

# ***SUGÁRVÉDELEM***

**Eötvös Loránd Fizikai Társulat  
Sugárvédelmi Szakcsoportjának  
On-line Folyóirata  
<https://www.elftsv.hu/svonline>**

**XIII. Évfolyam 1. szám  
2020**

**BUDAPEST**

**HU ISSN 2060-2391**

**Kiadó:** az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi Szakosztálya

**Kiadásért felelős:** Pesznyák Csilla, a Szakosztály elnöke

**Főszerkesztő, a Szerkesztőbizottság elnöke:** Vincze Árpád

**Szerkesztő:** Pesznyák Csilla

**Technikai szerkesztő:** Deme Sándor

**A szerkesztőbizottság tagjai:**

Antus Andrea,

Bujtás Tibor,

C. Szabó István,

Déri Zsolt,

Földi Anikó,

Katona Tünde,

Petrányi János,

Szűcs László,

Taba Gabriella

**A szerkesztőség elérhetősége:**

Levelezési cím: 1539 Budapest, PF. 676.

e-mail: [avincze67@gmail.com](mailto:avincze67@gmail.com)

HU ISSN 2060-2391

# MÉRÉSTECHNIKAI MÓDSZEREK VIZSGÁLATA LÉGNEMŰ RADIOAKTÍV ANYAG KIBOCSÁTÁS ELLENŐRZŐ RENDSZEREKBE

Petrányi János\*<sup>1</sup>, Zsitnyányi Attila<sup>1</sup>, Manga László<sup>2</sup>, Sebestyén Zsolt<sup>3</sup>, Kátai-Urbán Lajos<sup>4</sup>,  
Mesics Zoltán<sup>5</sup>

<sup>1</sup>GAMMA Zrt., Budapest

<sup>2</sup>MVM Paksi Atomerőmű Zrt., Paks

<sup>3</sup>Országos Atomenergia Hivatal, Budapest

<sup>4</sup>Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest

<sup>5</sup>BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, Budapest

\*gamma@gammatech.hu

A kézirat beérkezett: 2019.12.09.

Közlésre elfogadva: 2020.05.28.

## ANALYSIS OF MEASUREMENT METHODS IN AIRBORNE RADIOACTIVE EMISSION MONITORING SYSTEMS

*When using radioactive materials, waste can be released into the environment. There are technologies that emit gaseous radioactive waste under normal operating conditions, but there is a possibility that hazardous material may be released into the environment due to a malfunction or accident. Several techniques are used to measure emission. This publication focuses primarily on radiation measurement systems that measure continuously and deliver real time results. It describes the available solutions, compares their advantages, disadvantages, and introduces innovations that allow for the enhancement of measurement capabilities e.g. wider measurement range, immediate determination of nuclid composition of the emission.*

*Keywords- radiation, emission, measurement*

***Radioaktív anyagok alkalmazásakor ezek hulladéka a környezetbe kerülhet. Léteznek olyan technológiák, amelyek normál üzemi körülmények között is bocsátanak ki légnemű és/vagy folyékony halmazállapotú radioaktív hulladékot, de előfordulhat, hogy valamilyen üzemzavar vagy baleset miatt jut veszélyes anyag a környezetbe. A kibocsátás mérésére több megoldás is rendelkezésre áll. A közlemény elsődlegesen a különböző méréstechnikai módszereket vizsgálja alkalmazhatóságuk szempontjából. Bemutatja a rendelkezésre álló megoldásokat, összehasonlítja azok előnyeit, hátrányait és ismerteti azon megoldásokat, amik lehetővé teszik a mérési képességek javítását, bővítését pl.: mérési tartomány kiszélesítését, a kibocsátás valósidejű nuklid szelektív meghatározását.***

***Kulcsszavak –radioaktív sugárzás, kibocsátás, mérés***

## BEVEZETÉS

Levegőbe kibocsátott radioaktív anyagok mérésére szolgáló rendszerek már évtizedek óta működnek ilyen anyagokkal foglalkozó létesítményekben. Ilyen jellegű létesítmény létesítésének, működtetésének alapfeltétele kibocsátás ellenőrző rendszer megléte.

