

Retrospektív dozimetria, mint nukleáris törvényszéki vizsgálati módszer

Vajda-Katona Tünde, Kelemen András, Kovács András

MTA Izotópkutató Intézet

1525 Budapest Pf. 77. Tel.: +361 392 2222

A terrorista bűncselekmények veszélyességét jelentősen növelheti, ha terrorszervezetek radioaktív és/vagy nukleáris anyagokhoz juthatnak. Ezért a nukleáris biztosítéki (safeguards) tevékenységnek, és az ehhez kapcsolódó nukleáris törvényszéki vizsgálatoknak (nuclear forensics) fontos eleme olyan módszerek fejlesztése, amelyek segíthetik az illegális nukleárisanyag-forgalom felderítését. Sugárzó anyag tárolása esetén annak környezetében lévő egyes anyagok besugárzottsága alapján még a forrás eltávolítása után is bizonyítható lehet a tárolás ténye retrospektív dozimetriai módszerekkel. Munkánkban bemutatjuk a retrospektív lumineszcens dozimetria nukleáris törvényszéki vizsgálatokra történő alkalmazásának lehetőségét, mely egyike az MTA Izotópkutató Intézet új fejlesztési irányainak.

Bevezetés

Jelen munka célja annak bemutatása, hogyan segítheti a dozimetria a nukleáris törvényszéki vizsgálatokat. Lehetséges-e dozimetriai módszerek alkalmazásával nyomon követni radioaktív és/vagy nukleáris anyagok illegális forgalmát, bizonyítani az illegális tárolás tényét? A felvetett kérdés szorosan kapcsolódik a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) safeguards (nukleáris biztosítéki) rendszerének célkitűzéséhez, amely a nukleáris anyagok békés célra történő felhasználásának biztosítása [1]. A safeguards tevékenységekből fejlődött ki a nukleáris törvényszéki analitika (nuclear forensics), mely olyan módszereket takar, amelyek támogatják a nukleáris törvényszéki eljárások sikerét.

A nukleáris törvényszéki analitika területén napjainkban felmerülő kihívások megoldásához új, még nem alkalmazott technológiákra is szükség van. Ezek lehetnek akár korábban kifejlesztett, de nukleáris törvényszéki analitikai célra eddig nem használt módszerek is. Ilyen kihívás például az illegálisan forgalmazott radioaktív/nukleáris anyagok felkutatása, a forgalmazási útvonalak felderítése, ill. nyomon követése és a lefoglalt radioaktív/nukleáris anyagok jellemzése is. A legtöbb sugárzást detektáló eszköz működése a kibocsátott sugárzás közvetlen (és valós idejű) mérésén alapul, így a forrás eltávolításával egyszerűen elkerülhető annak detektálása. A retrospektív (utólagos) dozimetria azonban lehetővé teszi, hogy a radioaktív anyag tárolásának tényét annak eltávolítása után is bizonyítsuk.

A nukleáris anyagok illegális forgalmazásának felderítése és az anyagok jellemzése nagyon széles területen kíván meg fejlesztéseket. Az MTA Izotópkutató Intézet (IKI) safeguards témájú kutatásai az 1970-es években kezdődtek. Főbb témák voltak például a PA ZRt kiégett fűtőanyagainak ellenőrzése és azonosítása víz alatti teleszkópos módszerrel; a NAÜ ellenőrök munkájának segítése például SFAT (Spent Fuel Attribute Tester) módszer kifejlesztésével a PA ZRt kiégett fűtőanyagainak verifikálására; új módszerek kidolgozása safeguards célú alkalmazásokhoz például Pu-Be források Pu tartalmának mennyiségi meghatározása neutron detektáláson alapuló módszerekkel. Ezekben a *safeguards* célú kutatásokban illetve a nukleáris anyagok verifikálásának alapvető módszereként az IKI-ben a gamma-spektrometria került alkalmazásra. Más típusú mérési módszerek különleges szükségletek miatt, vagy a nukleáris fizikai és kémiai alaputatások melléktermékeként kerültek kifejlesztésre.

