik segítik egy hatékony sugárvédelmi rendszer kialakítását. [2]

A sugárvédelmi kockázatok kezelése mellett a sugárforrások fizikai védelméről is gondoskodni kell. Ezzel a kérdéssel azért kell foglalkozni, hogy ne kerülhessenek veszélyes anyagok illetéktelen kezekbe. A fizikai védelmi rendszernek kell megakadályoznia, hogy például terroristák lopott sugárforrás és robbanóanyag összeépítésével piszkos bombát hozzanak létre. A fizikai védelem területén is megszülettek azok a hatósági szabályozások, amelyeket alkalmazni kell a sugárforrások védelmére. [3] Annak érdekében, hogy ezek a követelmények teljesüljenek, ki kell építeni a megfelelő fizikai védelmi rendszert. Az elektronikus biztonságtechnikai eszközök lehetővé teszik, hogy megfigyeljük és ellenőrizzük a sugárforrások környezetét. Nagy aktivitású sugárforrásokat azonban nem lehet közvetlenül elektronikai eszközökkel felszerelni, mert az alkatrészek nem képesek tartósan elviselni az ionizáló sugárzás roncsoló hatását. A sugárforrásokat vagy ólommal árnyékolt konténerekben, vagy földalatti aknában, erre kialakított speciális épületekben tárolják.

Arra a problémára keresek megoldást, hogyan lehetne a sugárforrás meglétét úgy ellenőrizni, hogy arra közvetlen vizuális rálátás nem megoldható. A feltételezésem az, hogy a sugárforrásból kilépő sugárzás csökkentett mértékben átjut a tároló falán és egy sugárzás mérő műszerrel a sugárzás változásából következtetni lehet arra, hogy az adott sugárforrás a helyén van-e vagy változott a pozíciója.

A helyzetet nehezíti, hogy a sugárforrást a legtöbb alkalmazásban üzemszerűen mozgatják, azaz a sugárzás szintje változik. Egy besugárzó berendezésben a sugárforrást egy automatika kiemeli a tároló pozícióból és besugárzási helyzetbe állítja, azaz adott irányba a sugárzás szabadon távozhat a berendezésből. Az 1. ábra: egy ilyen berendezés képét mutatja. A besugárzást követően a sugárforrás visszakerül a tárolási pozícióba. Vannak besugárzók, amelyek több sugárforrást is kezelnek, annak érdekében, hogy eltérő dózisterek jöhessenek létre.



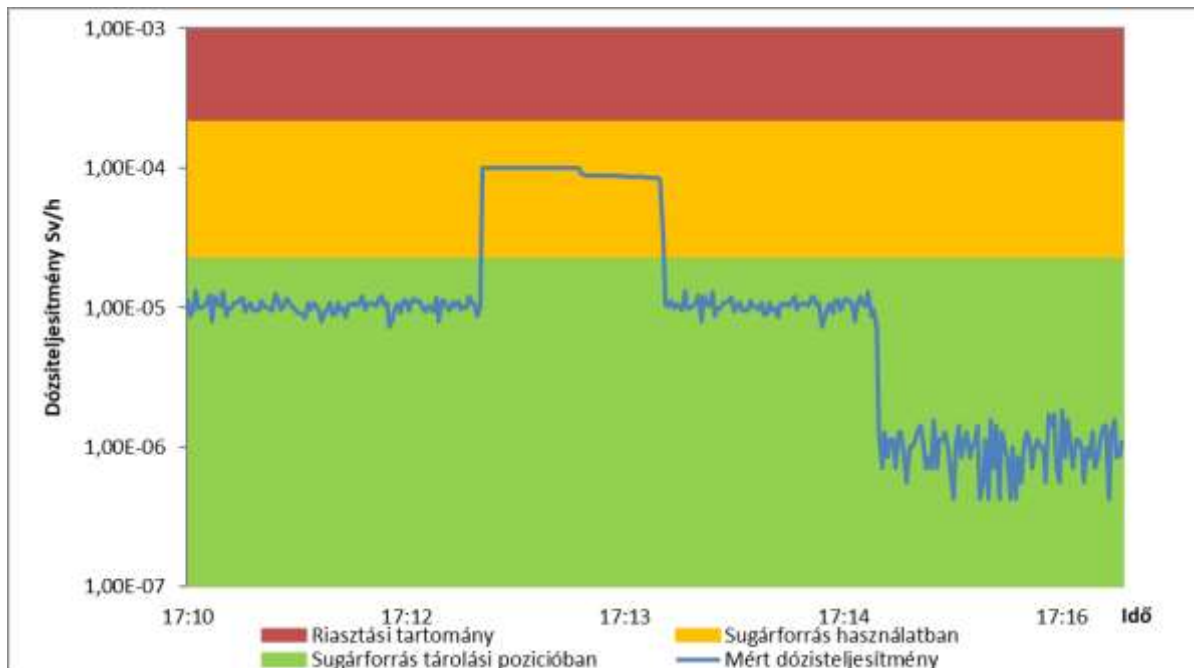
1. ábra: Besugárzó berendezés, több sugárforrás pozícióval. Forrás: [5]

