

Nagy gamma-dózisteljesítmény mellett történő felületi szennyezettség mérése intelligens detektorokkal

Petrányi János

Gamma Zrt. 1097 Budapest Illatos út 9.
gamma@gammatech.hu

A kézirat beérkezett: 2016.07.08.

Közlésre elfogadva: 2016.09.06.

Surface contamination measurement at high gamma background with intelligent detectors

In order to carry out surface contamination measurement at high gamma dose-rate two measuring instruments, one gamma background radiation meter and one surface contamination meter, are needed. An algorithm realized in an intelligent microcomputer compensates the beta and gamma radiation level measured by surface contamination meter with gamma radiation level measured by gamma background radiation meter to have online beta surface contamination values. The BNS-298 instrument was designed to measure the radioactive contamination of the spent fuel pool at Paks Nuclear Power Plant, which was contaminated during an incident in 2003. Experimental measurements were carried out in the air ventilation system of Institute of Isotopes Ltd. in order to study whether radioactive contamination is detectable in the pipelines at highly fluctuating gamma background.

High gamma dose-rate, surface contamination measurement

Felületi szennyezettség méréshez magas gamma-dózisteljesítmény mellett két műszerre van szükség: egy gamma-háttérsugárzás mérőre, valamint egy béta-felületi szennyezettség mérőre. Egy intelligens mikroszámítógépen megvalósított algoritmus a béta-felületi szennyezettség mérő által mért béta és gamma-sugárzás értékét kompenzálja a gamma dózisteljesítmény mérő által mért gamma-sugárzás értékével, on-line meghatározva a béta-felületi szennyezettséget. A 2003-as paksi üzemzavar során elszennyeződött pihentető medence szennyezettségének mérésére született meg a BNS-298 műszer, amely rendelkezik egy összegzett béta-gamma, és egy gamma-dózisteljesítmény távadóval. Kísérleti mérések zajlottak le az Izotóp Intézet Kft. légtechnikai rendszerében, annak érdekében, hogy egy erősen ingadozó gamma-háttér mellett a csővezetékben elhaladó radioaktív szennyeződések kimutathatóak-e.

Magas gamma-dózisteljesítmény, felületi szennyezettség mérés

BEVEZETÉS

Személyek és tárgyak közvetlen, gyors felületi szennyezettség mérésére a legtöbb esetben kézi műszereket használnak. A műszerekbe leggyakrabban nagyfelületű végeblakos Geiger-Müller számlálót (egyet vagy többet) béta-számlálásra vagy ZnS(Ag) szcintillátort alfa-mérésre építenek be. Ezekkel a detektorokkal lehetővé válik tárgyak vagy személyek felületi szennyezettségének gyors és hatékony mérése [1–4]. Felületi szennyezettség mérésének megkezdése előtt háttérmérést szokás végrehajtani tiszta térben, hogy a gamma-háttérsugárzás ne befolyásolja a mérést. Ezzel az eljárással az a probléma, hogy a mérés közben a gamma-háttérsugárzás nem feltétlenül állandó, különösen akkor változhat, ha például egy nukleáris baleset következtében a gamma-háttérsugárzás megemelkedik vagy egyszerűen a mérés környezetében forrásokat mozgatnak, kezelnek. Az ilyen emelkedett gamma-dózisteljesítmény mellett történő gyors és pontos felületi szennyezettség mérése mindig is kihívások elé

állította a szakembereket. Ennek a mérési feladatnak az elvégzéséhez két műszer együttes alkalmazása a legcélravezetőbb: egy gamma-dózisteljesítmény távadó, valamint egy béta- és gamma-detektor [5–7]. A gamma-dózisteljesítmény távadó által folyamatosan mért levegőben elnyelt gamma-dózisteljesítménnyel kompenzálni lehet a béta- és gamma-detektor által regisztrált összegzett béta- és gamma-sugárzás ^{137}Cs ekvivalens dózisteljesítményt, végeredményül a béta-felületi szennyezettséget meghatározva.