A kilencvenes évek közepétől kormányrendelet jelöli ki az MTA IKI-t az ismeretlen eredetű (illegális forgalomban lefoglalt vagy talált) nukleáris anyagok vizsgálatára, az anyag eredetének meghatározása céljából. Az MTA IKI kutatói számos módszert dolgoztak ki az eltelt idő alatt végzett ezirányú K+F tevékenység során. Az illegális nukleárisanyag-forgalom felderítésének segítése céljából, a radioaktív/nukleáris anyagok tároló helyeinek azonosítására az újabb fejlesztési irányok között kapott helyet a retrospektív dozimetriai módszer alkalmazása és fejlesztése [2]. A lumineszcens retrospektív dozimetria segítségével lehetőség nyílik a szerkezeti vagy építőanyagok besugárzottsága alapján a radioaktív anyag jelenlétének kimutatására,

az anyag eltávolítása után. Ez a kutatási terület egyike a NAÜ által is támogatott fejlesztési irányoknak [3]. A módszer alkalmazásának sarokkövét jelentő háttérdózis (ld. később) meghatározáshoz az IKI Sugárbiztonsági Osztályán működő gamma-spektrometriai csoport és az extrém kis mennyiségű izotópok analitikai kimutatására is képes induktív csatolású plazma tömegspektrometriai (ICP-MS) labor is rendelkezésre áll.

A retrospektív dozimetria

A retrospektív dozimetria feladata az elnyelt dózis utólagos meghatározása olyan esetekben, amikor annak mérését előzetesen nem tervezték, és így mérőkészülékek adatai nem állnak rendelkezésre. A szakirodalomban – napjainkig – alapvetően két területet soroltak a retrospektív dozimetria tárgykörébe: a régészeti és geológiai kormeghatározást, valamint a baleseti dozimetriát. A feladat és az alkalmazott eljárások hasonlósága miatt ide sorolható még az élelmiszerek besugárzottságának ellenőrzése valamint a régészeti eredetiség vizsgálat is. A kormeghatározás során az a cél, hogy természetes anyagokban megmérjék a környezetben természetes módon jelen lévő radionuklidoktól származó elnyelt (háttér)dózist. Az általában kis intenzitású ionizáló sugárzás forrása az anyagban fellelhető radioaktív elemek (általában az urán- és a tórium sor tagjai és a ^{40}K) bomlása. Ezen felül, általában kis hányaddal a kozmikus sugárzás is hozzájárul a dózishoz. Ha a vizsgált minta helyén a dózisteljesítmény ismert, vagy független méréssel meghatározható, akkor – feltételezve, hogy ez időben nem változott – az elnyelt dózishoz a kor meghatározható. A baleseti dozimetria feladata a radioaktív- vagy nukleáris baleset következtében elnyelt dózis feltárása. A balesetből származó dózis hozzáadódik a háttér-dózishoz, vagyis a minta korától származó dózishoz. Az eredetiségvizsgálat is a kor meghatározásán alapul, de ilyen esetekben nem cél a tárgy pontos korának meghatározása; a besugárzottság vizsgálatánál pedig arra kell választ adni, kapott-e az anyag a természetes háttérsugárzáson felül besugárzást. A fent leírt feladatok megoldása során alkalmazott mérési technikák alapvetően megegyeznek.