A legtöbb besugárzóban használnak úgynevezett gamma reléket sugárvédelmi célokra. Ezeknek a sugármérő berendezéseknek az a feladata, hogy besugárzás során, amikor a sugárzás egy adott szint fölé emelkedik, fényjelzést adjon, így figyelmeztesse az ott tartózkodókat, hogy éppen sugárveszélyes tevékenység zajlik a helyiségben, illetve, ha a normál besugárzáskor elvárt szintnél magasabb szintet észlel riasszon. A gamma relé azt a célt is szolgálja, hogy ha a sugárforrás visszahelyezése nem volt sikeres és a sugárforrás még mindig szabadon van, akkor ne engedje be a kezelő személyzetet a helyiségbe.

A 2. ábra: bemutatja egy tipikus gamma relé működési tartományait és egy besugárzás során felvett mérési sorozatot. A sugárforrás a mérés kezdetén a tárolóban helyezkedik el, ezért a rendszer alap állapotban van (2. ábra: zöld tartomány). A besugárzás megkezdésével a gamma relé észleli, hogy a sugárzási szint megemelkedett, ezért állapotot vált és a kezelő személyzetet tájékoztatja, hogy a sugárforrás használatban van. Ebben az üzemmódban belépni a besugárzó helyiségbe tilos (2. ábra: sárga tartomány). A besugárzást követően a mért érték visszatér a kezdeti tartományba, a gamma relé ismét alap állapotba kerül, a helyiségbe be lehet lépni. 2.



ábra: alapján a besugárzás alatt a sugárszint nem emelkedett a riasztási tartományba, ezért a rendszer vészhelyzeti riasztást nem adott ki magából. A gamma relé, viszont azt nem vette észre, hogy a besugárzást követően 17:14 perckor a sugárzási szint lecsökkent, ami jelentheti azt is, hogy kiszereztek a sugárforrást.



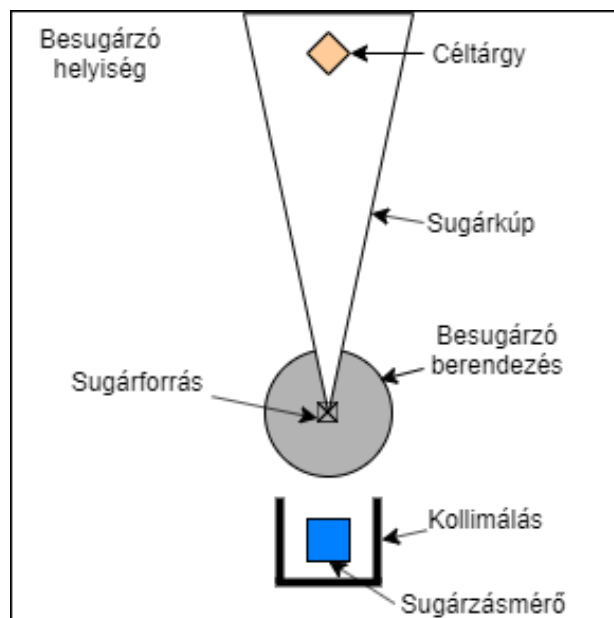
2. ábra: Gamma relé működése besugárzás alatt. Forrás: Szerző saját műve

## 2. A MÉRÉSI ÖSSZEÁLLÍTÁS

Ahhoz, hogy észlelhető legyen a sugárforrással végzett tevékenység, olyan helyre kell a sugázmérő detektort elhelyezni, ahol a sugárforrás által kibocsátott sugárzás még mérhető, de a sugárzás intenzitása nem olyan mértékű, hogy tartós használat mellett a sugárzás kárt tehessen a detektor elektronikájában. Optimálisnak nevezhető az az elhelyezési pont, ahol a sugárforrás hatására a detektornál a háttérsugárzás 2-3 szorosát hozza létre. A sugárforrás tárolási pozíciójához tartozó mérési szint jól elkülöníthető a háttérsugárzástól.