MŰKÖDÉSI ELV

A kétdetektoros mérési összeállításban a két detektor önállóan mér, de van egy központi intelligens egység, amely a független mérési eredményekből meghatározza a béta-felületi szennyezettséget. A központi intelligens egységbe a következő képlet alapján valós időben, vagy utólagos kiértékeléssel lehet kalkulálni a béta-felületi szennyezettséget és a statisztikus hibát:

$$D_b = (D_2 - D_1 \cdot K_f) \cdot H_b \quad (1)$$

ahol:

- D_b : Béta-felületi szennyezettség [Bq/cm^2]
- D_2 : A béta- és gamma-detektor által regisztrált összegzett béta- és gamma-sugárzás ^{137}Cs ekvivalens dózisteljesítménye [Gy/h]
- D_1 : A gamma dózisteljesítmény távadó által mért levegőben elnyelt dózisteljesítmény [Gy/h]
- K_f : A gamma-dózisteljesítmény távadó és a béta- és gamma-detektor együttfutását korrigáló faktor
- H_b : A béta- és gamma-detektor háttér kompenzált dózisteljesítményének béta-hatásfok faktora (külön faktorok ^{90}Sr , ^{204}Tl , ^{14}C méréshez) [$\text{Bq}\cdot\text{h}/\text{cm}\cdot\text{Gy}$]

$$h_b = H_b \cdot \sqrt{D_2^2 \cdot h_2^2 + D_1^2 \cdot K_f^2 \cdot h_1^2} / D_b \quad (2)$$

- h_b : A béta-felületi szennyezettség statisztikus hibája
- h_1 : D_1 2σ becsült statisztikus hibája
- h_2 : D_2 2σ becsült statisztikus hibája

DETEKTOROK

A méréshez alkalmazott gamma-dózisteljesítmény távadó jellemzői:

Mérési tartománya:	50 nGy/h–0,5 Gy/h.
Indikálási tartomány:	30 nGy/h–10 Gy/h.
Energiatartomány:	50 keV–1,5 MeV
Relatív alaphiba:	max. $\pm 15\%$
Statisztikus ingadozás:	max. $\pm 10\%$
Túlterhelhetőség:	100 Gy/h-ig
Energia-függés (Cs-137 viszonyítva):	$\pm 25\%$
Hőmérséklet-függés:	$\pm 2\%$
Tápfeszültség-függés:	kisebb, mint $\pm 5\%$,

A méréshez alkalmazott béta- és gamma-detektor jellemzői:

Mérési tartomány:	0,2 Bq/cm^2 –500 kBq/cm^2
Mérési bizonytalanság:	$\pm 30\%$

Statistikus ingadozás:

max. $\pm 20 \%$

Küszöbenergia:

50 keV.

Az alkalmazott detektorok Geiger–Müller csővel szereltek, széles méréstartományban működni képesek. A széles mérési tartomány a Geiger–Müller cső anódjainak átkapcsolásával, valamint időosztásos táplálásával valósul meg.

A legérzékenyebb méréstartományban a Geiger–Müller cső mind a tíz anódjára jut nagyfeszültség. Nagyobb beütésszámok esetén a detektor képes automatikusan kilenc anódra jutó nagyfeszültséget a felére csökkenteni, hogy csak egy anód maradjon bekapcsolva.

A beérkező impulzus hatására a detektorban a felére csökkenti az anódfeszültséget egy rövid időtartamra, amíg a Geiger–Müller cső gázterében a tértöltés megszűnik. Ez a működési elv széles méréstartományt és hosszabb élettartamot eredményez [15].

MÉRÉS

A műszer első használata előtt, valamint évente kalibrációt érdemes végrehajtani. A mindennapos használat előtt elégséges a két detektort egymás mellé tenni és egy háttérlevonás mérést elindítani.

A műszer kalibrálása során először a két detektort külön–külön kell kalibrálni. A béta- és gamma-detektorra egy gumi sapkát kell helyezni, a béta-sugárzás kiszűrésére. Első lépésben a beütésszámból dózisteljesítmény kalkulálásához szükséges gamma-dózisteljesítmény faktorokat kell meghatározni. 10 anódos üzemmódban, kis gamma-dózisteljesítményű ^{137}Cs térben, majd 1 anódos üzemmódban, nagy gamma-dózisteljesítményű ^{137}Cs térben kell a méréseket elvégezni, korrigálni a faktorokat, hogy hibahatáron belül legyen a mért eredmény. A holtidő faktor meghatározásához 1 anódos üzemmódban nagy gamma-dózisteljesítményű ^{137}Cs térben kell méréseket végrehajtani. Az energiafüggés beállítása ^{241}Am etalon segítségével történik, de ezt a beállítást csak a gamma-dózisteljesítmény távadón kell végrehajtani, mivel csak azon lehet az energiaszűrőn állítani. Az etalonokkal végrehajtott méréseket követően alacsony háttérű mérőhelyen a háttérlevonás beállítása szükséges.

