

Alfa-sugárzóval elkövetett „piszkos bomba” támadás következményei és azok felszámolása¹

Molnár Kolos*¹, Vincze Árpád², Solymosi József³

¹Európai Bizottság Energia és Közlekedési Főigazgatóság, Nukleáris Biztosítéki Igazgatóság, Luxemburg

²Országos Atomenergia Hivatal, Budapest

³Zrinyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest

Abstract

In a former article of us the demolition effects of a “dirty bomb” explosion with some alpha-emitter (Po-210) were detailed described. [1] The alpha-emitter means multiple problems due to the superposition of its toxicity and internal dose effects in case of incorporation and in case of external contamination the challenges of decontamination, the validation of its success (verification) and the implementation of the further necessary measures. Our aim is to present the difficulties in the elimination of the consequences especially in terms of detection, monitoring and remediation. Hopefully, our results will help the better preparedness for the efficient response.

Keywords: Dirty bomb, alpha-emitters, Po-210, detection, monitoring, remediation

Kivonat

Egy korábbi cikkünkben már részletesen foglalkoztunk valamely alfa-sugárzóval (Po-210) elkövetett „piszkos bomba” támadás pusztító hatásaival. [1] Az alfa-emitterek többszörös problémát jelentenek, mivel inkorporációjuk esetén a toxicitás és a belső sugárterhelés szuperponálódik, kontamináció esetén pedig a dekontamináció, illetve ennek eredményességének validálása, valamint az esetleg szükséges további intézkedések megtétele eredményezi a kihívásokat. Jelen írásunkban a következmények felszámolásának nehézségeit igyekszünk bemutatni: elsősorban a kimutatás, felderítés és mentesítés tekintetében. Reményeink szerint a cikkünkben leírtak segíthetik a minél eredményesebb felkészülést a hatékony válaszadásra.

Kulcsszavak: Piszkos bomba, alfa-sugárzók, Po-210, észlelés, felderítés, mentesítés

I. BEVEZETÉS

Ma már senki sem kérdőjelezi meg, hogy a piszkos bomba nem csak fantazmagória, hanem egy létező fenyegetés, melynek előállítására és megszerzésére komoly erőfeszítéseket tesznek bizonyos csoportok és szervezetek. [2] Természetesen hatásait tekintve nem hasonlítható egy nukleáris fegyverhez, viszont alkalmazásának rendkívül súlyos következményei lehetnek. Még a legoptimistább feltételezések is egy radiológiai balesettel egyenértékűnek tekintik, ha azonban figyelembe vesszük, hogy felrobbantását nem szerencsétlen körülmények összjátéka, hanem szándékos, rosszindulatú emberi tevékenység okozza, akkor biztosak lehetünk benne, hogy az elkövetők igyekeznek a hatásokat maximalizálni, tehát adott mennyiségű radioaktív anyag mellett a lehető legtöbb és legsúlyosabb áldozatot szedni. Ez pedig lényeges különbség egy radiológiai balesethez képest.

Biztosra vehető, hogy bevetésének primer hatásain túl (közvetlen áldozatok, gyógykezelés, mentesítés és helyreállítás stb.), igen lényegesek a szekunder hatások melyek közül a gazdasági, társadalmi és lélektani hatásokat szokás kiemelni. [3] Ezért tekintik széles körben a piszkos bombát pánikkeltő, pusztító hatású, romboló fegyvernek. [4] Eddigi kutatásaink során számos bizonyítékát találtuk, hogy a piszkos bomba egy megfelelően választott töltet segítségével (pl. alfa-emitterek) igen sok rokonságot mutathat a vegyi fegyverekkel sőt, bizonyos tekintetben még a biológiai fegyverek jellegzetességeit is hordozhatja. Ezek pedig egyértelműen tömegpusztító fegyverek. [1] Ezért tartjuk nagyon fontosnak, hogy a tömegpusztító fegyverek korábbi NATO terminológiája (NBC – nuclear, biological and chemical) is bővült a radiológia fegyver fogalmával (NBCR). [5] Cikkünkben tehát részletesen vizsgáljuk egy alfa-

¹ Jelen írásban a szerzők saját tudományos kutatásaikat és véleményüket összegzik, az nem tekinthető az Európai Bizottság, az Országos Atomenergia Hivatal, illetve a Zrinyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem hivatalos állásfoglalásának.

*- Kolos.MOLNAR@ec.europa.eu

emitter töltetű piszkos bombával elkövetett merénylet lehetséges következményeit, illetve a következmények felszámolásának lehetőségeit.