A kibocsátás ellenőrző rendszerek feladata, hogy mérési adatokat szolgáltatson annak érdekében, hogy meghatározható legyen az adott technológiából távozó, a környezetet terhelő radioaktív anyag mennyisége és minősége. Ezen rendszerek kialakításukban, megvalósításukban eltérőek lehetnek. A létesítmény tervezésekor már meg kell határozni, hogy a távozó szennyezések környéken élők mekkora dózisterhelését okozzák. A legtöbb

országban a légnemű radioaktív kibocsátással járó tevékenységekhez hatósági engedélyre van szükség. Az engedélyben meghatározott korlátok az adott kibocsátási pontra, rögzített időszakra vonatkozó (általában egy évre) izotóponkénti aktivitás szinteket határoznak meg. Hazánkban ezt az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és vízbe történő radioaktív kibocsátásokról és azok ellenőrzéséről szóló 15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet szerint kell megtenni [1].

A kibocsátásra engedélyezett kritérium meghatározásához a külön engedélyezett lakosságra vonatkozó dózismegszorítás értékét kell felhasználni. A dózismegszorításból visszszámolva, izotóponként meg kell határozni, hogy milyen kibocsátás esetén éri a meghatározott sugárterhelés a lakosság kijelölt, kritikus csoportját. A meghatározásnál alkalmazott számításokat, kiindulási adatokat és részeredményeket be kell mutatni, ami alapján fogadja el az engedélyező hatóság az értéket. Az MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő Zrt. környezetvédelmi engedélyének R. mellékletében láthatjuk, hogy a két új létesítendő blokkra vonatkozóan milyen engedélyezett értékek kerültek meghatározásra, melyet a Környezeti Hatástanulmányal igazolt az engedélyes. [2], [3]

A mért eredményeken túl egy kibocsátás mérő rendszernek képesnek kell lennie arra, hogy a baleset-elhárítás során felhasznált terjedésszámítási modelleknek kiinduló adatot szolgáltatson a szellőzőkéményen távozó szennyező anyagokról.

Kibocsátás mérő rendszer ellátható szintfigyelő opcióval is, amely figyelmeztető vagy vészjelzést adhat.

Jelen közlemény azon mérési módszereket ismerteti és vizsgálja, amelyek a radioaktív kibocsátás mérése során alkalmazásra kerülhetnek. E vizsgálat célja a különböző műszaki megoldások összehasonlításával, az előnyök és hátrányok ismertetésével a kibocsátás ellenőrzésére legmegfelelőbb mérési módszer meghatározása, az ehhez szükséges detektorok kiválasztása.

## KIBOCSÁTÁS

Radioaktív anyagok kibocsátását többféle módon is lehet csoportosítani. Az adott kibocsátást jellemzi a helye, a hordozó közegének halmazállapota, a benne található izotópok összetétele és ezek aktivitása. A legegyszerűbb módszer, a kibocsátás hordozó közegének halmazállapota szerinti csoportosítás. Ezek alapján a releváns rendelet megkülönbözteti a levegőbe és az élővízbe történő kibocsátását. [1]

Ez a halmazállapot alapján történő megkötés nem jelenti azt, hogy maga a kibocsátott veszélyes anyag is csak légnemű vagy folyékony lehet. Sok esetben a szennyezés szilárd, de folyadékba vagy gázáramba kerülve jut ki a környezetbe.

Radioaktív szennyeződések a kibocsátáskor előforduló izotópok típusa vagy azok kémiai formája szerint is lehet csoportosítani.