A béta- és gamma-detektor felületi szennyezettség kalibrálásához ^{90}Sr , ^{204}Tl , ^{14}C etalonokkal kell méréseket végrehajtani. A felületi szennyezettség mérések előtt a béta- és gamma-detektor gumi sapkáját el kell távolítani. A különböző energiájú béta-etalonokhoz, különböző béta-hatásfok faktorokat kell meghatározni. A későbbi használat során a mérés előtt ki kell választani, hogy mely nuklid energiájához tartozó hatásfok faktor kerüljön felhasználásra. A széles méréstartományban történő méréshez 1 és 10 anódos üzemmódban is szükséges a hatásfok faktorok meghatározása.

Mivel a műszerek széles hőmérséklet tartományban működnek, ezért minden darabos klimatikai vizsgálaton esnek át, amelynek során a műszer által mért háttérsugárzás a szobahőmérsékleten mérthez képest $\pm 30\text{ nGy/h}$ -nál jobban nem térhet el a -25°C – $+55^\circ\text{C}$ hőmérséklet tartományban.

A műszereknek terepi használatukból adódóan rázásállónak kell lenniük, ezért minden darab szerelési rázáson esik át, amely 15 perces 2 g-s rázást jelent, melyet követően gamma- és béta-forrás méréssel történik a működés visszaellenőrzése.

Az algoritmus és a műszer működésének ellenőrzésére a következő mérési sorozatok kerültek végrehajtásra. A méréshez a két detektort a központi intelligens egységre kell kapcsolni. A központi egység meghatározza a fent ismertetett képlet alapján a béta-felületi szennyezettséget. Ismert, kb. 10 kBq/cm^2 ^{90}Sr , ^{204}Tl , ^{14}C felületi minták mérése történik, először normál, majd magas, $>20\text{ mGy/h}$ gamma-háttérsugárzás mellett. A mérések sikeresnek tekinthetők, ha a magas gamma-háttér mellett mért felületi szennyezettségek maximum 30 %-ban tértek el a normál háttér mellett mért felületi szennyezettségektől.

FELÜLETI BÉTA-SZENNYEZETTSÉG-TÁVADÓ

Az előző pontokban ismertetett algoritmus, különböző alkalmazásokban is használható, ezek bemutatása következik gyakorlati példákon keresztül.

Az algoritmus egyik alkalmazása, amikor olyan helyen van szükség felületi szennyezettség mérésére, ahol több nagy aktivitású gamma-forrás is befolyásolhatja a mérést, például egy nukleáris létesítményben olyan részegységek, berendezések ellenőrzésekor, amelyeket nem lehet elvinni az aktív zónából. Amennyiben ilyen berendezés felületén dekontaminálást hajtanak végre, ennek a folyamatnak a hatékonyság ellenőrzésére kiválóan alkalmazható ez a megoldás. Akkor válik igazán szükségessé a közvetlen mérési módszer használata, amikor nincs mód vagy idő a felületről mintavételezést végrehajtani, majd inaktív környezetben a mintát mérni és kiértékelni vagy egyszerűen túl nagy az ellenőrzendő terület, és reprezentatív mintavétel nem elégséges/lehetséges. Az eljárás általam ismert első gyakorlati alkalmazása a 2003-as paksi üzemzavar során elszennyeződött pihentető medence szennyezettségének mérése volt (1. ábra), [8–13]. Az elkészített speciális felületi béta-szennyezettség-távadó erre a célra lett kifejlesztve. A BNS-298 műszer rendelkezett egy összegzett béta-gamma és egy gamma-dózisteljesítmény távadóval. Mindkét távadóban ugyanolyan végablakos nagy felületű és nagy térfogatú Geiger-Müller cső foglalt helyet. A gamma-detektor előtt alumínium lemez árnyékolta a béta-sugárzást, míg a béta- és gamma-detektor végablakát 0.9 mg/cm² felületi sűrűségű fólia választotta el a külvilágtól. ¹³⁷Cs gamma-sugárzására 1 %-on belül azonos értékre lettek kalibrálva a távadók. A két intelligens távadó külön-külön végezte a mérést, majd a béta-felületi szennyezettség számítógépes adatfeldolgozás segítségével került meghatározásra.