II. ALFA-EMITTEREK

Azokat a radioaktív anyagokat, melyek alfa-bomlással, tehát alfa-részecske (He^{2+} , vagyis hélium atommag, mely 2 protonból és 2 neutronból áll) kibocsátással alakulnak át egy másik izotópba alfa-sugárzóknak nevezzük. A radioaktív bomlásoknak ez a fajtája különösen a nagy tömegszámú elemekre ($A > 140$, $Z > 59$) jellemző. Legtöbbjük az un. ritka földfémek (lantinidák, aktinidák) közé tartozik. Az alfa-bomlást követően többnyire még mindig gerjesztett állapotban lévő atommag gamma-sugárzás kibocsátásával tér vissza az alapállapotba, a tiszta alfa-sugárzó izotópok meglehetősen ritkák. Az alfa-részecskék monoenergetikusak, energiájuk 1,83 MeV (Nd-144) és 11,65 MeV (Po-212m) közötti, színpük vonalas és karakterisztikus. [6] Az alfa-sugárzás a levegőben néhány cm-es úton lefékeződik, energiája disszipálódik és elektronok befogásával ártalmatlan héliummá alakul, tehát a külső sugárterhelés szempontjából elhanyagolható. Az élő szervezetbe kerülve ennek a nagy energiájú korpuszkuláris sugárzásnak, rendkívül erős ionizáló képességénél fogva² súlyos élettani következményei lehetnek. Az alfa-sugárzók mindegyike toxikus, nemcsak kémiai viselkedésük miatt (sok közöttük a nehézfém), hanem inkorporációjuk esetén a kibocsátott sugárzás szövetkárosító hatása okán is. A veszélyt tovább fokozza, hogy elég közönségesek a vízben viszonylag jól oldódó vegyületeik. Ráadásul számos alfa-emitter eléggé könnyen hozzáférhető, meglehetősen gyakran használt, vagy korábban elterjedt volt. (1. táblázat)

1. táblázat: Gyakoribb alfa-sugárzók

| izotóp | felezési idő/év | energia/keV ³ | toxicitás | vegyületek | mentességi aktivitás [Bq] | mentességi aktivitás koncentráció [Bqg ⁻¹] |
|---------------|-----------------|--------------------------|-------------|---|---------------------------|--|
| Po-210 | 0,378 | 5 304 | nagyon erős | halogenid, oxid, hidrid | 10 000 | 10 |
| Ra-226 | 1 603 | 4 785 | nagyon erős | halogenid, oxid | 10 000 | 10 |
| U-235 | 700 millió | 4 398 | gyenge | halogenid, oxid, nitrát, karbonát, | 10 000 | 10 |
| U-238 | 4,5 milliárd | 4 198 | gyenge | hidrid, nitrid, karbid | 10 000 | 10 |
| Pu-239 | 24 110 | 5 157 | nagyon erős | halogenid, oxid, hidroxid, nitrát, karbonát | 10 000 | 1 |
| Am-241 | 432,6 | 5 486 | nagyon erős | halogenid, oxid, nitrát, karbonát, hidroxid | 10 000 | 1 |
| Cm-244 | 18,1 | 5 805 | nagyon erős | halogenid, oxid | 10 000 | 10 |

² A fajlagos ionizáló képessége a béta-, röntgen- és gamma-sugárzásokénak mintegy 20-szorosa, a neutron-sugárzásnak pedig 4-5-szöröse.

³ Különböző energiájú alfa-részecskék kibocsátása esetén a leggyakoribb energiáját közöljük.

