

A LAKOSSÁGI ÓVINTÉZKEDÉSEK BEVEZETÉSÉNEK SUGÁRZÁS MONITOROZÁSI KÉRDÉSEI NUKLEÁRIS VESZÉLYHELYZETBEN

Manga László^{1*}, Deme Sándor² és Vincze Árpád³

¹MVM Paksi Atomerőmű Zrt. 7031 Paks, pf. 71

²MTA Energiatudományi Kutatóközpont, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29–33

³Országos Atomenergia Hivatal, 1036 Budapest, Fényes Adolf utca 4

*mangal@npp.hu

A kézirat beérkezett: 2019.07.04.

Közlésre elfogadva: 2019.10.07.

Environmental radiation monitoring in a nuclear emergency

Kapitány and Vincze [1] have described the theoretical bases of the implementation of protective actions and pointed out that decisions should be based on Operation Intervention Levels (OIL).

In this paper we discuss the practical issues of the environmental determination of OILs, especially OIL1 that justifies sheltering and evacuation measures, if greater than 1 mSv/h gamma-radiation dose rate is originating from soil contamination.

The question we address is that when, by what means, and where the dose rate should be measured after the onset of the accident and how the measurement results should be interpreted. We address how the data of the environmental monitoring stations of the Paks NPP can be used in selecting the most appropriate measurement areas. An important issue is to determine the conditions for using radiological survey vehicles (car, helicopter).

Based on IAEA documents we also present the derivation of the OIL1 1 mSv/h ambient dose rate for pressurized water reactors.

Keywords: nuclear emergency, intervention level, protection strategy

Kapitány Sándor és Vincze Árpád "A lakossági óvintézkedések bevezetésének feltételei veszélyhelyzetben" c. cikkükben [1] bemutatják az óvintézkedések bevezetésének elméleti kérdéseit. Ebben ismertetik, hogy az óvintézkedések bevezetése a Származtatott Intézkedési Szintek (SZISZ) alapján történhet.

Jelen cikkünkben a SZISZ környezeti meghatározásának gyakorlati kérdéseit vizsgáljuk, ezek közül is az elzárkóztatást, a kimenekítést megalapozó SZISZ1-et, amelyik a talajfelszín szennyezettségéből eredő 1 mSv/h gamma-sugárzás dózisteljesítményt jelenti.

A kérdés az, hogy ezt a dózisteljesítményt a baleset kezdete után mikor, milyen eszközzel és hol kell mérni és a mért eredményeket hogyan kell értelmezni. Foglalkozunk azzal, hogy a Paksi Atomerőmű környezet-ellenőrző távmérő állomásainak adatait hogyan lehet felhasználni a mérési területek kiválasztásában. Fontos kérdés a felmérő jármű (gépkocsi, helikopter) alkalmazásának feltételeinek meghatározása.

Kulcsszavak: nukleáris veszélyhelyzet, intézkedési szint, felmérési stratégia

BEVEZETÉS

Kapitány Sándor és Vincze Árpád "A lakossági óvintézkedések bevezetésének feltételei veszélyhelyzetben" c. cikke (Sugárvédelem, XI. évf. (2018) 2. szám. 1–7) az óvintézkedések bevezetésének elméleti kérdéseivel foglalkozott. Ez a cikk azzal fejeződik be, hogy az óvintézkedések bevezetése a Származtatott Intézkedési Szintek (SZISZ) alapján történhet.

E cikkünkben az intézkedések bevezetésének gyakorlati kérdéseivel foglalkozunk, ezek közül is az elzárkóztatást, a kimenekítést megalapozó SZISZ1-gyel, amely a talajfelszín szennyezettségéből eredő, 1 m magasan mért 1 mSv/h gamma-dózisteljesítményt jelenti [2]. Ez az érték az atomerómúnél a 30 km-es körzetre és a korai időszakra vonatkozik [3]. (A SZISZ1 levezetését a Függelék mutatja be.)

A származtatott intézkedési szint mérése több gyakorlati kérdést vet fel, ezek közül annak a kérdésével foglalkozunk, hogy

- mikor kell mérni
- hol kell mérni
- mivel kell mérni
- hogyan kell mérni
- hogy kell a mérési eredményeket értékelni.

MIKOR KELL MÉRNI?

Az általános veszélyhelyzeti intézkedések szempontjából el kell különíteni az elzárkóztatást és a kimenekítést. Az elzárkóztatás elrendelhető már olyan veszélyhelyzetben is, amikor még nem kezdődött el a kibocsátás, viszont a kimenekítés kritériuma, a SZISZ1 értékének meghaladása bekövetkezhet.

A talajszennyezettségből eredő gamma-sugárzás dózisteljesítmény területi eloszlását a csak kibocsátás megszűnése után célszerű meghatározni, mert a kibocsátás tartama alatt a talajszennyezettség, így a dózisteljesítmény is még növekedhet.