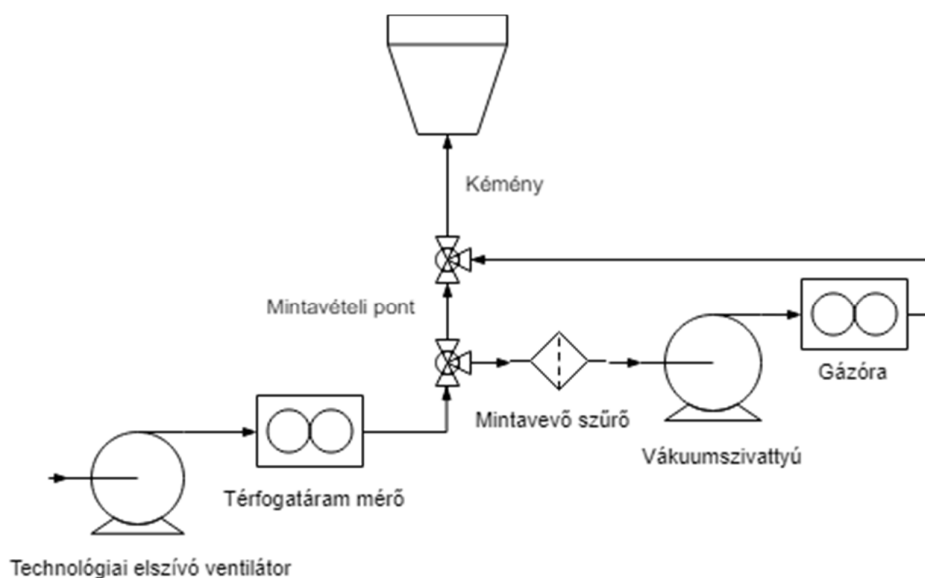
Az aktuális pillanatnyi kibocsátást aktivitás koncentrációban ( $\text{Bq/m}^3$ ) az adott időegységre eső kibocsátást aktivitásban ( $\text{Bq/óra}$ ,  $\text{Bq/nap}$ ,  $\text{Bq/év}$ ) kell megadni. A legtöbb radioaktív kibocsátással járó technológiánál egyidejűleg több izotóp is kerülhet ki, emiatt szükség van a nuklidszelektív mérésre. Adott helyszínen a kibocsátási korlátokat a dózismegszorításból számolják vissza. Azaz a kibocsátásban érintett létesítmény közelében élő kritikus lakossági csoportra adódó éves dóziskorlátból meghatároznak a létesítményre izotóponkénti kibocsátási értékeket [4] [5].

A kibocsátás helye szerint is meg lehet különböztetni a kibocsátást. A legtöbb esetben az üzemszerű működés mellett, tervezett módon a technológiai szűrőket követően a szellőző-kéményen keresztül távozó szennyeződést tekintik légköri kibocsátásnak. Ezen felül komplex

rendszerekben egy technológiai részegység önállóan is rendelkezhet kibocsátási ponttal, önálló mérő rendszerrel. De a kibocsátás történhet baleseti helyzetben más pontokon is.

### MINTAVÉTELEN ALAPULÓ OFFLINE KIBOCSÁTÁS MÉRÉS

Az egyik módja a légnemű kibocsátás mérésének, ha reprezentatív mintát vesznek az adott légttechnikai rendszerből, majd elemzik a minta aktivitását és a légforgalmi adatokból következtetnek a kibocsátás mértékére. Az offline kibocsátás mérés működését mutatja az 1. ábra.



1. ábra Offline légnemű kibocsátás mérő rendszer sematikus ábrája. (Forrás: saját készítés)

Az adott mintavételi időszakra vonatkozó kibocsátott szennyezés aktivitását a minta aktivitásából valamint a teljes és a vett levegő mennyiségekből az (1) képlet alapján lehet közelíteni.

$$A_t = \frac{A_m * V_t}{V_m} \quad (1),$$

ahol:

$A_t$ : a mintavételi idő alatt a teljes kibocsátás értéke (Bq)

$A_m$ : a mintavételi idő alatt vett levegőminta aktivitása (Bq)

$V_t$ : a kibocsátási ponton áthaladt levegő teljes mennyisége a mintavétel ideje alatt ( $m^3$ )

$V_m$ : az elszívott levegő mennyisége a mintavétel ideje alatt ( $m^3$ )

Az egymást követő mintavételezési időszakokra számolt kibocsátott aktivitás értékeket összeadva heti, havi és éves kibocsátási értékek is meghatározhatóak.

Ezzel a módszerrel az egyik probléma, hogy nem elég gyors. A valós kibocsátás arányos részét egy szűrő fogja fel, amit a mintavételi periódus végén leszerelnek, majd egy

mérőhelyen megmérnek, és csak ezután számítható ki az eredmény, ez legjobb esetben is órák, de inkább napok múlva történhet csak meg. További gondot jelent, hogy a szűrő csak adott határfokkal képes megszűrni a szennyező anyagokat, illetve az idő múlásával a szennyező anyag vándorolhat a szűrőben, valamint az izotóp feleződése miatt, csökken a minta aktivitása. Emiatt a rövid felezési idejű izotópoknál a kimutatási határ meredeken romlik az idő múlásával. A mintavétel pontatlansága, illetve a térfogatáramok, a nukleáris mérőműszerek pontatlansága is tovább növeli a mérési bizonytalanságot. Ezen mérés segítségével nem lehet egyértelműen behatárolni, hogy a megemelkedett mért érték esetén egy folyamatos kis mennyiségű, vagy egyszeri „pöff-szerű” kibocsátásról van-e szó. Ha egyszeri kibocsátás történt, annak időpontja sem rekonstruálható.