Az utólagos dozimetriai módszerek alapulhatnak például dózis modellezésen; emberi szövetekben akkumulálódott dózis közvetlen mérésén (elektron paramágneses rezonanciával a fogzománcban vagy a vér limfocitáinak kromoszóma elemzésével); illetve lumineszcenciás módszerek alkalmazásán. Ez utóbbiak, azaz a lumineszcencia mérésén (termolumineszcencián, TL és optikailag stimulált lumineszcencián, OSL) alapuló szilárd-fázisú dozimetriai módszerek különösen alkalmasak utólagos dozimetriai célra, mert az integrált elnyelt dózist határozhatjuk meg velük. Külső eredetű sugárzás esetén a sugárzásnak kitett területen a helyi épületekben talált anyagokat, pl. téglát, cserépet, csempe vagy agyagedényt fel lehet használni „doziméterként”, mert tartalmaznak lumineszcencia anyagként viselkedő ásványokat. Így a lumineszcencián alapuló módszerek segítségével képesek lehetünk dózis-adatokat szolgáltatni olyan helyeken is, ahol sugármérő eszközök nem voltak telepítve. Sok olyan, a környezetben mindenütt előforduló

anyag (például ásvány) van, amelyekben a kristályrács hibahelyei elektron csapdaként viselkednek. Az elektronok ezekben a csapdáknak maradnak azután is, ha a forrást már eltávolították, és csak valamilyen energiaközlés (hő, fény, stb.) hatására, fény kibocsátása (lumineszcencia) mellett kerülnek ki a csapdából. (Ennek a kibocsátott fény mennyiségnek a mérésével bizonyítható egy radioaktív forrás korábbi jelenléte.) A sugárzás hatására bekövetkezett töltés tárolás és az ezt követő energiaközlés hatására történő fénykibocsátás az alapja a termolumineszcenciának (TL) és az optikailag stimulált lumineszcenciának (OSL), a kettő között a különbség csupán a kiértékeléskor alkalmazott gerjesztés módja: hő illetve fény. Ezzel a módszerrel tehát egy, a múltban adott helyen lévő dózisteret lehet rekonstruálni, azaz retrospektív dozimetriát alkalmazni. [4]

Az OSL és TL alkalmazása – besugárzott szerkezeti vagy építőanyagokon – nukleáris törvényszéki vizsgálati módszerként új ötlet [5]. A közönséges, mindennapos anyagok OSL, TL anyagként való alkalmazása önmagában nem könnyű. Egyszerűsíti viszont a feladatot, hogy nukleáris törvényszéki célra nincs igény a dózis pontos meghatározására. Valójában elég azt eldönteni, hogy egy anyag radioaktív forrás közelében volt-e vagy sem, vagyis azt, hogy az OSL vagy TL jel szignifikánsan meghaladja-e a természetes háttérsugárzásból adódó jelet. Az, hogy csak ilyen típusú differenciálásra van szükség, jelentősen csökkenti a különböző minta-anyagokból adódó eltérésekből származó kiértékelési nehézségeket, kalibrációs problémákat. Továbbá az is alátámasztja ezt az egyszerűsítő megközelítést, hogy a valódi veszélyt jelentő radioaktív források általában nagy aktivitásúak, ennél fogva a besugárzott környezeti anyagban elnyelt dózis jóval meghaladja a természetes háttérsugárzás által keltett jelet. Különösen szakszerűtlen, elégtelen csomagolás, nagy aktivitás vagy hosszabb ideig tartó tárolás esetén biztosra vehető, hogy TL vagy OSL dozimetriai módszerekkel bizonyíthatóvá válik a sugárzó anyag előzetes jelenléte. A retrospektív dozimetriát éppen ezért ígéretes módszernek tartjuk a sugárzó anyag nyomon követésére.

Az MTA IKI Sugárbiztonsági Osztályán évtizedek óta folynak dozimetriai rutinmérések. A mindennapos tevékenységhez mindig kapcsolódott elméleti és kísérleti kutatómunka is az alapjelenségek vizsgálatától az anyagfejlesztésen keresztül a módszerfejlesztésig. Több mint egy évtizeden keresztül folyt osztályunkon a kitzűzött feladattal rokon, azzal együtt a retrospektív (utólagos) dozimetria tárgykörébe tartozó termolumineszcencia (TL) kormeghatározás. Laborunk TL technikával kielégítően felszerelt, ahol tapasztalt kutatók végzik a munkát. Amellett tehát, hogy van igény, lehetőségünk is van arra, hogy retrospektív dozimetriai módszert fejlesszünk ki az illegálisan tárolt radioaktív/nukleáris anyagok korábbi feltételezett tárolási helyének bizonyítására, nukleáris törvényszéki eljárások kiegészítő módszereként.