1. ábra. Mérés a paksi pihentető medencénél

A méréseket RS-485-ös kommunikációs vonalon keresztül számítógépes program vezérelte. A PC-s program 2 másodpercenként lekérdezte a detektoroktól a mérés eredményét és pontosságát. A mérés előtt háttérmerést kellett végrehajtani. A béta-detektorra gumiszűrőt helyezve, a béta-sugárzással szemben érzéketlenné vált a detektor. A háttér mérés során a két detektorral mért gamma-dózisteljesítmény különbségét nullázta a program, a kívánt kimutatási határ egynegyedénél kisebb statisztikus hiba mellett. A háttér mérés után a béta-sűrőt levéve indulhatott a szennyezettség mérés. A gyűjtött adatokból a program folyamatosan számolta a béta-szennyezettséget. A mérés addig tartott, amíg a pontosság és a kimutatási határ le nem csökkent az előírt érték alá vagy a mérési idő el nem érte a maximumát. Ez célszerűen azonos volt a háttér mérés idejével. A mérés a lehető legrövidebb, automatikusan változó ideig tartott.

A távadók közös mérés indítását követően a távadók 2 másodpercenként számították a ^{137}Cs ekvivalens dózisteljesítmény értékeket, a mérés statisztikus hibáját és a mérés idejét. Adatküldés a számítógép felől kezdeményezett, „master-slave” típusú kommunikáció volt, ez biztosította az azonos mérési ciklusokat mindkét távadó esetében és tette lehetővé, hogy a két távadó egy RS-485 buszra legyenek kötve. A mérés során nem történt sem adatvesztés, sem adatsomag ütközés. A számítógép 2 másodpercenként lekérdezte az adatokat, elvégezte a háttérlevonást és számította annak statisztikus hibáját.

A paksi pihentető medencében több mérés is sikeresen lezajlott. A mérési eredmények segítették a rekonstrukciós munkák végrehajtását.

GYALOGOS SUGÁRFELDERÍTÉS

A Pakson használt felületi béta-szennyezettség-távadó (BNS-298) kiválóan vizsgázott ipari környezetben, azonban kialakítása miatt (2 detektor + PC) nem tette lehetővé, hogy kézi műszerként is bevezethető legyen (2. ábra). A nukleárisbaleset-elhárítás egy igen lényeges eleme a gyalogos sugárfelderítés, azon belül is egy útszakasz szennyezettségének feltérképezése vagy szennyezett terület határainak meghatározása. Erre a felderítési feladatra létezik egy módszer, amely a következő lépésekből áll. Az első gyalogos felderítő adott pontonként gamma-dózisteljesítmény mérővel 1 méter magasságban megméri a gamma-háttérsugárzást. A második felderítő az első mögött haladva a felszínhez (földhöz, tereptárgyhoz) minél közelebb tartva (sok esetben békaügetésben) béta+gamma-detektorral mér. A mérési eredményeket az idő, hely koordinátákkal együtt egy papírra rögzítik, majd kiszámolják a felületi szennyezettség mértékét.



2. ábra. gyalogos sugárfelderítés

A fent leírt módszer egyszerűsítésére született meg egy speciális műszer (IH-295), ami a korábban ismertetett kétdetektoros (BNS-298) távadó kézi változata lett.[14, 15] A pontos működés tekintetében az algoritmus nem sokat változott, de a PC feladatát egy beágyazott mikrokontroller vette át, így kis helyen alacsony fogyasztás mellett lehetett ugyanazt az eredményt kapni. Az eszköz kapott egy gyors keresési funkciót is, ami lehetővé tette, hogy a számítás eredménye nem csak a mérés végén, hanem mérés közben is 2 másodpercenként láthatóvá váljon. Az IH-295-ben alkalmazott eljárás eredményeként a műszer kijelzése keresés üzemmódban kisebb statisztikus ingadozású, mint a hagyományos műszereké, ugyanakkor gyorsan reagál és riasztást generál. Ez alkalmassá teszi a műszert pontszerű

sugárforrás gyors felderítésére mind a gamma-dózisteljesítmény, mind béta-felületi szennyezettség szempontjából.