A kibocsátás időfüggése szempontjából vizsgáljuk meg a súlyos balesetek várható lefolyását. A súlyos sugárbaesetek csak a hűtés teljes elvesztése miatt bekövetkező zónaolvadás esetén következnek be. A láncreakció leállása után a zónaolvadás kezdetének időpontja elsősorban attól függ, hogy a zóna mennyi idő alatt veszíti el hűtését. A zónaolvadás kevesebb, mint fél óra után már bekövetkezhet, de ha a vízvesztés lassú ütemű, akkor a zónaolvadás kezdete a reaktor leállításától számítva akár 10 óra is lehet. Ez azt jelenti, hogy a baleseti esemény és a jelentős baleseti kibocsátás kezdete között jelentős idő is eltelhet.

Ha a baleset teljes feszültségkimaradással jár, akkor nem működnek a szellőzőrendszerek és a kibocsátás nem a szellőzőkéményen át, hanem kis magasságban, főként a reaktorcsarnok falának tömítetlenségein keresztül megy végbe. Ezt az esetet épületkibocsátásnak nevezzük. Ha van áramellátás, akkor aeroszolra és jódra szűrni lehet a szellőzőkéményen át kibocsátott levegőt, a helyiségekben – a környezethez képest – depresszió keletkezik, ezért – nem lehet épületkibocsátás.

A kibocsátás tartama alatt általában a kis járulékos kockázattal járó elzárkóztatás elrendelése valószínűsíthető. A baleset-elhárítási intézkedési tervek lehetővé teszik, hogy a lakosság elzárkóztatását már a tényleges kibocsátás kezdete előtt el lehet rendelni, ha a technológiai helyzet alapján jelentős környezeti kibocsátás következhet be. Az elzárkóztatás maximális ideje 48 óra lehet, ezt csak nagyon indokolt esetben lehet meghosszabbítani. (A baleseti analízisek alapján általában 24 óra elegendő a zóna hűtésének helyreállítására.)

Az elzárkóztatás jelentősen csökkenti a lakosság dózist az elzárkóztatás nélküli esethez képest. A dózis elsősorban a nagyobb épületekben csökken, ahol a talajsugárzás dózisa akár a védelem nélküli érték ötvened részére is csökkenhet (1. táblázat).

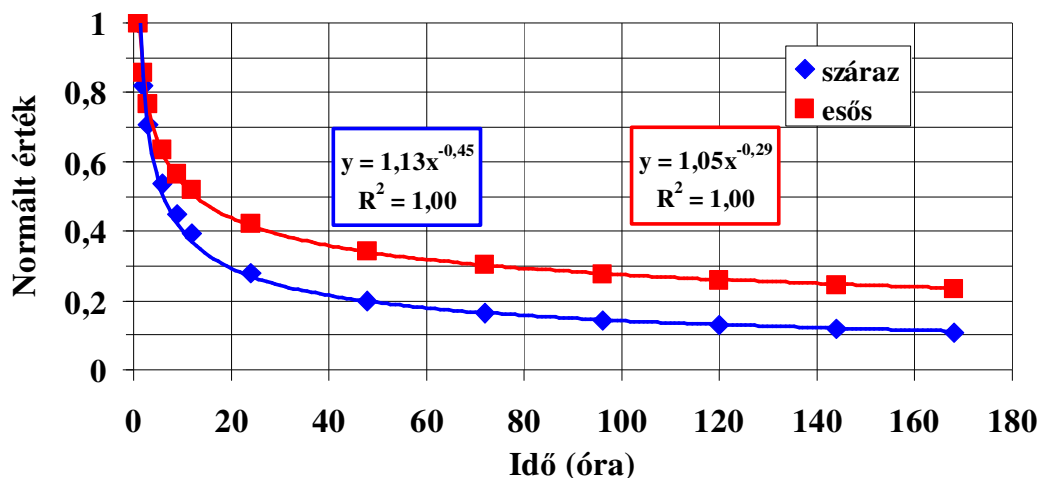
Ki kell emelni a talajszennyezettség szerepét a lakosság sugárterhelése szempontjából. Ennek oka, hogy míg a felhő csak a csóva elhaladási ideje alatt sugároz, addig a talajszennyezettség folyamatos sugárterhelést okoz és annak intenzitása a kibocsátás után a lebomlásnak megfelelően csökken (1. ábra). A csökkenést fokozza a talajba való bemosódás is, ezt azonban annak bizonytalansága miatt nem vettük figyelembe. Az ábrán megadott görbék a

résaktivitás kibocsátásának felelnek meg [4], a jód esetében elemi állapotot feltételezve. A száraz és az esős időre vonatkozó görbék azért különböznek, mert a száraz ülepedés eltérő az aeroszolokra és az elemi jódra, míg ugyanerre a két csoportra a kimosási tényező azonos. Megállapítható, hogy az adott esetben a 48 órás elzárkóztatás alatt a kezdeti, talajszennyezettségtől származó dózisteljesítmény az eredeti érték ötödére, illetve a harmadára csökken.