A mérési módszer előnye, hogy a mintavétel egyszerű, olcsó és a mintán lévő aktivitás arányos a kibocsátott aktivitással, ha a mintavételi sebesség arányos a kibocsátási sebességgel. További előnye a mérési módszernek, hogy a mintavétel érzéketlen a mintavétel helyén történő gamma-háttérsugárzásra

## A CSŐRENDSZERBE ÉPÍTETT ONLINE KIBOCSÁTÁS MÉRÉS

Egy másik mérési módszer a kibocsátás ellenőrzésére a légtechnikai rendszerben történő közvetlen mérés, ahol a mérőműszer be van építve az ellenőrzendő levegőt szállító csővezeték belsejébe. Ezzel a megoldással a műszer előtt elhaladó radioaktív alfa és/vagy béta sugárzó szennyeződések lehet megmérni. Ebben a mérésben a kihívást az adja, hogy miközben a csővezetékben a detektor előtt elhalad a szennyeződés, a detektor mögött a technológiából adódó háttérsugárzás változása meghamisíthatja a mérést. Az így keletkező hibát automatikus háttérkompenzációval lehet kiküszöbölni. Ennek a módszernek a hatékonyságát egy kísérlettel mutatjuk be. A méréshez két Geiger-Müller csővel szerelt mérőeszközt használtunk fel.

Az egyik Geiger-Müller (GM) cső végablaka előtt vékony mylarfólia volt, míg a másik azonos típusú GM csőre a béta-sugárzást elnyelő árnyékolás. Így az árnyékolással ellátott detektor csak gamma-sugárzást, míg az árnyékolás nélküli detektor az alfa-, a béta- és a gamma-sugárzást is mérte. A két detektor közvetlenül a légtechnikai csőbe lett beépítve. A cső belsejében végrehajtott mérés biztosította, hogy a lehető leggyorsabban lehessen érzékelni az aktivitáskoncentráció változásokat a rendszerben.

A mérés nehézsége, hogy a detektor előtt a szennyezés tartózkodási ideje nagyon rövid volt, ezért a rövid idő alatt („pöff-szerűen”) kibocsátott radioaktív anyag csak egyetlen mérési ciklus (10 perc) eredményében látszott (2. ábra).



2. ábra Aktivitáskoncentráció két GM csöves műszerrel. Forrás: [6]

Ez a kibocsátás ellenőrzési módszer képes automatikusan kompenzálni a mérőrendszerben lévő gamma-háttérsugárzás változást. Az árnyékolás nélküli Geiger-Müller detektor által mért értékekből ki kell vonni a csak gamma-sugárzást mérő detektor értékeit. Az így kapott érték kizárólag a csőben a detektor előtt elhaladó szennyeződésből származhat,

Ennek a mérési összeállításnak az az előnye, hogy az egyes technológiai lépésekből származó rövid, „pöff szerű” kibocsátások, valós időben megfigyelhetők. A hátránya a megoldásnak a mérés pontatlansága és a rendszer érzéketlensége, bár a mérési összeállítás érzékenysége javítható, ha a detektor és az érintett csőszakasz kívülről ólom árnyékolást kap. A rövid mérési idő, a cső falának elszennyeződése, a rendkívül széles intenzitás tartomány, a légforgalom ingadozása mind hozzájárul a mérés bizonytalanságához. Ezért ez a műszer elsősorban monitorozási célra használható, a kibocsátás meghatározására nem.

Többlet információra lehet szert tenni a kibocsátott anyagról, ha egy szcintillációs detektor is felszerelésre kerül a mérési pontban. A szcintillációs detektor érzékenyebb a GM csöves detektornál, valamint spektrum felvételére is használható, ami lehetőséget ad kibocsátott izotópok azonosítására.