Az alfa-sugárzók másik nagy „előnye” abban az esetben, ha piszkos bomba töltetként kívánják felhasználni, hogy a megelőzés esélye – a piszkos bomba idejében történő felfedezése és hatástalanítása még a robbantás előtt – meglehetősen korlátozott. Ha a választott forrás tisztán alfa-sugárzó, akkor azt viszonylag könnyű elrejtetni a detektorok elöl, mivel a kibocsátott sugárzást már maga a bomba tokozása, csomagolása teljesen leárnyékolja és elnyeli. Ezért lehet nagyon vonzó anyag egy effajta merényletben a polónium-210 (Po-210), hiszen átlagosan csak minden százszázadik bomlás során bocsát ki egy 803 keV energiájú gamma fotont. [7] Az anyag végzetes hatásának szörnyű bizonyítékát szolgáltatta a 2006. novemberi Litvinyenko-gyilkosság. A Po-210 bár meglehetősen drága, hiszen 18,5 MBq (0,5 mCi) anyag ára 36 – 71\$ (pl. különféle statikus elektromosság mentesítő eszközökben), de a halálos dózis 10%-a akár az interneten (Amazon.com) is megvásárolható. Ráadásul jelenleg a halálos dózis mintegy 5000-szerese, 592 GBq (16 Ci) vásárolható regisztráció nélkül, és még a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) ajánlása is csak a tizedére kívánja csökkenteni ezt a korlátot. A merényletben felhasznált, feltételezett 1 – 3 GBq mennyiség ára tehát 2 és 12 ezer dollár közé eshet. A világ éves Po-210 termelése mintegy 100g (450 ezer Ci), mely jórészt az orosz RBMK reaktorokból származik. [8] Persze arról sem szabad megfeledkezni, hogy az elkövetők nem csak legális forrásokból szerezhetik be a radioaktív izotópokat: a NAÜ radioaktív és nukleáris anyagok illegális kereskedelmével és csempészésével foglalkozó adatbázisában 2004 óta 520 esetet rögzítettek a tagállamok jelentései alapján, és ezek közül 14-ben szerepelt Po-210. A 14 esetből 3 történt 2006-ban. [9]

III. ALFA-SUGÁRZÓ TÖLTETŰ PISZKOS BOMBA TÁMADÁS KÖVETKEZMÉNYEI

Kontamináció

A kontamináció, vagyis a felületek szennyeződése radioaktív izotóppal, mindenképpen megtörténik, miután a piszkos bomba működésbe lép. A kontamináció mértékét, kiterjedését számos paraméter határozza meg: elsősorban a töltet nagysága (mekkora a sugárzó anyag aktivitása), fizikai és kémiai formája, a robbantás paraméterei (robbanóanyag fajtája és mennyisége, a bomba konstrukciója), valamint a környezet (terepartományok, természeti környezet, domborzat), emellett szabadterén a légmozgások, az időjárás (szélsebesség, páratartalom, csapadék stb.) is befolyásolóak lehetnek. A robbantást követően a radioaktív izotóp útja különféle terjedési modellekkel számolható, bár a kontamináció valós értéke csak helyszíni mérésekkel állapítható meg.

Amennyiben a töltet tisztán alfa-sugárzó (pl. Po-210) akkor az alfa-sugárzás fizikai jellemzői miatt maga a kontamináció nem okoz külső sugárterhelést. Veszélyét az jelenti, hogy mivel nem rögzített a felületen, ezért könnyen szétterjedhet: a sérültek illetve a mentőegységek igen könnyen szennyeződhetnek, majd a szennyeződéssel megfelelő felderítés és mentés hiányában más helyszíneket és személyeket is elszennyezhetnek. A nem fixált kontamináció másik nagy problémája, hogy igen könnyen inkorporálódhat: a szennyezett felületekről az alfa-sugárzó izotóp a sebesüléseken, de akár belégzéssel vagy emésztéssel is bekerülhet a szervezetbe.

Inkorporáció

Alfa-sugárzó izotópok esetén az igazi veszélyt az inkorporáció jelenti: az alfa-sugárzás igen erős ionizáló hatása miatt ennek a sugárzásnak a legkomolyabbak a biológiai, élettani hatásai. A szervezetbe kerülve az alfa-sugárzás kicsi áthatoló képessége, gyors lefékezésére többé már nem „akadály” (mint a külső sugárterhelésnél), hiszen éppen a szövetekben fog elnyelődni, ott fogja leadni energiáját súlyosan károsítva azok rendkívül érzékeny DNS és fehérje állományát.

Ha az inkorporáció konkrét következményeit vizsgáljuk Po-210 esetén, akkor a következőket mondhatjuk el. Miután a radioaktív anyag bekerül a tápcsatornába kb. 50-90% a széklettel rövidesen