1. táblázat. Dóziscsökkentő tényezők a lakossági intézkedéseknél [2]

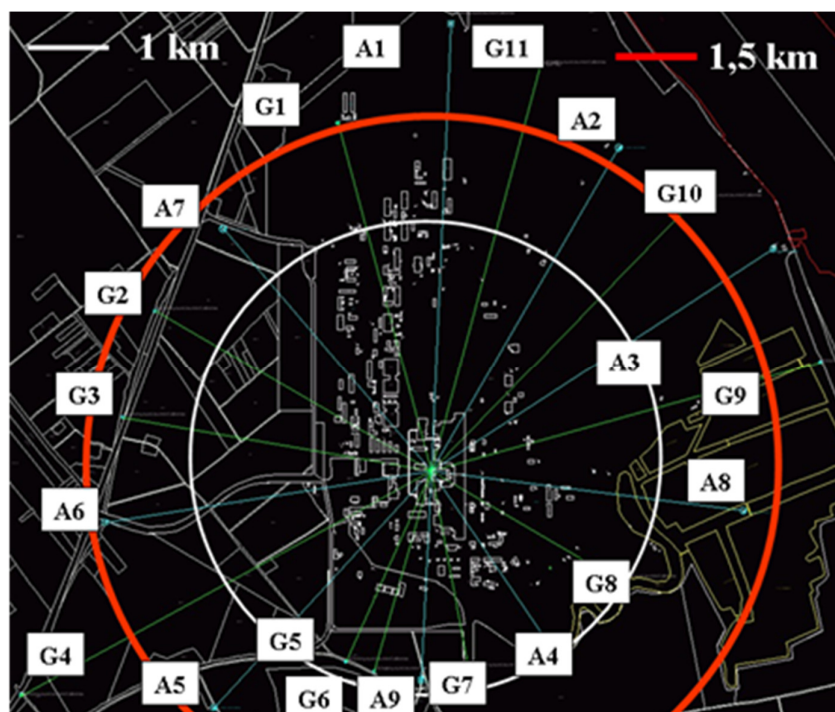
A lakossági intézkedések	Redukciós tényező	Dózisterhelési útvonal
Elzárkóztatás egyszerű épületben	0,4	Talajsugárzás
	0,6	Felhősugárzás
	0,5	Inhaláció*
Elzárkóztatás nagyméretű épületben	0,02	Talajsugárzás
	0,3	Felhősugárzás
	0,2	Inhaláció*
Jódtabletta bevétele	0,1	Pajzsmirigy és anyaméh dózisa a radiojód inhalációja révén

*a légcsera sebességétől függ



1. ábra. Az egy óra időtartamú kibocsátás után a talajfelszíni sugárzás 1. óra végére normált, relatív intenzitása az eltelt idő függvényében száraz időjárásnál és a kibocsátás idején 5 mm/h esőnél [4].

A sugárzási szint pontos felmérését csak a kibocsátás megszűnése után lehet elvégezni. A paksi atomerőmű esetében a kibocsátás megszűntének időpontját legegyszerűbben a környezeti mérőállomásokon (2. ábra) elhelyezett gamma-sugárzást mérő szondák jelzése alapján lehet meghatározni. Ha a szondákkal mért dózisteljesítmény mindegyik mérőállomáson csökken, akkor a kibocsátást megszüntnek tekinthetjük és meg lehet kezdeni a kiülepedésből származó gamma-sugárzási szint felmérését.



2. ábra. Az A és G típusú állomások, a környezeti gamma-sugárzás mérőpontjai. A fehér kör sugara 1 km, a piros köré 1,5 km az erőmű kéményeinek középpontjától számítva.

HOL KELL MÉRNI?

A "hol kell mérni" kérdés azért előzi meg a "mivel kell mérni" kérdést, mert a mérés helyszíne meghatározza azt is, hogy mivel lehet mérni. Az OBEIT 3.5 (2. verzió) [5] baleseti monitorozási stratégiai útmutató a következőket mondja. "A méréseket ideálisan sík terepen, járművektől, fáktól, épületektől, utaktól távol kell elvégezni. Elsőként azok a területek vizsgálandók, ahol a csóva felmérése során a legnagyobb dózisteljesítményeket találták. Elsőbbséget kell adni azoknak a helyeknek is, ahol a csóva áthaladása alatt csapadék hullott."

A környezeti mérőállomások gamma-szondáinak jelzése alapján megadhatók azok az irányok, amelyeknél a dózisteljesítmény a legnagyobb. A csapadékra vonatkozóan az erőmű mérései csak az erőmű közvetlen környezetére vonatkoznak, de az OMSZ mérései alapján kijelölhetőek a kibocsátás ideje alatti csapadékos területek.