A 2005-ben megalkotott kétdetektoros (BNS-298) távadó hordozható változatainak kifejlesztése pár évvel később kezdődött meg. Két műszer is elkészült, az IH-295 és a BNS-295. Az IH-295 két azonos Geiger–Müller csövet használt és a béta- és gamma-detektor része egy hosszú szonda nyél végén foglalt helyet, addig a BNS-295 egy kézi markolatos, 4 db Geiger–Müller csőből felépített felületi szennyezettség mérőből áll. Ezeknél az eszközöknél már számítógép használata nélkül, a műszer saját elektronikájának segítségével történt a mért adatok kiértékelése, a gamma-háttérrel korrigált felületi szennyezettség számítása. [14–16] A felhasználó már felderítés közben láthatta az aktuális béta-felületi szennyezettség és gamma-háttér adatokat.

Az IH-295 és BNS-295 műszerek tekintetében a hagyományostól eltérő keresési algoritmus került alkalmazásra. A természetes háttér közelében igen nagy ingadozás jellemző. Hagyományos műszerekben általában úgy valósítják meg az IEC 61017 szabványban szereplő statisztikus ingadozásra előírtakat, hogy alacsonyabb szinteknél az utolsó pillanatértékekből annyinak képezik az átlagát, amennyi szükséges a megengedett statisztikus ingadozáshoz. Ez sugárzás növekedése esetén gyors beállást eredményez, de a sugárzás csökkenésekor megnöveli a visszaállási időt. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy pl.: $6 \mu\text{Gy/h}$ levegőben elnyelt gamma dózisteljesítmény hirtelen lecsökkenése a normál háttér (80 nSv/h) közelére megközelítőleg 128 pillanatérték átlaga után fog pontos eredményt adni, így a visszaállási idő akár elérheti a négy percet is. Ez alkalmazói szemmel nézve nem elfogadható. Az IH-295 és a BNS-295 műszerekben módosított keresés üzemmód lett megvalósítva. A műszer mindaddig képezi a pontos átlagértéket, amíg szignifikáns változás nem következik be, ekkor 3 ciklus idejére pillanatértéket ad ki, majd előlről kezdi az átlagolást. Ez lényegesen gyorsítja a visszaállást és segíti az alkalmazót a keresésben.

Az eljárás eredményeként a műszer kijelzése keresés üzemmódban kisebb statisztikus ingadozású, ugyanakkor gyorsan reagál, szintátlépés esetén riasztást generál. Ez alkalmassá teszi a műszert gyors felderítésre mind a gamma-dózisteljesítmény, mind a béta-felületi szennyezettség szempontjából.

A műszerekkel egyébként alfa-szennyezettség indikálás is lehetséges. Menübeállítások segítségével az összegzett alfa-, béta- gamma-szennyezettség érték cps mértékegységben is kinyerhető háttérlevonás nélkül. Az alfa-sugárzás mértékének meghatározásához a mintát cps üzemmódban meg kell mérni, majd 2 réteg folpack fóliát a detektorra téve az alfa-sugárzás abban elnyelődik, a különbséget a fólia nélküli és a fóliás érték között az alfa szennyezettség okozza.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az ismertetett eljárás több más területen is használható. A következőkben pár olyan alkalmazás kerül bemutatásra, ahol az on-line gamma-háttér kompenzálás a béta-mérést elősegíti.

A gamma-kompenzálás nagyon hasonló algoritmus szerint működik az összbéta-mérő rendszerekben, ahol a felületi szennyezettség számítása helyett a minta térfogati béta-aktivitásának a meghatározása a cél. A mérés végrehajtásához 2 intelligens szcintillációs típusú detektor dolgozik együtt, egy alacsony háttérű mérőhelybe integrálva.

Egyik másik alkalmazási területe a változó gamma-háttér mellett történő béta-mérési algoritmusnak a kibocsátás ellenőrzés. Ennek az alkalmazásnak az ismertetése egy következő cikkben várható.

Felületi szennyezettség meghatározását végző algoritmusok több alkalmazásnak is az alapját képezik, ezáltal mind felderítési, mind laboratóriumi analitikai célokra jól használhatóak. A lehetséges alkalmazások köre az itt leírtaknál lényegesen szélesebb, jelen

írás egy kis ízelítőt, betekintést adott a műszerek belső működésébe, illetve további fejlesztési lehetőségeket is magába foglal.