távozik is. Amennyiben belégzéssel került be, úgy a további sorsa nagyban függ a kémiai viselkedésétől. Ha a tüdő nyálkahártyájára jól oldódó formában kerül, akkor ott abszorbeálódik és felhalmozódik, majd hosszabb-rövidebb időn belül igen jelentős mennyisége bekerül a véráramba. Ez a magyarázata, hogy belélegezve a Po-210 ötször/tízszer⁴ toxikusabb, mint az emésztő szervrendszerbe kerülve⁵. [7] A véráramba került sugárzó anyag ezután szétterjed az egész testben. Ennek a mennyiségnek 45%-a a lépben, vesékben és a májban halmozódik fel, 10% a csontvelőben, a többi pedig széteszik a test többi részében. A Po-210 biológiai felezési ideje (a természetes kiürülés miatt) 50 nap, figyelembe véve a radioaktív izotóp felezési idejét (138 nap) az effektív felezési idő az emberi testben 37 nap. A testbe került Po-210 nagy energiájú alfa-részecskéi igen erős ionizáló hatásuk miatt roncsolják a sejtek DNS és fehérje állományát, károsítják a sejtmagot, pusztítják a sejtek szerkezetét, ezáltal a sejtek halálát és a szövetek degenerálódást idézik elő. [10] Akut „sugárbetegség” kialakulásához, vagyis a determinisztikus hatások megjelenéséhez jelentős dózis szükséges, viszont ez Po-210 esetében mindössze nanogramnyi mennyiségeket jelent. A sztochasztikus hatások megjelenésével azonban már néhány tíz pikogramm mennyiség felett számolni kell.

A veszélyt igen jól példázza, hogy a Litvinyenko-ügy nem piszkos bomba támadás volt, hanem csak egy „egyszerű” mérgezés, vagyis nem volt cél a radioaktív anyag diszpergálása, mégis csupán az esetleges kontamináció, illetve az áldozat anyagcseréje (testnedveivel való érintkezés) miatt 137 ember inkorporált több-kevesebb polóniumot. Sokan közülük nem is találkoztak a meggyilkolt ex-ügynökkel. [11] Egy tényleges piszkos bomba támadás esetén az inkorporáció sajnos elkerülhetetlen. Az érintett területen tartózkodók biztosan belélegeznek valamennyit az alfa-sugárzó anyagból, ráadásul a sérültek sebein keresztül még több radioaktív anyag kerül be a szervezetükbe. A tápcsatornán keresztül történő inkorporáció valószínűsége viszonylag csekély ebben a helyzetben. Nagyon fontos a mentőegységek védelme az inhaláció ellen (maszk, vagy autogén légzőkészülék), illetve a megfelelő védőruházat a sérülések elkerülése érdekében az inkorporáció megelőzésére.

A Po-210-re vonatkozó egészségügyi határérték mindössze 4,46 femtogramm⁶ légméterenként. [12] Ha feltételezzük, hogy egy nagy bevásárlóközpontban (kb. 120 000 légméter) a kötelező nyilvántartásba vétel nélkül megvehető maximális mennyiséget (592 GBq) használják fel egy merényletben, akkor a sugárzó anyag homogén eloszlását megengedve 4,93 kBq/l lesz az aktivitás koncentrációja a levegőben. Ha mindössze 3 perces benntartózkodással és normál léggzéssel számolunk (16 légvétel/perc, 0,5 l/légvétel), akkor az inkorporálható mennyiség 118,3 kBq, melyből a Po-210 inhalációra vonatkozó radiotoxicitását figyelembe véve 297 mSv effektív dózis adódik. Ez majdnem háromszorosa a sugárveszélyes munkakörben dolgozók öt év alatt engedélyezett maximális dózisének és jócskán meghaladja a baleseti mértékű sugárterhelés jogszabály által meghatározott mértékét (250 mSv)⁷. Természetesen a sugárzó anyag koncentrációja nem lesz egyenletes, egyes helyeken a számított értéknél több nagyságrenddel is nagyobb lehet, másutt pedig jelentősen kisebb. A 3 perces belégzési idő egyértelműen nagyon optimista, hiszen egy valós támadás esetén biztosan nem lehet ilyen rövid időn belül az érintetteket biztonságba helyezni. Arról az eshetőségről nem is beszélve, ha nem robbanás szórja szét a sugárzó anyagot, hanem az elkövetők pl. a szellőztető, levegő keringető rendszert szennyezik el, vagyis a merénylet ténye rejtve marad (a piszkos bomba „csendes” változata). Ebben az esetben a belégzés ideje nagyságrendekkel lehet nagyobb. Hasonló a helyzet a normál légzés feltételezésével:

⁴ Oldhatóságtól függően.

⁵ A jelenlegi ICRP modell szerint inhalációval 10% gyorsan a véráramba kerül. A felső légúti traktusban lévő izotópok egy része könnyen kiürül, másik része viszont a nyálkahártya váladékozásával a garaton keresztül az emésztőszervrendszerbe kerülve inkorporálódik. Az alsó légutakba került anyag viszont megreked, csak nagyon lassan távozik, ezért a tüdőt érő szervdózis igen jelentős, így az egész testre számolt effektív dózis lényegesen nagyobb lesz, mint a tápcsatornán keresztül.