A továbbiakban a TL/OSL dozimetriai módszer alkalmazásának alapjai kerülnek bemutatásra.

A lumineszcens dozimetria elve

A stimulált lumineszcencia (TL, OSL) mérésén alapuló dozimetria azon a megfigyelésen alapul, hogy a minta által elnyelt dózis és a lumineszcens válasz (a kibocsátott fény mennyisége) között – minta anyagtól függően – bizonyos dózistartományban arányosság áll fenn. A minta besugárzotttsága egyrészt a természetes háttérsugárzásból, másrészt szándékos (vagy nem szándékos) ember-készítette forrásokkal történő besugárzásból tevődik össze.

A dózis meghatározása a besugárzott minta által kibocsátott fény mennyiség egészének vagy egy-egy meghatározott részének megmérésén alapul. TL esetén ez a kibocsátott fény gerjesztés hőmérsékletének függvényében felvett kifizési görbéje alatti területnek a háttértől megtisztított meghatározását jelenti. OSL esetén úgyszintén a fénygerjesztés hatására képződő, időben csökkenő impulzusokból álló görbe alatti terület meghatározása a feladat. A lumineszcencia hozamhoz rendelhető dózisérték kiszámítása rutinszerűen kalibráción alapul.

Közvetlen dozimetria esetén először kalibrált dózisteljesítményű besugárzó segítségével felvesszük az doziméter kalibrációs görbéjét. Azután a lenullázott dózismérőt elhelyezzük a mérendő helyen. Kiértékeléskor a megmért lumineszcencia fény mennyiségéből a kalibráció alapján megállapítjuk a dózist. Utólagos dozimetria esetén a sorrend természetesen megfordul. Először kiolvassuk a mintát, majd elvégezzük a kalibrációt, ügyelve természetesen arra, hogy a „természetes dózismérő” eredeti tulajdonságai ne változzanak meg. A kalibrációs görbe segítségével azután, figyelembe véve a minta egyéb tulajdonságait (például „fading” azaz dózis-felejtés), meghatározzuk a dózist. [6]

A elnyelt dózis meghatározása

A radioaktív/nukleáris anyag illegális tárolásából adódó besugárzást követően a közelben előforduló építőanyagokban (mint téglá) a háttérdózison felüli járulékos dózis keletkezik. A retrospektív dozimetriai vizsgálatok célja ennek az elnyelt dózisonak a minél pontosabb meghatározása. Ehhez az szükséges, hogy a természetes eredetű háttérdózist és az épület korát meghatározzuk akár dokumentált információból, akár már mérésekkel, hogy a teljes dózison ezeket kivonva megkapjuk a kérdéses elnyelt dózist. Mivel a háttérdózis a hiba legnagyobb forrása a növekményt jelentő dózis becslése során, ezért fontos, hogy ezt a háttér komponens pontosan meghatározzuk.

Az építőanyagban lévő természetes nuklidok bomlása miatti dózis elérheti az 5 mGy/év-et. Ez a háttérdózis a teljes elnyelt dózis tekintélyes része lehet, ha régi az épület, ahonnan a téglát gyűjtötték. Az alapanyagban lévő, „belső” nuklidoktól származó éves dózist különféle módon lehet meghatározni, például gamma-spektrometriával [7], béta-számlálással [8]. A kozmikus sugárzás járulékát pedig számításokkal is meg lehet határozni, amihez a fedőréteg vastagsága, továbbá a kérdéses hely földrajzi szélességének és hosszúságának ismerete szükséges [9].