A detektor elhelyezésekor arra is figyelmet kell fordítani, hogy a sugárforrás használatakor (besugárzás alatt) a sugárzás mérő detektort ne érhesse indokolatlanul nagy dózis. A többszöri, nagy dózissal történő besugárzás lerövidítheti a detektor élettartamát. A mérési tartomány a sugárforrás és a detektor közti távolság változtatásával optimalizálható. Amennyiben a távolsággal nem lehet gazdaságosan beállítani a mérési tartományt (nincs elég szabad hely a helyiségbe) a detektor és a sugárforrás közé sugárvédelmi árnyékolást (pl.: ólom téglákat) is lehet helyezni. Annak érdekében, hogy a céltárgyról visszaverődő szórt sugárzás, vagy a helyiségben mozgatott más sugárforrások hatása ne befolyásolhassa a mérést, a detektort a besugárzó berendezés mögé a sugárforrás irányába kollimálva érdemes telepíteni. A mérő rendszer megfelelő működéséhez szükséges, hogy a rendszer normál üzemiállapotai véges számúak legyenek, azaz a besugárzás teljes folyamata alatt a sugárforrás tartósan csak adott pozíciókban tartózkodjon. Amennyiben teljesül ez a feltétel az adott besugárzási, tárolási állapotokhoz a detektor által mérhető sugárszintek diszkrét értékek körül fognak ingadozni. A 3. ábra: szemlélteti egy besugárzó helyiség sematikus ábráját, ahol egy céltárgyat besugárzásnak tesznek ki, miközben egy sugárzásmérő felügyeli a rendszer működését.



3. ábra: Sugárforrás ellenőrző detektor elhelyezése egy besugárzóban (szerző saját ábrája)



### 3. A MŰKÖDÉS ELMÉLETI HÁTTERE

A detektorba integrálható algoritmus megvalósítja a korábban említett sugárvédelmi gamma relé működését, azaz továbbra is jelzi a sugárforrás használatát, illetve riasztási szint fölé emelkedett sugárszint esetén azonnal riaszt. Az algoritmusba implementált kiegészítő képesség azt teszi lehetővé, hogy olyan állapotok is riasztási eseményt hozzanak létre, amelyek külső beavatkozás miatt jöttek létre. A rendszer telepítésekor a besugárzóval valamennyi normál üzemiállapotot létre kell hozni, hogy az intelligens sugármérő rögzítse az egyes üzemiállapotokhoz tartozó sugárszinteket. Ezt követően az algoritmus ezektől a normál üzemiállapot szintektől való eltéréseket fogja vizsgálni. A megengedett eltérés mértéke állítható (alapbeállítás: a rögzített üzemiállapot szint +/- 20%-a). A detektor által mért normál üzemiállapot szintek a kezdeti szintekhez képest idővel megváltozhatnak. Ennek több oka is lehet, egyrészt a detektor pontossága az idő múlásával romolhat - a detektor pontosságát rendszeres kalibrálással, hitelesítéssel lehet a megfelelő szinten tartani - másrészt a sugárforrás aktivitása változik a felezési idővel. Egy intelligens detektor képes lehet az 1. egyenlet alapján korrigálni a felezési idő okozta változást.

$$1. \text{ egyenlet} \quad X_t = X_0 * e^{-\lambda t}$$

$X_t$ : Beütésszám a „t” időpillanatban

$X_0$ : Beütésszám a kiindulási időpillanatban

$t$ : A kiindulási idő óta eltelt idő

$\lambda$ : Izotópra jellemző bomlási állandó

A felezési idő korrekcióhoz meg kell adni a besugárzóban lévő izotóp típusát. Egy rosszul megadott izotóp típus jelentős hibát okozhat, mivel a felezési idő izotóptól függően eltérő lehet, illetve több különböző típusú sugárforrás felügyelete esetén a felezési időket és



beütésszámokat izotóponként kell figyelembe venni. Az egyes sugárforrásokhoz tartozó beütések szétválasztása csak energia szelektív detektor alkalmazásával lehetséges.