Az ideálisan sík terepen, járművektől, fáktól, épületektől, utaktól távoli pontok nem relevánsak a lakosság szempontjából, ezért a települések területén is mérni kell a kiüledés dózisteljesítményét. Az elsődleges felmérést célszerű a gépkocsival, az utakon haladva végezni, meghatározva azt a pontot, ahol a dózisteljesítmény eléri a 0,1, illetve az 1 mSv/h értéket, majd ahol a dózisteljesítmény lecsökken 1, illetve 0,1 mSv/h érték alá. Amennyiben a megadott dózisteljesítmények lakott helyen lépnek fel, akkor az adott helyen az eredeti útirányhoz képest keresztirányú mérésekre is szükség van.

A paksi erőmű esetében különböztessünk meg két alapesetet. Ha a legszennyezettebb területek az erőműhöz képest Dunával ellentétes, nyugati irányban vannak, akkor a felmérésre a 6-os úton való végighaladás a célszerű, ellenkező esetben viszont a Duna bal parti települések átmenő útjainak felmérése javasolt.

MIVEL KELL MÉRNI?

A kérdés kettős. Az egyik, hogy milyen műszerrel, a második pedig hogy milyen közlekedési eszközzel.

A műszer legyen alkalmas a természetes háttértől, azaz 100 nSv/h-tól legalább 100 mSv/h-ig mérni. Az érzékenység mellett fontos az is, hogy érzékenysége, azaz (imp/s)/(nSv/h) legyen minél nagyobb, hogy a felmérési időt csökkenteni, jármű esetén a haladási sebességet növelni lehessen. Ez a térbeli felbontás romlásával jár, de adott esetben gyorsaság ennél fontosabb tényező.

A feladat elvégzésére elsősorban a hazai fejlesztésű, dózisteljesítmény mérésére alkalmas műszerek jöhetnek számításba. Ilyenek a légi sugárfelderítésből ismert nagyfelületű SZBT-10-es GM csövet tartalmazó detektorok (pl.: BNS-98, BNS-98L), de a felderítés kapcsán a spektrum felvételére alkalmas félvezető PIN dióda is sok előnyös tulajdonsággal rendelkezik [7].

A gépjárműves felderítés terén megemlíthetjük az Ø75×50 mm-es NaI(Tl) szcintillációs detektort tartalmazó BNS-94FM-et [8], vagy a GM-csövet és félvezető detektort is tartalmazó IH-99D-t vagy az érzékenyebb IH-99 DM-et [9]. Amennyiben a nemzetközi piacot is figyelembe vesszük, a műszerpaletta még szélesebb.

A második kérdés a közlekedési eszköz megválasztása. A legkézenfekvőbb olyan terepjáró gépkocsi használata, amelynek mérőműszere egy térképes megjelenítő rendszerhez csatlakozik. Előnyt jelent, ha a mért adatok egy távoli vezetési ponton valós időben megjelenhetnek. Nagymértékű környezetszennyeződés esetén megoldást jelent páncélozott (sugárárnyékoló) jármű vagy helikopter felhasználása. Ki kell emelni, hogy a légi járművekkel végzett mérések csak nagyságrendi becslésre és a földi mérési terület kijelölésére alkalmasak.

A helikopteres felderítés kapcsán rendelkezünk hazai tapasztalattal. E szerint 300 km²-t lehet 1 óra alatt felderíteni 150–180 km/h sebességgel 80–100 méteres magasságból [10]. Ezek a paraméterek függenek a helikopter típusától, a képzett személyzet létszámától, a műszerek érzékenységétől és üzemidejétől és egyéb jellemzőktől.

Másik légi felderítési módszer az egyre inkább elterjedt pilóta nélküli technika, amely téren ugyancsak rendelkezünk hazai tapasztalattal. A SZOJKA-III típus S-6, S-2 (Si/Li) félvezető detektorokkal és SZBT-10-es GM csóval képes nagyságrendi becslést adni 500 µGy/h feletti földi sugárszintű területről 300 méteres magasságból 160 km/h sebesség mellett [7]. A pilóta nélküli repülő másik családjába tartozó drónos felderítés terén is vannak már hazai fejlesztések, de egyelőre kísérleti szinten. Nagy előnyük a helikopteres felderítéshez képest, hogy lényegesen olcsóbbak és több drón együttes alkalmazása révén rövidebb idő alatt nagy területek felderítésére van lehetőség, akár sokkal alacsonyabb magasságokban is, ugyanakkor a kisméretű drónok érzékenyebbek az időjárásra.

A másik ugyancsak gyorsnak mondható felderítési módszer a gépjárműves felderítés. Ezen a téren is rendelkezünk hazai fejlesztésű típusokkal. Ilyenek például a katonai alkalmazásra készült Komondor ABVF vagy az FABV [8], illetve a katasztrófavédelemnek készült KML gépjárművek [8].