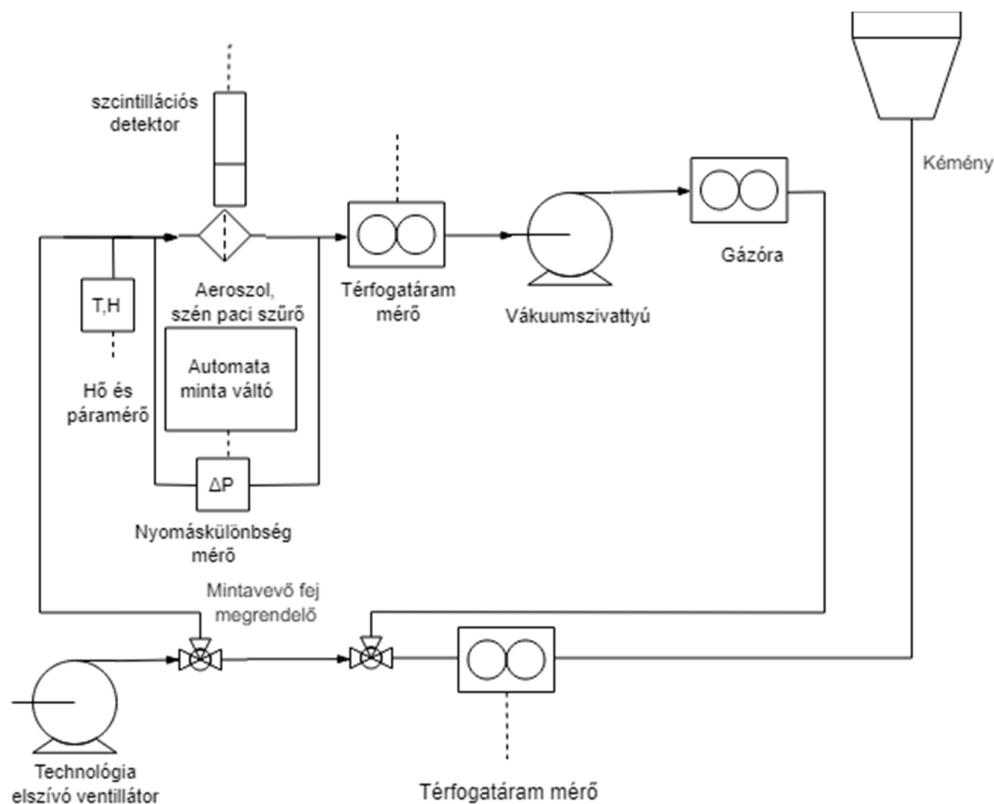
## TECHNOLÓGIAI SZŰRŐKRE ÉPÍTETT ONLINE KIBOCSÁTÁS MÉRÉS

A kibocsátás mérések egy másik módszere a technológiai rendszerek szűrőin történő közvetlen mérés. Ezen mérés során számolni kell azzal, hogy a szűrőkön nagy dózisteljesítmény ( $> 100$  mGy/h) is létre jöhet, ezért a méréshez széles mérési tartománnyal rendelkező detektorra van szükség, valamint az elektronikus egységet is védeni kell a sugárzás hatásától. Az összeállítás előnye, hogy a technológiai folyamatok jól nyomon követhetők, rövid idejű kibocsátások több mérési ciklusban is megjelennek, és maradnak is, amíg a szennyeződés a szűrőben le nem bomlik. Ilyen rendszerekben több szintű, komplex riasztási logikát érdemes megvalósítani. A normál üzemi kibocsátás ideje alatt a várható kibocsátásnak megfelelő fix riasztási szintet kell beállítani, így a radioaktív anyagokkal történő munkavégzés zavartalanul végezhető, mindaddig, amíg a tervezett korlátok között marad a kibocsátás. A módszer hátránya a lassú reakció idő, valamint a telített szűrő esetén kis változást okozó kibocsátásokkal szembeni érzéketlenség, valamint zavaró hatás lehet az egyéb radionuklidok megjelenése, eltűnése is, pl. radioaktív nemesgázok.

## MINTAVÉTELES ONLINE KIBOCSÁTÁS MÉRÉS

A mintavételes online módszer lényege, hogy folyamatos reprezentatív mintavétel történik a csőrendszerből. A vett levegő a detektor(ok) előtt elhelyezett elemi, szerves és aeroszol jód, megkötésére alkalmas szűrőkön halad keresztül, majd megérkezik egy tartályba, ahol a nemes gázok is mérhetővé válnak. A pontos méréshez minden szűrőtípushoz (aeroszolok, jódok), illetve a nemesgáz-tartályhoz külön-külön detektort kell rendelni. A mérőhelyek csak akkor vonhatóak össze úgy, ahogy a 3. ábrán látható, ha nem tartoznak külön kibocsátási határértékek a jód kémiai formáihoz. A hatékonyságot tovább növeli, ha automata szűrőváltó gondoskodik arról, hogy eltömődés, szakadás, túl magas minta aktivitás esetén új szűrő kerüljön a detektor elé.