A detektor alaphelyzetben a besugárzót méri, tárolási helyzetben állandó fél másodperces ciklusokban. Az algoritmus ellenőrzi, hogy az aktuális mért érték mennyire pontos. A korábbi mért értékekkel hasonlítja össze és meghatározza a szórást a **2. egyenlet** alapján.

$$\text{2. egyenlet} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - M)^2}{n}}$$

$\sigma$ : Szórás

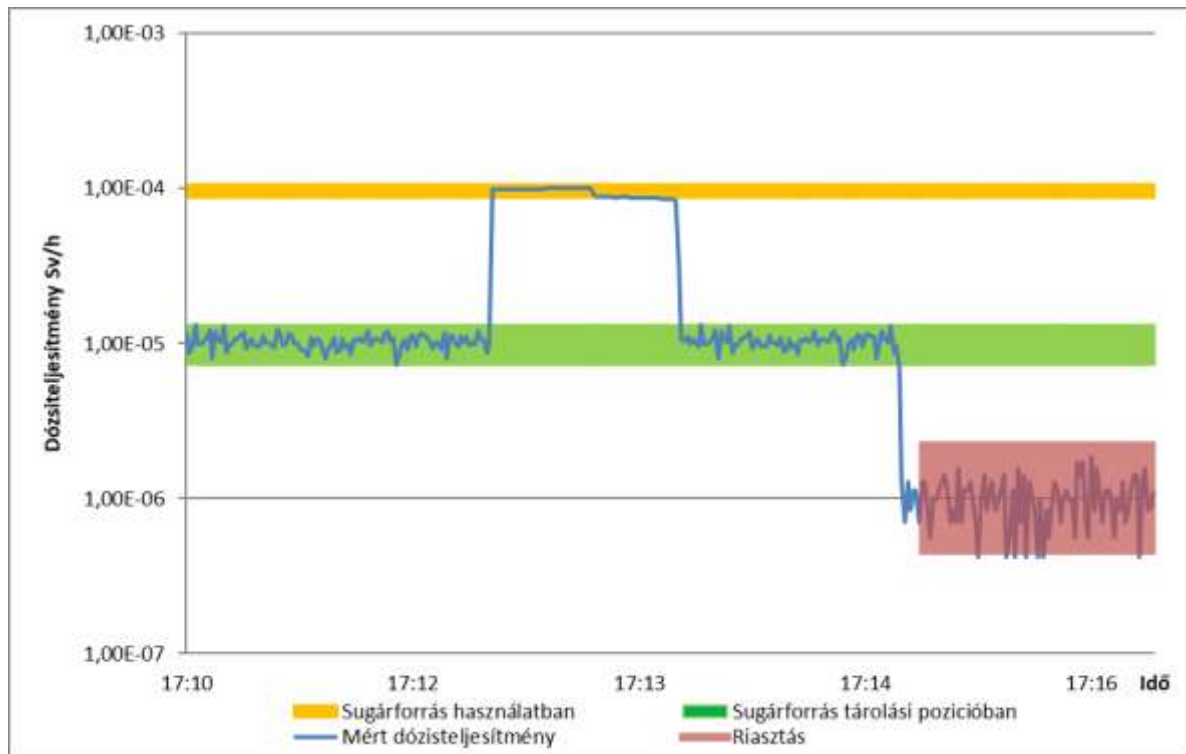
$n$ : Figyelembe vett mérési eredmények száma (alapbeállítás: 10)

$X_i$ : A figyelembe vett mérésekhez tartozó beütésszámok

$M$ : A figyelembe vett összes mérés átlaga

Amennyiben a szórás egy bizonyos szint (alapbeállítás: 15%) alá csökken a mérést stabil állapotúnak tekinti az algoritmus. A stabil állapotban a detektor ellenőrzi, hogy a mért átlag érték benne van-e megengedett normál üzem tartományban. Ha a tartományból akár lefele, akár felfele kicsúszás tapasztalható, az azt jelzi, hogy valami olyan állapotba került a besugárzó, ami felhasználói beavatkozást igényel. Az eltérést okozhatja az, hogy a sugárforrást kiszerezték a besugárzóból, vagy a sugárforrás megakadt egy köztes állapotban, esetleg a detektor hibásan mért. A 4. ábra: szemlélteti, hogy riasztási eseményt generál a rendszer, amennyiben azt érzékeli, hogy olyan tartományban stabilizálódott a mért érték, ahova korábban a rendszerbe nem vettek fel normál üzem tartományt.