Az alkalmazott jármű fajtájától függ a műszer elhelyezése a járművön. Fontos, hogy az elhelyezés jó látószöveget biztosítson az alatta található terep felmérésére. A pilóta nélküli repülőknél esetén a jármű alsó pontja a logikus választás az előzőekben már említettek miatt.

A gépjárműves felderítés esetén már nem ennyire egyszerű a helyzet. A páncélozott katonai járművek esetén a páncéltól adódó sugárárnyékolást figyelembe kell venni. Ebből adódik, hogy egyrészt a járművön kívüli elhelyezés a praktikus, mert ilyenkor nem kell külön számolni a páncélzat vastagságából adódó gyengítési együtthatóval, másrészt a detektorok darabszáma a meghatározó. Ezek változhatnak 2-4 detektor között. Két detektor esetén a

180°-os, 3 detektor esetén 120°-os és négy detektor esetén a 90°-os elhelyezésről beszélhetünk. Fontos még a detektorok esetén a jármű felőli árnyékolás. Ez esetben magának a járműnek az árnyékoló hatását is jól ki lehet használni [9]. Az egyéb (nem sugárárnyékoló) gépkocsik esetén a detektorok elhelyezését ez a tényező kevésbé befolyásolja, viszont a benne ülő személyzet sugárzásnak való kitettsége ebben az esetben sokkal nagyobb.

Fontos továbbá, hogy a műszert megfelelő burkolóanyaggal védeni kell az elszennyeződéstől, például könnyen cserélhető védőfólia használatával.

HOGYAN KELL MÉRNI?

Légi felderítés esetén kiterjedt szennyezettségre a sugárszint az alábbiak szerint határozható meg (IH-31L műszerre) [6] :

$$P_1 = k_1 P_h^{k_2 h} \quad (1)$$

P_1 = sugárszint, Gy/h;

P_h = h magasságon mért dózisteljesítmény, Gy/h;

h = mérési magasság, m;

k_1 = terepviszonytól függő elnyelési faktor (1,7 – 2);

k_2 = légköri elnyelési faktor (0,007 - 0,012), m^{-1}

A k_1 és k_2 értékei alapján két függvényt lehet használni. A mai korszerűbb műszerek esetén – nagyfelületű szennyeződés kiterjedésre – a függvények száma 12 vagy 24 is lehet, amit a kezelő személyzet állít be a környezeti paramétereknek megfelelően.

Ugyancsak lehetőség van egy magyar szabadalom [11] szerint két, vagy több magasságon mért dózisteljesítmény adatokból görbeillesztéssel (pl.: legkisebb négyzetek módszere) meghatározni a megfelelő gyengítési tényező függvényt és a továbbiakban a légköri viszonyok, a repülési magasság és a terepviszonyok változatlansága esetén azt felhasználni a sugárszint meghatározására [7].

Amennyiben figyelembe vesszük a magassági gyengítési tényezőt (a földfelszín és a detektor közötti légréteg gyengítését) az időjárási és terepviszonyokat, akkor is csak közelítőleg tekinthetjük a földi felderítéssel egyenértékűnek a mérést. Másik nagyon fontos tényező a megfelelő felbontás. A mérési ciklus 0,5 másodperc. Hazánkra jellemző átlagos háttérsugárzás 80 nGy/h. Ha sugárzás H_a a sugárzás intenzitása 280 nGy/h-ra nő. akkor ezt a növekedést a műszer már jelzi. [7].

A gépjárműves felderítés során ugyancsak az 1 méteres referenciamagasság a mérvadó a detektorok látószögének és a gépjármű árnyékolási képességének megfelelő korrekciós tényezőket alkalmazva, a detektorok darabszámát figyelembe véve.

Ezek ismeretében még mindig van egy nehezen megoldható kérdés, a mérés reprezentativitásának biztosítása, különösen akkor, ha a kibocsátás idején esett az eső.

Ilyen esetben – amennyiben van rá lehetőség – célszerű kombinálni a légi és szárazföldi felderítést. A gépkocsis felmérés alkalmas a részletesen vizsgálandó, az 1 mSv/h dózisteljesítményt meghaladó területek határának kijelölésére. A gépkocsival történt mérésnél alapvetően az útfelület szennyezettségét mérjük. Száraz időben ez irányadó lehet, de esős időben történt kibocsátásnál az utak szennyezettsége lényegesen kisebb, az útról lefolyt csapadék útvonala pedig nagyobb a középértéknél. Az átlagos kiülepedés mérésére a fűvel borított vízszintes területek (parkok, futballpályák) az ideálisak, amelyek csak terepjáró gépkocsival közelíthetők meg. Kisebb kiterjedésű területek esetén egyszerű, többpropelleres

(kvadro-, oktokopterek) drónok, nagyobb kiterjedésű területek esetén merevszárnyú, pilóta nélküli vagy helikopter alkalmazása optimálisabb.