A teljes elnyelt dózis (D_e) tehát két részből tevődik össze:

– a háttérdózisból, ami a vizsgált építőanyag (jellemzően téglá) előállításától kezdődött fel az alapanyagban és a környező anyagokban lévő természetes radionuklidok bomlása és a kozmikus sugárzás hatására, és

– abból a dózison, amelyet a külső besugárzás (például adott helyen tárolt, vagy baleset következtében kiszóródott radioaktív/nukleáris sugárzó anyag) okozott. Ez utóbbi az ásvány teljes elnyelt dózisa és a természetes háttérdózis különbsége. A D_e teljes elnyelt dózis tehát kifejezhető a következőképpen:

$$D_e = D_{sf} + t(\dot{D}_\alpha + \dot{D}_\beta + \dot{D}_\gamma + \dot{D}_c) \quad (1)$$

ahol

D_{sf} : a külső, sugárforrástól származó elnyelt γ -dózis,

t : a minta előállításától óta eltelt idő években,

$\dot{D}_\alpha, \dot{D}_\beta, \dot{D}_\gamma, \dot{D}_c$: a természetes radioaktív forrásokból adódó éves α -, β -, γ - és kozmikus dózisteljesítmény járulékok.

A retrospektív dozimetriára leginkább alkalmas OSL és TL anyagok

A következőkben retrospektív dozimetriai célra alkalmas anyagok kerülnek bemutatásra, szakirodalom alapján.

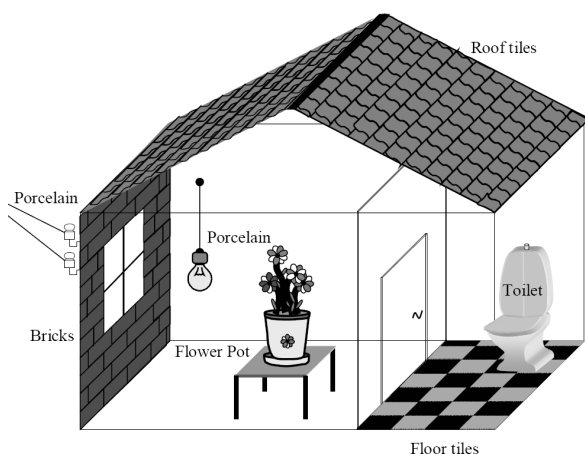
Retrospektív dozimetriai célra jól használhatóak a háztartásokban és környékükön megtalálható különböző kerámiafajták és kiégetett anyagok, például a téglá, csempe, cserép, beltéri járólap, porcelán berendezések (pl. szaniter áru), kültéri berendezések, kellekek például lámpatartók, porcelán elektromos vezeték szigetelői, stb. Ilyen anyagokat számos helyen találhatunk, amelyekkel lehetővé válik mind a külső tér, mind az épület vizsgálata. A téglából készült házak esetében sokféle anyagból lehet választani, mert kerámia jellegű anyag a fal egész mélységén keresztül található. A kerámia anyagok 10 mGy szintű dózison mérésére is alkalmasak [10].

Építőanyagokkal kapcsolatos retrospektív dozimetria során a legtöbb kísérlet kiégetett anyagokkal végezték, mint amilyen a téglá vagy a kerámia-csempe. (Ez azért fontos, mert a kiégetés során a téglá alapanyagának addig begyűjtött dózisa „törlődik”.) Kiégetetlen anyagok, mint a beton vagy a habarcs (malter) sokkal szélesebb körben használatosak irodaépületekben vagy ipari környezetben, de sajnos nem lehet róluk azt mondani, hogy elhanyagolható dózison tartalmaznak a beépítés idején, ellentétben például a téglával.

Az építőanyagokhoz használt homokot geológiai lerakódásból nyerik ki, amely néhány esetben akár 100 Gy-nél is nagyobb természetes dózison tárolhat a lerakódás korától függően. A homok egy része viszont fénynek van kitéve a kinyerés és a használat során, mely miatt szintén törlődik a dózis-információ. Ennek eredményeképpen a modern habarcsból vagy betontól kivont kvarc-szemcsék gyakran széles dózis-eloszlást mutatnak.