4. ábra: Intelligens detektor működése besugárzás alatt.

Forrás: Szerző saját műve

Az algoritmus működése nem lehet túl gyors, hiszen a detektor miközben a sugárforrást a besugárzó mozgó mechanizmusa az egyik pozícióból a másikba helyezi különböző normál üzem tartományon kívüli értéket fog mérni, ami még nem számíthat riasztási eseménynek. Az ilyen téves riasztások kiszűrésére egy időzítőt indít el az intelligens detektor. Amikor azt érzékeli a detektor, hogy a stabil állapot megszűnt és szignifikáns változás állt be a mért értékben. A felfelé történő szignifikáns változást a 3. egyenlet segítségével határozza meg a detektor.

$$\text{3. egyenlet} \quad M_{i,\tau} > N_{hi,a} + S_1 * \sqrt{\frac{N_{hi,a}}{\tau}}$$

ahol



$M_{i,\tau}$ : az átlagos impulzusszám

4. egyenlet 
$$M_{i,\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{\tau} N_i}{\tau}$$

$N_i$  = a mérési periódusidő ( 0,5 másodperc) alatt mért impulzusszám

$\tau$  = “időállandó” az átlagolt mérési ciklusok darabszáma

$N_{hi,a}$  = a háttérsugárzásból adódó beütésszámok átlagértéke

5. egyenlet 
$$N_{hi,a} = \frac{\sum_{i=1}^a N_i}{a}$$

$a$  = az átlagolt, háttér mérési ciklusok darabszáma

$S_1$  = a kívánt szignifikancia tényezőhöz tartozó szorzófaktor.

Az időzítőt úgy kell beállítani, hogy az ne járhasson le, amíg a besugárzó az egyik normál üzemi állapotból a másikba átáll. Amíg az időzítő fut, a detektor nem ad ki magából jelzést a fizikai védelem működtető egységeinek irányába. Amennyiben az időzítő lejárt és a rendszer nem képes stabil állapotot felvenni egy normál üzemi tartományban, az riasztást eredményez. A rövid idejű változások származhatnak a detektor közelében mozgatott más sugárforrásoktól. A rendszernek biztosítani kell, hogy a besugárzón karbantartási munkákat lehessen végrehajtani. Ilyen helyzetekre a felhasználónak előre definiálnia kell egy időtartamot, ameddig a detektor nem válthat ki éles riasztást. Karbantartási üzemmódban a detektor naplójába minden esemény regisztrálásra kerül, függetlenül a karbantartási üzemmódtól, ahogy az is a naplóban lesz, hogy valaki karbantartásba tette a detektort. Ilyen felhasználói beavatkozás csak adott ideig maradhat érvényben, a rendszer a beállított időkeret leteltét követően visszaáll az eredeti működési rendbe.

Az 5. ábra: bemutat egy intelligens detektort, amelynek beágyazott mikroprocesszorába egyedi algoritmusok implementálhatók, akár a fent leírt algoritmus is beépíthető.



5. ábra: RadGM intelligens GM csöves sugázmérő detektor. Forrás: [5]

## 4. TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A sugárzási szintek változása csak egy paraméter, amit figyelhet egy ilyen védelmi rendszer. A besugárzóba épített más szenzorok adataival kiegészítve további logikák is kialakíthatók. Pl.: a sugárzás minőségének a vizsgálata. Egy szcintillációs detektorral folyamatos izotóp azonosítást végezve eseményt lehet generálni, ha az előre megadott izotópokon túl megjelenik egy új izotóp vagy éppen eltűnik. Egy ilyen rendszer segítségével olyan tárolók is felügyelhetők, ahol különböző sugárforrásokat kezelnek. A 6. ábra: olyan detektort ábrázol, amely képes izotóp azonosításra, ezáltal plusz információt szolgáltat egy komplex döntéstámogató rendszer számára.



6. ábra: RadNDI izotóp azonosításra képes szcintillációs sugármérő detektor. Forrás: [5]

A sugármérőt kiegészítve elmozdulás, szabotázs érzékelőkkel, valamint GPS helyzet meghatározó technológiával, akkumulátoros energiaellátással, radioaktív szállítmányok nyomon követésére és ellenőrzésére is lehet használni.