HOGY KELL A MÉRÉSI EREDMÉNYEKET ÉRTÉKELNI?

A döntéshozó szervek felé minden releváns mérési eredményt meg kell adni, törekedve arra, hogy a mérési pontok elsősorban ott legyenek, ahol a normál életvitelnél a lakosság jelentős időt tölt.

Ebben nagy segítséget nyújtanak a különböző sugárzási és meteorológiai paramétereket mérő távadók, illetve a döntést támogató rendszerek. A szoftverek segítségével lehetőség van az adatok megszürésére, illetve előrejelzésekre is.

Mivel ilyen helyzetben a döntéshozók nagy nyomás alatt vannak (sok az információ, időkényszer, minél gyorsabb kommunikáció), ezért igyekezni kell a döntés szempontjából releváns eredmények közlésére. Amennyiben a telepített távadó állomások nem szolgáltatnak elegendő adatot a döntés meghozatalához, akkor szükség van a mobilizálható erők bevetésére. Ezek azok a technikák, amelyeket az előzőekben ismertettünk. Mivel ilyenkor az idő az egyik legfontosabb tényező a lakossági óvintézkedések minél hamarabbi meghozatala érdekében, ezért a gyalogos felderítési módszerekre nem térünk ki.

FÜGGELÉK. A SZISZI LEVEZETÉSE

A SZISZI-ként a talajfelszín felett 1 m magasan mért dózisteljesítményt használjuk, az I-II veszélyhelyzeti tervezési kategóriába tartozó létesítmények esetén a veszélyhelyzet korai időszakában (első hét nap), a MÓZ-SÓZ területén. Az erre vonatkozó általános kritériumok a következők: 100 mSv effektív dózis, 100 mSv magzati és 50 mSv pajzsmirigy egyenértékű dózis az első hét napra integrálva ($\dot{A}K(\text{sűrűgős}, 7 \text{ nap})$) [3].

A SZISZI érték feletti mérési eredmény esetén a jódprofilaxis, az elzárkózás és a kimenekítés sürgős óvintézkedések közül a biztonságos azonnali kimenekítés javasolt [12]. Amennyiben ez nem lehetséges, akkor biztonságos helyen történő elzárkóztatást és jódprofilaxist célszerű elrendelni, amíg a biztonságos kimenekítést nem lehet megoldani. A kimenekített lakosság regisztrációja, monitorozása, dekontaminálása és orvosi szűrésének szükségessége egyéb SZISZ értékek mérése alapján dönthető el [12].

A SZISZI származtatása az alábbi megfontolásokon alapul:

A kiindulási, lehetséges forrástagok egyrészt a 3000 MW hőteljesítményű, különböző kiegészítési szintű PWR és BWR reaktor zónákra végzett súlyos baleseti események elemzéséből, másrészt korábbi balesetek tapasztalatai alapján (csernobil, fukushima) kerültek meghatározásra. A sugárterhelés szempontjából a nagyon kis mennyiségben kibocsátható, vagy elhanyagolhatóan kis dózist okozó hasadvány-termékeket nem vesszük figyelembe a forrástagok jellemző összetételének meghatározásakor (nemesgázok, nagyon rövid felezési idejű izotópok). Ennek megfelelően 19 jól elkülöníthető forrástag került meghatározásra a zóna leállása után eltelt idő függvényében ($A(t, mix)$) [12].

A fentiek szerint meghatározott forrástag–idő függvények mindegyikére kiszámításra kerül a SZISZI érték időbeli függése ($SZISZI(t, mix)$) alábbi lépések szerint:

1. Az egyes forrástagokban (mix) lévő valamennyi izotóp relatív aktivitását meghatározzuk a zóna leállást követő idő (t) függvényében ($RA_i(t, mix)$):

$$RA_i(t, mix) = \frac{A_i(t, mix)}{\sum_{j=1}^n A_j(t, mix)}$$

ahol n a figyelembe vett radionuklidok száma és $A_i(t, mix)$ az alábbi módon kerül meghatározásra:

$$A_i(t, mix) = I_{\bar{u},i}(t) \times RF_i(mix), \text{ ahol}$$

- $I_{\bar{u},i}(t) = I_{\bar{u},i}(t_0) \times e^{-\lambda_i \times (t-t_0)}$,
 - $I_{\bar{u},i}(t_0)$ az \bar{u} típusú üzemanyagban az i izotóp teljes mennyisége a leállást követő 30. percben ($t_0=1800$ s), a második tag a bomlás korrekció a t_0 idő óta eltelt idő különbségre számítva, és
 - $RF_i(mix)$ az adott mix forrástag esetében az i izotóp kibocsátási hányada.
2. Vonatkoztatási személy meghatározása az ICRP ajánlásai alapján. A vonatkoztatási személy egy elméleti modell, nem az érintett lakosság egy konkrét tagját értjük alatta. A modell konzervatív módon egyesíti az ICRP által bevezetett különböző korú vonatkoztatási személyek belső és külső dózis modelljeit úgy, hogy az adott besugárzási útvonalon a legnagyobb dózisterhelést kapjuk. Ezzel biztosítható, hogy az érintett lakossági csoport egyik tagja sem kaphat a vonatkoztatási személyre számítható dózisonál nagyobb sugárterhelést [13].
 3. Besugárzási útvonalak és a vonatkozó dóziskonverziós tényezők meghatározása. Ezzel kapcsolatban feltesszük, hogy az érintett lakosság normál életet él 7 napig, azonban nem fogyaszt a szennyezett területről származó élelmiszert, tejet vagy ivóvizet, mert feltételezzük, hogy az általános veszélyhelyzet kihirdetése miatt az élelmiszer-fogyasztási korlátozások megelőző óvintézkedésként már bevezetésre kerültek. A SZISZ1 esetében csak a talajra kihullott szennyezettségtől származó dózist vesszük figyelembe, a radioaktív felhőtől származó külső és annak belélegzésétől származó belső dózisokat nem, hiszen feltesszük, hogy az általános veszélyhelyzet kihirdetése alapján bevezetett megelőző óvintézkedések ezek elkerülését lehetővé tették.
 4. A talaj szennyezettségétől származó sugárterhelés számítása során az alábbi besugárzási forgatókönyveknek megfelelő dózisokat számítottuk: az alábbi referencia személyekre [12]:
 - a. a talajra kihullott radioaktív izotóptól származó, az egyéves gyermeket érő külső effektív dózis és az embriót érő egyenérték dózis 7 napra integrálva;
 - b. a talajra kihullott radioaktív izotópok természetes visszaporlódása során a levegőbe visszajutott izotóptól származó, az 1 éves gyermeket érő külső effektív dózis és az embriót érő egyenérték dózis 7 napra integrálva;
 - c. a talajra kihullott radioaktív izotópok természetes visszaporlódása során a levegőbe visszajutott izotópok belélegzéséből származó, könnyű fizikai terhelésnek kitett légzési sebességű felnőttet érő lekötött effektív dózis és hasonló körülményeknek kitett állapotos nő esetében az embriót érő lekötött egyenérték dózis;
 - d. radioaktív por véletlen lenyeléséből származó, átlagos mozgás aktivitással jellemezhető gyerek lekötött effektív dózisa és hasonló körülményeknek kitett állapotos nő esetében az embriót érő lekötött egyenérték dózis;

Az egyes besugárzási útvonalakhoz tartozó izotópspecifikus (i) dóziskonverziós tényezők (teljes effektív dózis Δ időre integrálva $E_{\text{talaj},i}(\Delta)$ [Sv/(Bq/m²)], illetve az embriót érő egyenérték dózis $H_{\text{talaj,emb},i}(\Delta)$ [Sv/(Bq/m²)] levezetése és értéke a [12] irodalomban található, részletezésüktől itt eltekintünk.
 5. A környezeti dózisegyenérték-teljesítmény meghatározása. A SZISZ1 esetében a környezeti dózisegyenérték-teljesítményt $H^*(10)$ mérjük 1 m magasságban, amelyet a

fentebb ismertetett dóziskonverziós tényezők ismeretében az alábbi módon tudunk számítani.

Meghatározzuk az adott i izotóp egységnyi felületi aktivitása esetén mérhető környezeti dózisegyenérték-teljesítményt [$H_{talaj,i}^*$ [(Sv/s)/(Bq/m²)] az alábbi egyenlet alapján.

$$H_{talaj,i}^* = e_{sik,i}(fel\acute{n}\acute{o}tt) \times CorF_{talaj} \times SF_{e \rightarrow H^*}$$

ahol $e_{sik,i}(fel\acute{n}\acute{o}tt)$ [(Sv/s)/(Bq/m²)] az egységnyi felületi aktivitás-koncentrációjú i izotóppal egyenletesen szennyezett végtelen síkra számítható effektív dózisteljesítmény, $CorF_{talaj} = 0,7$, a talaj egyenetlenségére vonatkozó korrekciós faktor és $SF_{e \rightarrow H^*} = 1.4$ scaling-faktor, amely a releváns foton-energiák esetében a mérhető környezeti dózisegyenérték-teljesítmény és az effektív dózis-teljesítmény hányadosa.