A porcelán a retrospektív dozimetriában potenciálisan nagyon fontos anyag, mert széles körben elterjedt a háztartásokban és az ipari környezetben. Habár a porcelán előállításához elsősorban kvarcot, földpátot és kaolint használnak nyersanyagként, Al_2O_3 -ot gyakran adnak hozzá adalékanyagként, ami nagyon érzékeny OSL és TL doziméter anyag. A porcelán bármelyik potenciális doziméterként használható összetevőjének érzékenysége viszont erősen függ a gyártási körülményektől (kiegészési hőmérséklet, atmoszféra, stb.) és a kiindulási anyag pontos összetételétől.

Van számos olyan kristályos anyag a háztartásokban és az ipari környezetben, amelyek szintén retrospektív doziméterként viselkedhetnek. Többen [11, 12] vizsgálták a háztartási sót (NaCl), amely a legkézenfekvőbb ilyen anyag. Emellett vizsgálták például a mosópor, mosogató por, vízlágyító OSL tulajdonságait [13]. Ezeket a vegyszereket gyakran fényzáró csomagolásban tartják, és valószínűsíthetően napjainkban gyártották, amely behatárolja a háttérdozist. Thomsen [14] vizsgálta ezen anyagok jelének stabilitását 24 órán és két héten keresztül, illetve az érzékenység-változást kontrollálta a tárolás előtt és után egy kisebb teszt dózist követő OSL válasz mérésével, így meggyőződve arról, hogy tárolás alatt bekövetkezett bármilyen jelvesztés nem az érzékenység változás által mesterségesen előidézett változás. Az eredményei szerint a legtöbb vizsgált anyagnál elhanyagolható volt a fading (jel-felejtés) a két hetes időtartam alatt. Az átlagos legkisebb detektálási küszöbdózis számos háztartási és munkahelyi vegyszer vizsgálata alapján 10 mGy nagyságrendű volt.



1. ábra: Utólagos (retrospektív) dózis meghatározásra alkalmas, mindennapi anyagok: szigetelő porcelán, téglák, virágcserep, tetőcserep, fajansz WC-csésze

Egy kanadai kutatócsoport az olyan hétköznapi anyagok széles skálájának OSL tulajdonságait vizsgálta, amelyek a törvény-végrehajtó együttműködő partnereik szerint relevánsak törvényszéki vizsgálatokhoz. Kontroll anyagként ismert TL anyagok szolgálták: $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$, LiF:Ti , LiF:Cu,Mg,P , $\text{CaF}_2\text{:Mn}$, $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Mn}$. A minta anyagok közönséges építőanyagokból származtak, mint téglák, beton, gránit, festék, cédrus, tetőszerkezet, murva, habarcs nélküli falazat, illetve egyéb mindennapos háztartási anyagok

voltak, mint só, mosószer, cukor és homok. Habár csak a vizsgált anyagok kevesebb, mint fele mutatott detektálható OSL jelet nagy dózissal történő besugárzás után (~50 Gy), sok közülük releváns anyag törvényszéki vizsgálatokhoz. Például az olyan anyagok, mint a téglák, beton, cement vagy homok valószínűleg előfordulnak olyan épületekben, melyekben tiltott forrást rejtegethetnek. Abban az esetben pl. ha egy 37 GBq aktivitású ^{60}Co -forrást tárolnak, az 1 Gy/h levegőben elnyelt dózisteljesítményt ad, 10 cm-re, árnyékolás nélkül. Ebből következően 50 Gy dózissal nem nehéz a nyomára bukkanni a környező anyagokban. (Természetesen egy „életszerű” esetben a tároló konténer árnyékolási tulajdonsága meghatározó.) A bizonyítási eljárásnak elsődleges feladata ilyen esetekben a helyszíni TL/OSL-emittáló anyagok azonosítása, majd kiértékelése.