⁶ Könnyen oldható részecskék esetén.

⁷ Megállapította: 64/2005. (XII. 22.) EüM rendelet az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet módosításáról: 28.§ (1)

pánikhelyzetben a légzés felgyorsul, tehát jelentősen nőhet a belélegzett sugárzó anyag mennyisége. A belélegzett anyag inkorporációjáról keveset tudunk, ez nagyban függ az aeroszol kémiai összetételétől, fizikai tulajdonságaitól. Az inkorporáció bizonytalansága nagyságrendekkel csökkentheti a számított effektív dózis értékeket. Viszont nem számoltunk a sebesülések miatt közvetlenül a véráramba került radioaktív anyag hatásaival sem, mely nyilvánvalóan komoly inkorporációs tényező a sérültek esetében. A példából viszont egyértelműen levonható következtetés, hogy egy hasonló akcióval akár több ezer embernek lehet súlyos egészségkárosodást és végső soron sokaknak akár halált okozni. Ehhez nem kell más, mint kb. 3,57 mg Po-210, mely mintegy 2,5 millió dolláros áron beszerezhető, de tudjuk, hogy a terrorszervezetek számára ez az összeg nem jelent komoly akadályt.

IV. A KÖVETKEZMÉNYEK FELSZÁMOLÁSA

Észlelés, felderítés, mentés

Egy tisztán alfa-sugárzó töltetű piszkos bomba korai (még felrobbantás előtti) észlelése, detektálása szokványos sugármérő detektorokkal jóformán lehetetlen. Többek között ezért is nagyon vonzó lehet a felhasználása egy esetleges terrorakcióban, hiszen az elkövetők számára jelentősen csökkenti a lelepleződés kockázatát.

A bomba működésbe lépését követően, miután a sugárzó anyag szétszóródik, diszpergálódik a levegőben, az aeroszol szétterül, ezáltal kontaminálva a környezetet. Mindenfajta szándékos robbantást, terrorakciót követően igen fontos annak megállapítása, hogy lehetett-e sugárzó anyag a bomba töltete. Amennyiben a radioaktív anyag kimutatható (emelkedett sugárszint, mérhető kontamináció stb.) a mentés feladatait és azok sorrendjét újra kell értelmezni, és ehhez a tényhez kell igazítani.

Az egyik elsődleges feladat ilyenkor a helyszín teljes lezárása, a kontaminált terület meghatározása, felderítése helyszíni mérésekkel, annak érdekében, hogy megóvjuk a közösség többi tagját a sugárzás hatásaitól. A mentőalakulatok számára haladéktalanul biztosítani kell a szükséges felszerelést (maszk, védőruházat, doziméter stb.) a mért sugárzás szintjének és jellegének megfelelően, hogy a sérültek ellátása ne szenvedjen késedelmet, és gondoskodni kell dekontamináló kapacitásról is. Egyidejűleg sürgősen meg kell határozni az alkalmazott radioaktív izotóp(ok) minőségét, és a rendelkezésre álló mért adatok, illetve a bombára vonatkozó számítások alapján, alkalmas modellel a felhasznált anyag aktivitását (mennyiségét) is, mely a mentés további menetének megtervezéséhez, a szükséges intézkedések meghozatalához elengedhetetlen. Szabadtéren elkövetett robbantás esetén a meteorológiai adatokra támaszkodó terjedési modellekre is szükség lehet, és ezek alapján további intézkedések (elzárkóztatás, kitelepítés stb.) elrendelésére is sor kerülhet.

Alfa-sugárzóval (Po-210) elkövetett piszkos bomba támadás esetén az inkorporáció megelőzése, elkerülése illetve minimalizálása a legfontosabb cél. A mentőalakulatok indokolatlan veszélyeztetése nélkül haladéktalanul meg kell kezdeni a sebesültek ellátását, különös tekintettel a seben keresztüli inkorporáció elkerülésére illetve minimalizálására. A támadásban érintett személyek számára igen fontos a további inkorporáció (inhaláció) megelőzése pl. a megfelelő védőmaszk alkalmazásával. Emellett, különösen jelentős külső sugárterhelés esetén, mielőbb meg kell kezdeni a terület gyors kiürítését is, feltétlenül ügyelve a szennyezettség szétterjedésnek megakadályozására. Ennek legegyszerűbb módja, ha a lezárt területet mindenki csak a megfelelő személyi dekontaminálást követően hagyhatja el. Ez azonban nem mindig lehetséges (nagy tömeg, szükséges dekontamináló kapacitás hiánya, tüzek, sérültek stb.), ilyenkor valamennyi érintettet alkalmas szállítóeszközökön biztonságba kell helyezni, ahol a dekontaminálás maradéktalanul elvégezhető és a dekontaminálás eredményessége értékelhető (validálás). Az ellenőrzés történhet megfelelő érzékenységgű felületi (alfa) sugárszennyezettség-mérő műszerek

segítségével (pl. szcintillációs detektorok). Az egészségügyi határérték (beavatkozási szint) alfa-kontaminációra⁸ 50 Bq/100cm². [13]