A SZISZ1 értékének számítása forrástagonként az idő függvényében ($SZISZ1(t, mix)$ [μ Sv/h]) az alábbi egyenlet alapján történik:

$$SZISZ1(t, mix) = \left(\sum_i (RA_i(t, mix) \times H_{talaj,i}^*) \right) \times WF_{SZISZ1} \times UC \times DA_{SZISZ1}(t, mix)$$

ahol

- $WF_{SZISZ1} = 3$, biztonsági tényező annak elkerülésére, hogy a SZISZ1 feletti mérési eredmény alapján nem indokolt beavatkozást rendeljenek el, $UC = 3,6 \times 10^9$ (μ Sv/h)/(Sv/s) dimenziókonverziós tényező.
- $DA_{SZISZ1}(t, mix)$ [Bq/m²] az adott mix forrástagnak megfelelő izotóp-összetétel esetében az a legkisebb összes felületi aktivitáskoncentráció érték ($A_{SZISZ1}(t, mix)$), amely esetében már az SZISZ1-hez tartozó általános dóziskritérium (ÁK(sürgős, 7 nap)) valamelyike teljesül. Általánosságban egy adott általános kritériumhoz tartozóan ez a feltétel a következőképp írható fel:

$$A_{SZISZ1}(t, mix) \times \left(\sum_i (E_{talaj,i}(7 \text{ nap}) \times RA_i(t, mix)) \right) \geq \text{ÁK}(sürgős, 7 \text{ nap})$$

A [12] irodalom szerint a fentiek alapján számított SZISZ1(t,mix) függvények mindegyik forrástag esetében a 1000 μ Sv/h állandó értéknek megfelelő vonal felett helyezkednek el, ezzel konzervatív módon biztosítható, hogy a SZISZ1 érték feletti mérés esetén nagy valószínűséggel a kapcsolódó általános kritérium teljesül, tehát a sürgős beavatkozás indokolt.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Kapitány Sándor, Vincze Árpád: A lakossági óvintézkedések bevezetésének feltételei veszélyhelyzetben, Sugárvédelem, XI. évf. (2018) 2. szám. 1–7.
- [2] Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor. EPR-NPP Public Protective Actions. IAEA, Vienna (2013)
- [3] Országos Nukleárisbaleset-elhárítási Intézkedési Terv (v3.0, 2018. február)
- [4] Deme Sándor, Pázmándi Tamás, C. Szabó István, Szántó Péter. Az általános környezeti veszélyhelyzet létrejöttét befolyásoló tényezők vizsgálata, Sugárvédelem VII. évf. (2014) 1. szám. 43–56
- [5] OBEIT 3.5 útmutató 2. verzió (2014). OAH honlap.

- [6] Zelenák János, Csurgai József, Halász László, Solymosi József, Vincze Árpád: A légi sugárfelderítés képességei alkalmazhatóságának vizsgálata elveszett, vagy ellopott sugárforrások felkutatása, illetve szennyezett terepszakaszok felderítése során, *Hadmérnök* IV. évf. (2009) 1. szám 46-62
- [7] Nagy Gábor, Bäumlér Ede, Csurgai József, Molnár László, Pintér István, Vincze Árpád, Zelenák János, Solymosi József: PIN dióda alkalmazhatósága pilóta nélküli légi sugárfelderítésben, *Repüléstudományi Konferencia, Szolnok, 2009*
- [8] Gamma Műszaki Zártkörű Részvénytársaság weblap link: <http://www.gammatech.hu/?module=downloads&lang=hun&category=datasheets#bns94fm.pdf> (letöltés ideje: 2019.03.22)
- [9] Reinhardt Anikó, Bäumlér Ede: Járműfedélzeti sugárszintmérő detektorok elhelyezésének optimalizálása, XXXVI. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Hajdúszoboszló, 2011. Bäumlér 2011
- [10] Zelenák János, Nagy Gábor, Csurgai József, Molnár László, Pintér István, Bäumlér Ede, Solymosi József: A légi sugárfelderítés képességei alkalmazhatóságának vizsgálata elveszett, vagy ellopott sugárforrások felkutatása, illetve szennyezett terepszakaszok felderítése során, *Repüléstudományi Konferencia, Szolnok, 2009*
- [11] Solymosi József, Bäumlér Ede, Nagy Lajos György, Gujgiczér Árpád, Gresits Iván, Zagyvai Péter, Dorogi László, Vodicska Miklós, Vajda Nóra, Takács Márta: Eljárás és berendezés ismeretlen összetételű és/vagy többkomponensű főként hasadási termékekkel kontaminált terepszakaszok sugárszintjének légi felderítésére, HU 201161 B Szolgálati találmány.
- [12] EPR-NPP-OILs (2017) – „Operational intervention levels for reactor emergencies and methodology for their derivation. IAEA, Vienna (2017).
- [13] International Commission on Radiological Protection, *Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public and the Optimisation of Radiological Protection: Broadening the Process*, ICRP Publication 101, Elsevier, Oxford (2006).

Készült a SOMOS Alapítvány támogatásával