A mérő rendszert adattárolási és adatküldési funkciókkal ellátva lehetővé válna, egy a repülőgépeken is használatos fekete doboz megalkotása, amelynek segítségével a hatóságok egy vészhelyzetet követően objektív adatok alapján rekonstruálhatják az eseményeket, vagy adatmodem segítségével a rendszer adatai egy adat központba is gyűjthetők átjelzéseket adva egy korai riasztó rendszernek [6], vagy mobil beavatkozó egységeknek. [7]

Több sugármérő detektor kiépítése a sugárforrás körül lehetővé teszi a sugárforrás térbeli elmozdulásának pontos megfigyelését, a védő, tartó szerkezet sérülésének észlelését. A több detektoros megoldás olyan tárolókban hasznos, ahol sok sugárforrás van egymás mellett, pl.: radioaktív hulladék tárolók.

A beérkező nyers adatokon dolgozó mesterséges intelligenciát is be lehet vetni a biztonsági szint növelése érdekében, hiszen az állandóan változó mérési paraméterek, olyan járulékos információt rejthetnek, amit egy öntanuló rendszer könnyen felismerhet és a gyanús változási tendenciákra figyelmeztetheti a felhasználót.



## 5. ÖSSZEFOGLALÓ

Megvizsgáltam a jelenleg elérhető sugárvédelmi monitoring rendszereket és kidolgoztam egy kiegészítő algoritmust, amelynek segítségével sugárzás mérő detektorok elektronikus érzékelőként jelzéseket adhatnak fizikai védelmi rendszerek működtető egységeinek.

A kialakított megoldás továbbfejleszthető, ezáltal a rendelkezésre álló információ minősége javítható.

A Széchenyi 2020 program (VEKOP-2.1.1-15-2016-00023) támogatásával megvalósult új generációs multi funkciós automata mérő és adatgyűjtő rendszer család fejlesztése részeként létrejött intelligens detektorok felhasználhatóak korszerű sugárvédelmi rendszerek megvalósításához.

## IDÉZETT FORRÁSMUNKÁK

- [1] Magyarország Kormánya, „487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről,” 30 04 2020. [Online]. Available: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1500487.kor>.
- [2] Országos Atomenergia Hivatal, „Ionizáló sugárzást létrehozó berendezés üzemeltetésiengedély-kérelmének összeállítása,” 30 04 2020. [Online]. Available: [http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/BEA98D0C319A3C51C1257F41003303E7/\\$File/SV-2v3\\_v%C3%A9gleges.pdf](http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/BEA98D0C319A3C51C1257F41003303E7/$File/SV-2v3_v%C3%A9gleges.pdf).
- [3] Magyarország Kormánya, „190/2011. (IX. 19.) Korm. rendelet az atomenergia alkalmazása körében a fizikai védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről,” 30 04 2020. [Online]. Available: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1100190.kor>.



- [4] Országos Atomenergia Hivatal, „Nagy aktivitású sugárforrás képek,” 06 05 2020. [Online]. Available:  
[https://www.oah.hu/web/v3/OAHportal.nsf/web?openagent&menu=06&submenu=6\\_2\\_5](https://www.oah.hu/web/v3/OAHportal.nsf/web?openagent&menu=06&submenu=6_2_5)
- [5] G. ZRt., "Gammatech.hu," Gamma ZRt., 2019. [Online]. Available: [www.gammatech.hu](http://www.gammatech.hu).
- [6] I. Hoffmann, . I. Kátai-Urbán és G. Vass , „Vegy- és sugárfelderítés katasztrófavédelmi technikai eszközrendszerének vizsgálata,” *Hadmérnök XI. Évfolyam 1. szám*, március 2016.
- [7] L. Kátai-Urán és G. Vass, „Veszélyes üzemek és szállítmányok biztonsága Magyarországon.,” *Védelem Tudomány*, %1. kötet, összesen: %2IV. évfolyam, Iparbiztonsági különszám 2, 2019.

**Petrányi János** PhD hallgató

Nemzeti Közszolgálati Egyetem

János Petrányi

PhD student

National University Of Public Service

ORCID azonosító: 0000-0001-5417-2690

[osc2@freemail.hu](mailto:osc2@freemail.hu)