Az online ellenőrző rendszer beállított ciklusidővel méréseket hajt végre. Az egyes mérőhelyeken a szűrőn adott ciklusonként keletkező többlet aktivitás arányos lesz a kibocsátással. A rendszer az adott szűrőre jellemző, vagy a nemesgáz-tartályban lévő radionuklidokat azonosítja. A rendszer érzékenységét a minimális detektálható aktivitás (MDA) határozza meg. Az MDA csökkenthető a mérési idő növelésével és az egymás utáni mérések adatainak összeadásával, de ezzel nő a rendszer válaszüzeje egy kibocsátásra, illetve csökken a rövid felezési idejű izotópok kimutathatósága. Ha az azonosítás az összegzett spektrumokból nem lehetséges, az MDA alapján lehet a kibocsátást konzervatíván becsülni.



3. ábra Online légnemű kibocsátás mérő rendszer vázlata. Forrás: saját készítés

A nemesgáz mérőhelyen nincs „kumulált aktivitás”, csak a mindenkori aktivitáskoncentráció mérhető, ellenben a jódszűrőkön lehet nemesgáz besűrűsödés.

A minta aktivitásának valamint az elszívott és a főág térfogatáramainak mérésével meg lehet határozni a teljes rendszerre az aktuális aktivitás koncentrációt és az adott időszakra vetített kibocsátott aktivitást. A megoldás hátránya, hogy a gamma-háttérben történő változásokat a rendszer hozzászámolhatja a mért eredményhez, ezáltal nagyobb kibocsátási értékeket számol: Ezt úgy lehet kiküszöbölni, hogy a mérés a lehető legtávolabb kerüljön sugárzást kibocsátó technológiai rendszerektől, valamint kis háttérű mérőhelyen történjen a mérés. [8]

A módszer nagy előnye, hogy a mérő rendszer anélkül kalibrálható, hogy nagy mennyiségű radioaktív anyagot kellene a légtechnikai rendszerbe engedni. Amennyiben igazolható, hogy a vett minta reprezentálja az egész légforgalmat, úgy elégséges detektoronként a kalibrálást végrehajtani kis aktivitású referencia etalonokkal.

### KIBOCSÁTÁS MEGHATÁROZÁSA KÖRNYEZETI MÉRÉSEK ALAPJÁN

A fent ismertetett kibocsátás ellenőrzési módszerek csak akkor adnak valós képet a kibocsátásról, ha a szennyeződés a légtechnikai rendszer csővezetékein keresztül távozik. Egy baleseti helyzetben könnyen előfordulhat, hogy nem a kéményen, hanem más úton jut a szennyeződés a környezetbe. Ilyen esetben a kibocsátási pont körül kiépített környezeti mérések alapján lehet következtetéseket levonni a kibocsátott szennyeződésről. A mért sugárzási szintek, valamint az aktuális meteorológiai paraméterek segítségével lehet modellezni a terjedést és visszszámolni a kibocsátás mértékét. [9]

A módszer hátránya, hogy csak olyan esetekben működik, amikor a kibocsátás már olyan mértékű, hogy az a mérési pontban, esetenként a kibocsátástól már több száz méter



távolságban található detektoroknál is kimutatható. Nagy érzékenységgű mérő berendezésekkel és a meteorológiai adatokat felhasználó terjedésszámító programmal a kibocsátott mennyiség becsülhető. [10]

## KÖVETKEZTETÉSEK

A bemutatott kibocsátás mérési módszerek közül nem lehet kijelteni, hogy van egy, ami megfelel minden célra, valamennyinek vannak előnyei és hátrányai.

A legkésőbb eredményt adó, hosszabb felezési idejű izotópokra legalacsonyabb kimutatási határú, egyben a környezeti sugárzásokra legérzékenyebb módszer a mintavételen alapuló offline kibocsátás mérés.