Megfigyelés, ellenőrzés

A sebesültek további ellátásra, megfigyelésre a kijelölt egészségügyi intézmény(ek)be szállítandók. A sebek orvosi ellátásán túl a sebekben keresztüli inkorporáció minimalizálása a cél: módszerei a seb tisztítása megfelelő anyagokkal, végső esetben a seb kimetszése. [13] A többi érintett személytől az inkorporáció tényének megállapítására a testnedvekből (orr- és torokváladék, vér, vizelet, széklet stb.) mintát vesznek további analízisre. Az inkorporáció mértékének pontos meghatározásához a 24 órás vizeletminta vizsgálata elengedhetetlen. Ennek érdekében nyilvántartásba veszik őket, adataikat pontosan rögzítik. A támadás adatainak értékelése után, az esetleges kockázatok kizárása érdekében a 24 órás vizeletminta analízisét ajánlatos lehet a mentésben résztvevő személyekre is kiterjeszteni.

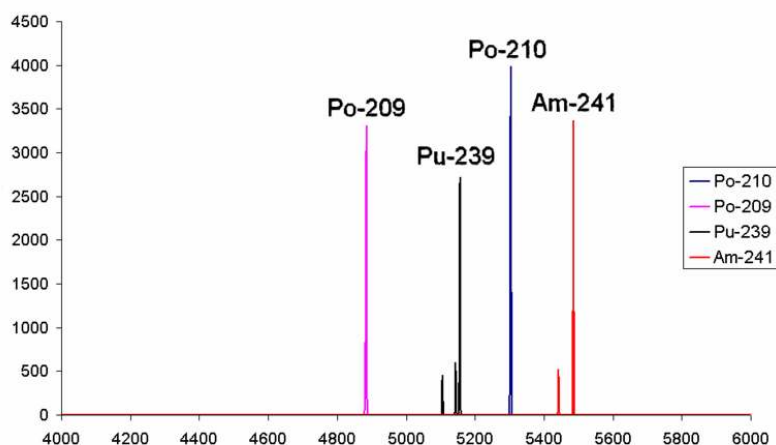
A Litvinyenko-ügy kapcsán az Egyesült Királyság Egészségvédelmi Ügynöksége (Health Protection Agency – HPA) és Nemzeti Egészségügyi Szolgálata (National Health Service) igen komoly tapasztalatokra tett szert a Po-210 inkorporáció 24 órás vizeletminta alapján nagy számban (729 eset) történő meghatározásában, melyet honlapján közzé is tett. [14] (1. ábra) A Po-210 vizeletben lévő mennyiségének (aktivitásának) meghatározására kidolgozott módszert 4 másik labor által végzett különböző módszereken alapuló mérések eredményeivel összevetve validálta és az eredmények konzisztensnek mutatkoztak. A meghatározás lényege, hogy ismert mennyiségű vizelethez ismert mennyiségű (általában 200 mBq) Po-208 vagy Po-209 izotópot adtak. A polónium különféle izotópjainak kémiai viselkedése azonos, ezért a homogén oldatból készített preparátum (salétromsavas feltárás, tisztítás, puffereles, ezüst lemezre preparálás stb.) alfa-spektroszkópiával mérhető, és az izotópok relatív intenzitásaiból számolható a mintában lévő Po-210 aktivitása. (2. ábra) A módszer viszonylag gyors (2-3 nappal a minta leadása után szolgáltat eredményt) és érzékeny (12 órás mérési idővel számolva 20 mBq mutatható ki).