A mérési összeállítás további mérési pontosságot nyerhetne, ha minden mérés előtt etalonnal lehetne kalibrációt végrehajtani, esetleg automatikus mintaváltó segítségével. Tapasztalati mérések alapján az adott helyszíneken elsősorban a gamma-háttérsugárzás ingadozik, ezért jelentős mérési pontosság ettől a megoldástól nem várható, valamint az etalonokon végzett mérések egy év múlva sem tértek el szignifikánsan.

A rendszer méréstechnikailag egyik gyenge pontja, hogy a Geiger–Müller csővel nem lehet eldönteni, hogy az ismeretlen szennyeződésből származó béta-sugárzás energiája mekkora, ezért a felhasználónak előre ki kell választani három nuklid közül, hogy melyhez tartozó határfok faktort használja a műszer, rossz nuklid választás esetén a mérés pontossága jelentősen romlik, ennek a problémának a kiküszöbölése lehet egy fejlesztési irány.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Solymosi J, Baumler E, Gresits I, Gujgiczer Á, Németh F, Nagy L Gy, Horváth L, Sarkadi A: Eljárás és kapcsolódási elrendezés radioaktív felületi szennyeződés mérésére. Lajstromszám: 201 162.
- [2] Solymosi J, Zagyvai P, Nagy L Gy: Determination of the radioactive bulk and surface concentration by beta detection I. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 209:(1) pp. 3-14. (1996)
- [3] Solymosi J, Zagyvai P, Nagy L Gy: Determination of the radioactive bulk and surface concentration by beta detection II. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 209:(1) pp. 15-26. (1996)
- [4] Solymosi J, Zagyvai P, Nagy L Gy: Determination of the radioactive bulk and surface concentration by beta detection III. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 209:(1) pp. 27-39. (1996)
- [5] Solymosi J, Baumler E, Nagy L Gy, Gresits I, Gujgiczer Á, Sarkadi A, Kőrösi 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)
- [6] Solymosi J: Nukleáris környezetellenőrző mérőrendszerek: Alkotások leírása 20 p. (1992) Disszertáció/MTA Doktora
- [7] Erdős J, Pintér I, Solymosi J: Magyar ABV védelmi technikai almanach. Budapest: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2003. 285 p.
- [8] Solymosi J, Vincze Á, Bana J: The influence of the April 10, 2003 severe incident on Unit 2 of Paks Nuclear Power Plant on the nuclear safety. Academic and Applied Research in Military Science 3:(5) pp. 767-776. (2004)
- [9] Horváth K, Rónaky J, Solymosi J: Determination of the root cause of the serious incident at Paks NPP on 10 April 2003. Academic and Applied Research in Military Science 4:(3) pp. 481-496. (2005)
- [10] Bujtás T, Nényei Á, Solymosi J: Raditation protection aspects of the accident recovery. Academic and Applied Research in Military Science 5:(4) pp. 557-568. (2006)
- [11] Bujtás T, Solymosi J.: Kiegészítő sugárvédelmi ellenőrző rendszer tervezése és létesítése a paksi atomerőmű 2. blokki 1. számú aknak helyreállításához. HADMÉRNÖK II:(1) Paper 2. (2007)
- [12] Vincze Á, Ranga T, Nagy G, Zsille O, Solymosi J: Environmental impact assessment of radioactive water pipe leakage at NPP Paks. PERIODICA POLYTECHNICA: ELECTRICAL ENGINEERING 53:(2) pp. 87-91. (2009)
- [13] J Csurgai: Nukleárisbaleset-elhárítás és vegyi katasztrófák összefüggésrendszerének tudományos vizsgálata: doktori (PhD) értekezés, Doktori (PhD) értekezés, ZMNE 2003.

- [14] 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.
- [15] Baumler Ede, Németh Ferenc, Erdős Kálmán, Sarkadi András, Gujgiczer Árpád, Illés Zsolt, Nagy László, Pintér István, Solymosi József, Plachtovics György, Szabó Endre: Univerzális radioaktív sugárásmérő műszer és eljárás, valamint rendszertechnikai elrendezés a méréshatárának kiterjesztésére. Lajstromszám: 224 502
- [16] J Solymosi, E Bäumlér, A Sarkadi, Á Gujgiczer, I Pintér, Á Vincze: Wide range universal radiation measuring instrument Academic and Applied Research in Military Science 1:(1) pp. 133-144. (2002)

A pályamű a SOMOS Alapítvány támogatásával készült.