A technológiai folyamatokat leginkább követő, a szűrőkről pontos képet adó módszer a technológiai szűrőkre épített ellenőrző rendszer.

A leggyorsabb észlelési időt a csőrendszerbe épített közvetlen méréssel lehet elérni.

A mintavételes online kibocsátás mérés gyors figyelmeztető jelzés lehetősége mellett lehetővé teszi – az offline mérésnél rosszabb kimutatási határral – az izotóp szelektív aktivitáskoncentráció mérést.

A mérési módszerek és a hozzájuk tartozó műszaki megoldások a technika fejlődésével egyre pontosabb információt képesek adni egyre gyorsabban. Mindazonáltal a legjobb eredményt akkor lehet elérni, ha fenti módszerek közül többet is sikerül beépíteni a védelmi rendszerbe. A különböző technológiákon alapuló, redundáns mérési összeállítások növelik a teljes rendszer megbízhatóságát és a rendelkezésre állását.

## IRODALOM

- [1] „15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és vízbe történő radioaktív kibocsátásokról és azok ellenőrzéséről,”  
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0100015.kom>. Letöltés ideje: 2019.11.16.
- [2] Baranya megyei Kormányhivatal, Az MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő Zrt. által a paksi atomerőmű Paks, 8803/16 és 8803/17 hrsz.-ú telephelyén tervezett új atomerőművi blokkok környezetvédelmi engedélye, 2016.09.28.  
<http://www.paks2.hu/hu/Kozerdeku/KozerdekuDokumentumok/KornyezetvedelmiEngedelyezes/kvengedely/Documents/I.Fok%C3%BC3%9C%20KornyezetvedelmiEngedely.pdf>  
Letöltés ideje: 2019.11.16.
- [3] MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő Zrt., Környezeti Hatástanulmány,  
<http://www.paks2.hu/hu/Kozerdeku/KozerdekuDokumentumok/KornyezetvedelmiEngedelyezes/KornyezetiHatastanulmany/Lapok/default.aspx>  
Letöltés ideje: 2019.11.16.
- [4] Zagyvai P., Környei J., Kocsonya A., Földi A., Bodor K. és Zagyvai M. (2012) „Radiojód kibocsátása a KFKI telephelyen.” Sugárvédelem online XXXVII,  
<http://www.sugarvedelem.hu/sugarvedelem/docs/kulonsz/2012sv/ZagyvaiRadiojod.pdf>  
Letöltés ideje: 2019.11.16.
- [5] Bujtás. T., „Kibocsátás- és környezetellenőrzés a Paksi Atomerőműben,” in Múlt - jelen - jövő tudományos előadásorozat Hertelendi Ede tiszteletére, Debrecen, 2009.
- [6] Petrányi. J., „Magas gamma dózisteljesítmény mellett történő felületi szennyezettség mérése intelligens detektorokkal,” in ELFT sugárvédelmi szakszoport, Sugárvédelem online, 2016.
- [7] Petrányi J., Elter D., Szalóki I. és Solymosi M., „Modernization of the radiation monitoring systems at research and training reactors in Hungary,” in IRPA, Cape Town, South Africa , 2016.05.10.

- [8] Sarkadi A., Gimesi O., Gajdos F., Elter D., Matisz A. és Zagyvai P., „Kibocsátás-ellenőrző rendszer tervezése és építése a KFKI telephelyen,” in ELFTSV, Sugárvédelem online, 2013.
- [9] Deme S., Pázmándi T., C. Szabó I., Szántó P. „Az általános környezeti veszélyhelyzet megállapítása és a megállapítás bizonytalansági tényezői” Sugárvédelem online IX. évf. (2016) 1. szám. 1–10. [http://www.elftsv.hu/svonline/docs/V9i1/Dem\\_V91.pdf](http://www.elftsv.hu/svonline/docs/V9i1/Dem_V91.pdf)  
Letöltés ideje: 2019.11.16.
- [10] O. Masson, G. Steinhauser, ... “Airborne concentrations and chemical considerations of radioactive ruthenium from an undeclared major nuclear release in 2017” Proceedings of the National Academy of Sciences Aug 2019, 116 (34) 16750-16759; DOI: 10.1073/pnas.1907571116 [http:// https://www.pnas.org/content/116/34/16750](http://https://www.pnas.org/content/116/34/16750). Letöltés ideje: 2019.11.16.