1. ábra: Vizeletminták analízise [11]



⁸ Magyar Szabvány: Ionizáló sugárzás elleni védelem. Sugárvédelem nyitott radioaktív készítmények alkalmazásakor. MSZ 62-7, 1-12, 1999

Normál esetben az emberek 5-15 mBq Po-210-et ürítenek naponta a vizeletükkel⁹. A Po-210 inkorporációt ezen értékek duplája esetén (30 mBq/24h) találták megalapozottnak. Azzal a feltételezéssel, hogy a véráramba a tápcsatornába jutott anyag 10%-a került, mely a szervezetből 50 nap alatt ürül ki, így napi 1,5%-os kiürüléssel számolhatunk, melynek 1/3-a távozik a vizelettel (0,5%). Ennek a mennyiségnek a 200-szorosa lehet jelenleg a véráramba, de az effektív felezési időt (37 nap) figyelembe véve ez pl. öt héttel ezelőtti inkorporáció esetén eredetileg a duplája lehetett, vagyis a 400-szorosa, mely az inkorporált (tápcsatornába került) mennyiség 1/10-e vagyis a vizeletben kimutatott mennyiség mintegy 4000-szerese kerülhetett be a szervezetbe 5 héttel ezelőtt. Ebből az aktivitásból a radiotoxicitás¹⁰ alapján számolható az effektív dózis. Inhaláció esetén (pl. piszkos bomba bevetésekor) a számított effektív dózis ennek akár a 10-szerese is lehet. Inkorporációt követően a mért és számított adatok alapján meghatározott effektív dózis segítségével a sztochasztikus hatások előrejelezhetők, figyelembe véve, hogy 1 mSv 0,005%-kal emeli a rákos megbetegedések kockázatát. [15] Ezeknek az eredményeknek a figyelembevételével lehet dönteni az inkorporációt követő gyógykezelések szükségességéről (dekorporáció – pl. komplex képző kelátokkal). Természetesen indokolt esetben a 24 órás vizeletminta vizsgálatát meghatározott időközönként meg kell ismételni, tekintettel a Po-210 retenciójának bizonytalanságaira.

2. ábra: Alfa-spektrum¹¹ [8]

Mentésítés, helyreállítás

A terrorakciót követően az elsődleges feladat az élő személyek mentése, védelme, ellátása. Csak ennek sikeres befejezése után lehet hozzálátni a szennyezett terület mentéséhez. A mentés megkezdése előtt nagyon fontos a szennyezés pontos ismerete (minősége, aktivitása és eloszlása). Ehhez és a kontaminált terület esetleg területek pontos meghatározásához konzisztens méréseket kell végrehajtani. A mérések kiterjednek a dózisteljesítmény és az aktivitás-koncentráció meghatározására is a lezárt területen. Alfa-sugárzó (Po-210) kontaminációja esetén a sikeres mentés illetve remediáció az esetleges későbbi (és súlyos következményekkel járó) inkorporáció megelőzésének elengedhetetlen feltétele. A szennyezett

⁹ A Po-210 az U-238 (4n+2) bomlási sorának utolsó előtti eleme (utolsó radioaktív). A Ra-226 bomlásából származó, jól diffundáló Rn-222 második leányeleme, így nem meglepő, hogy előfordul az aeroszol mintákban. Átlagosan 0,2-3 Bq/kg a mennyisége az élelmiszerekben, de a tengeri állatokban (kagylók) 5-60 Bq/kg, hosszú tenyészidejű illetve nagy levelű növényekben pedig 4-500 Bq/kg is lehet. Ez az oka, hogy a referenciaértéke dohányosok esetében magasabb.

¹⁰ Ha rosszul oldódó vegyületet tételünk fel, akkor ez az érték 0,24 μ Sv/Bq.

¹¹ Az ordináta az intenzitás, az abszcissa az alfa-részecskék energiája (keV).

területeken végzett mérések birtokában meg lehet tervezni a mentesítést. Az egészségvédelmi, valamint környezet- és természetvédelmi szempontok elsőbbséget élveznek a gazdasági szempontokkal szemben, de a mentesítést a lehetőségekhez képest költséghatékonyan kell végrehajtani. A mentesítés során érvényesíteni kell az ALARA elvet is.

A szennyezettség mérése mellett azt is meg kell határozni, hogy a kontamináció viszonylag könnyen eltávolítható-e, vagy pedig fixált a felületen. Az eltávolítható kontaminációt mindenképpen dekontaminálni kell az egészségügyi határérték alá, nehogy később inkorporálódhasson, ha azonban a kontamináció nem távolítható el, viszont 10 Bq/cm^2 alatt van, akkor a dekontaminálás helyett a biztonságos rögzítése (pl. valamilyen bevonat, lakk, festék stb.) mellett is dönthetnek. Ha egyik megoldás sem lehetséges, akkor mérlegelni kell ingóság esetén a hulladékként való kezelés vagy biztonságos tárolás, ingatlan esetén pedig a bontás és elszállítás vagy az esetleges lezárás (ellenőrzött zóna) lehetőségét. Jelentős értékek esetén, ha megoldható a tárolás, lezárás eredményes lehet, hiszen a Po-210 felezési ideje viszonylag rövid, tehát kevesebb, mint 4 év alatt az aktivitás az ezred részére csökken, és lehetséges, hogy az egészségügyi határértékek alatt lesz, vagyis az ingóság vagy ingatlan újra használható, birtokba vehető.