A kanadai kutatócsoport további terve a vizsgált anyagok OSL jel fading (jel-felejtési) tulajdonságának vizsgálata. Az várható, hogy a legtöbb köznapis anyag nem tárolja hosszú ideig (több évig) a töltéseket, ezért fontos, hogy megbecsüljék a tárolás „felezési idejét” a legfontosabb törvényszéki vizsgálatok során előforduló anyagok esetében. Előzetes eredményeik szerint a só és a homok hosszú (több hónapos) tárolási felezési idővel rendelkezik, bár a homok jelének változékonysága megnehezíti a felezési idő meghatározását.

Az eddig felsoroltakon kívül további potenciális anyagok felkutatása is folyamatban van, például az elektronikai eszközök között. Bár a legtöbb elektronikai eszköz működése manapság tiszta szilícium szennyezőn alapul, számos egyéb szennyezőt is használnak különféle alkalmazási területeken. Godfrey-Smith [15] a Cree Inc. által gyártott szilícium-karbid egykristály dózis-válasz tulajdonságait vizsgálta, amelyet széles körben használnak szennyezőként és félvezetőként nagyfrekvenciás, nagy teljesítményű és magas hőmérsékletű elektronikai eszközökben éppúgy, mint rövidhullámú, sugárálló opto-elektronikai eszközökben.

A szakirodalomban találunk eredményeket a retrospektív dozimetria nukleáris törvényszéki alkalmazásának megalapozásával kapcsolatban. Botter-Jensen [16] közölt eredményt egy kísérletről, melyben a mintát egy olyan épület kiegészítő anyagból készült falából vették, ahol alacsony aktivitású radioaktív hulladékot tároltak, köztük ^{60}Co és ^{137}Cs forrásokat. A falmintából meghatározott átlagdózis jó egyezést mutatott a mellette fekvő téglából kivont kvarc OSL méréssel meghatározott dózissal, illetve egy független TL doziméter mérési eredményeivel. Jain és Botter-Jensen [17] pedig sikeresen mérték a dózis-eloszlást egy radioaktív hulladékot tároló külső falából vett habarcs-minta keresztmetszetéből kivont kvarc szemcséken.

Összefoglalás

Bemutattuk, hogy TL és OSL retrospektív dozimetriai módszerek alkalmazásával lehetséges bizonyítani a radioaktív és/vagy nukleáris anyagok illegális tárolásának tényét, nyomon követni az illegális forgalmat a nukleáris törvényszéki vizsgálatok alátámasztása érdekében. Ennek alapja, hogy a környezetben megtalálható tárgyak tartalmaznak olyan összetevőket, amelyek természetes

dózmérőként viselkednek, így (különösen szakszerűtlen, elégtelen csomagolás, nagy aktivitás vagy hosszabb ideig tartó tárolás esetén) biztosra vehető, hogy dozimetriai eszközökkel bizonyíthatóvá válik sugárzó anyag előzetes jelenléte, még a forrás eltávolítása után is. Összefoglaltuk szakirodalom alapján a nukleáris törvényszéki vizsgálatokhoz potenciálisan szóba jövő, retrospektív dozimetriai célra alkalmas anyagokat és bemutatott gyakorlati alkalmazási lehetőségeket.

Az irodalmi áttekintés alapján az IKI Sugárbiztonsági Osztályán az újabb fejlesztési irányok között helyet kapott az illegális nukleárisanyag-forgalom felderítésének segítése céljából a retrospektív dozimetriai módszer alkalmazása és fejlesztése. Lépéseket tettünk – a rutinszerűen alkalmazott TL mérés technika mellett – az OSL módszer meghonosítására is. E két módszer párhuzamos alkalmazásával intézetünk alkalmassá válik az irodalomban

leírt eredmények honi megismétlésére, és ezen túlmenően további természetes és mesterséges, az emberi környezetben fellelhető lehetséges doziméter anyagok keresésére és vizsgálatára. A módszer alkalmazásának sarokkövét jelentő háttér dózis meghatározáshoz az IKI Sugárbiztonsági Osztályán működő gamma-spektrometriai csoport és az extrém kis mennyiségű izotópok analitikai kimutatására is képes induktív csatolású plazma tömegspektrometriai (ICP-MS) labor is rendelkezésre áll.