A helyreállítás, remediáció nemcsak a mentesítést vagy a határérték alatti szennyeződés biztonságos rögzítését, az esetleg szükséges bontásokat foglalja magában, hanem mindezen folyamatok során keletkezett radioaktív hulladékok osztályozását, biztonságos elszállítását és elhelyezését is. Fontos megjegyezni, hogy a dekontamináláshoz felhasznált mentesítő folyadék, a mentés és mentesítés védőfelszerelései, továbbá a támadást szenvedettek ruházata, használati tárgyai is radioaktív hulladékként kezelendők. A helyreállítás végeztével a mentesítés eredményességét felületi szennyezettség, illetve sugárszint mérésekkel kell igazolni (3. ábra), és ezen eredményeknek megbízhatóan a mentességi szintek alatt kell lenni. Csak ezután lehet megkezdeni a terület újbóli használatát. [16]

3. ábra: Felületi sugárszennyezettség-mérés (alfa) [11]



V. ÖSSZEGZÉS

A cikkben igazoltuk, hogy a felvázolt szcenárió következményei rendkívül súlyosak, még ha a bekövetkezés valószínűsége hazánk terrorfenyegetettségi szintjén nem is túl nagy, viszont „jelentősebb” helyszíneken ez a kockázati érték már szignifikáns lehet. Mivel a hatások a tömegpusztító fegyverekéhez hasonlóak (nem nukleáris, de vegyi vagy biológiai) ezért kiemelt figyelmet kell fordítani a felkészülésre. A hatékony válaszadásban feltétlenül támaszkodni kell a nukleáris- és radiológiai balesetelhárítási rendszer meglévő elemeire, annak működtetése során szerzett tapasztalatokra éppúgy, mint a közelmúlt tragikus izotópos mérgezési esetére adott eredményes válaszingozások gyakorlatára. Ezen ismeretek szintézisével, elemzésével lehetőségünk nyílik egy alkalmas cselekvési terv kidolgozására, melynek

szimulációs gyakorlatokon történő tesztjével megfelelő módon készülhetünk fel egy hasonló támadás okozta károk minimalizálására.

IRODALOM

- [1] Molnár Kolos – Solymosi József: Alfa-sugárzó anyagok alkalmazása a radiológia terrorizmusban, Hadmérnök III. évfolyam 1. szám – 2008. március, 51-58. oldal
- [2] http://www.iaea.org/NewsCenter/Features/RadSources/PDF/itdb_31122004.pdf
- [3] Molnár Kolos – Solymosi József – Vincze Árpád: A nukleáris fegyverek elterjedését megakadályozó nemzetközi rendszerek működési tapasztalatainak alkalmazása, Haditechnika 2006/6, 10-17. oldal
- [4] King, Gilbert: Dirty bomb – Weapon of mass disruption, Penguin Group, NY, USA, 2004, p. 29-40
- [5] Solymosi József: Nukleáris létesítmények katonai terror-fenyegetettsége – előadás a „Tudomány, honvédelem, reform” MTA Konferencián, Budapest, 2006. november 27.
- [6] <http://www.ct.infn.it/~rivel/Didat/SilDet.pdf>
- [7] <http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/210PoPDF.pdf>
- [8] <http://en.wikipedia.org/wiki/Polonium>
- [9] <http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/polonium210.html>
- [10] http://www.hps.org/documents/po210_information_sheet.pdf
- [11] Health Protection Agency: Annual report & Accounts 2007, London, UK, p. 8-11
- [12] <http://periodic.lanl.gov/elements/84.html>
- [13] Dr. Turai István: Radioaktív anyagokkal szennyeződött személyek sugármentesítése (Módszertani útmutató) OSSKI, Budapest, 2006, 5-14. oldal
- [14] http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1194947324589
- [15] http://www.hpa.nhs.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1194947325863
- [16] Westminster City Hall: Framework strategy for dealing with radioactive contamination arising from the circumstances surrounding the death of Alexander Litvinenko, Project report, Westminster, UK, 2007, p. 5-15