A fentiekben leírt eljárások kidolgozásával és bevezetésével, reményeink szerint, egy új módszer áll majd rendelkezésre az esetleges nukleáris törvényszéki vizsgálatok támogatásához. Emellett a retrospektív dozimetriai technika alkalmazása megfelelő, jól jellemezhető környezeti anyagok kiválasztása esetén egyúttal lehetővé teszi az egyéb okból (például baleset) bekövetkezett besugárzottságnak nem csupán a megállapítását, de az utólagos dózisbecslését is.

Irodalomjegyzék

- [1] *The Safeguards System of the International Atomic Energy Agency*, http://www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/safeg_system.pdf (09.08.07.)
- [2] Stefánka Zs., Zsigrai J.: *Safeguards célú műszaki megalapozó tevékenység helyzete és javasolt irányai*, OAH számára készült tanulmány, 2007.
- [3] Whichello J., N. Khlebnikov, D. Parise: *Novel technologies for the detection of undeclared nuclear activities*, IAEA-CN-148/32, Vienna, 2007.
- [4] Botter-Jensen L., S. W. S. McKeever, A. G. Wintle: *Optically stimulated luminescence dosimetry*, Elsevier, 2003.
- [5] Larsson C., V. Koslowsky, H. Gao, S. Khanna, D. Estan: *Optically stimulated luminescence in forensics*, *Applied Radiation and Isotopes*, 2005, 63, (5-6) 689-695.
- [6] Aitken, M. J. *Thermoluminescence Dating*. Academic Press, London, 1985.
- [7] Murray, A.S., Marten R., Johnston A., & Martin P. *Analysis for naturally occurring radionuclides at environmental levels by gamma spectrometry*. *Journal of Radiation & Nuclear Chemistry*, 1987, 115, 263-288.
- [8] Botter-Jensen L. and Mejdaahl V. *Determination of potassium in feldspars by beta counting using a GM multiscaler system*. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 1985, 10, 663-666.
- [9] Prescott JR and Hutton JT *Cosmic ray and gamma ray dosimetry for TL and ESR*. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 1988, 14, 223-227.
- [10] Bailiff, I. K. *Retrospective dosimetry with ceramics*. *Radiation Measurements*, 1997, 27, 923-941.
- [11] Bayley R. M. *Circumventing possible inaccuracies of the single aliquot regeneration method for the optical dating of quartz*, *Radiation Measurements*, 2000, 32, 5, 833-840.
- [12] Bulur, E., Botter-Jensen, L., and Murray, A. S. *LM-OSL signals from some insulators: an analysis of the dependency of the detrapping probability on stimulation light intensity*. *Radiation Measurements*, 2001, 33, 715-719.
- [13] Thomsen, K. J., Botter-Jensen, L., Murray, A. S., Solongo, S. *Retrospective dosimetry using unheated quartz: a feasibility study*. *Radiation Protection Dosimetry*, 2002, 101, 345-348.
- [14] Thomsen, K. J., Botter-Jensen, L., Murray, A.S. *Household and workplace chemicals as retrospective luminescence dosimeters*. *Radiat. Prot. Dosim.*, 2002, 101, 515-518.
- [15] Godfrey-Smith *Applicability of moissanite, a monocrySTALLINE form of silicon carbide, to retrospective and forensic dosimetry*, *Radiat. Meas.* 2006, 41, 976-981.
- [16] Botter-Jensen, L.. *Development of optically stimulated luminescence techniques using natural minerals and ceramics, and their application to retrospective dosimetry*. Riso-R-1211, (DSc. Thesis) 2000.
- [17] Jain, M., Botter-Jensen, L., Murray, A. S., and Jungner, H. *Retrospective dosimetry: Dose evaluation using unheated and heated quartz from a radioactive waste storage building*. *Radiation Protection Dosimetry*, 2002, 101, 525-530.