

# **Tűzoltói beavatkozás sugárveszélyes környezetben: felkészülés, helyszíni döntéstámogatás, dekontaminálás és szennyezett eszközök kezelése**

**A cikk célja annak bemutatása, hogy a tűzoltók sugárveszélyes környezetben történő beavatkozása során milyen szervezési, képzési, mérési, dozimetriai, védőeszköz használati, dekontaminálási és eszközkezelési intézkedések növelik bizonyíthatóan a beavatkozók biztonságát.**

A cikk apropóját a csernobili atomerőműbaleset 40. évfordulója adja, amely nem történeti dramatizálásra, hanem a beavatkozó sugárvédelem rendszerszintű tanulságainak újraértékelésére kínál lehetőséget. A módszer nemzetközi szakirodalmi és normatív források elemzése: IAEA, ICRP, UNSCEAR, WHO, OSHA, NIOSH, CDC/REMM, EPA, NIST és ISO dokumentumok, valamint a csernobili balesetre vonatkozó hivatalos értékelések kerültek felhasználásra. A cikk a felkészüléstől a helyszíni zónakialakításon, dózismonitorozáson, beavatkozási prioritásokon és egyéni védelmen át a személyi, eszköz, jármű és hulladékdekontaminálásig követi végig a folyamatot. Külön fejezet tárgyalja a szennyezett védő és beavatkozó eszközök elkülönítését, mérését, címkézését, dekontaminálását, visszaállítását vagy selejtezését.

A következtetés szerint a tűzoltói biztonságot nem egyetlen eszköz, hanem a kockázatértékelés, mérés, zónamenedzsment, megfelelő légzésvédelem és bőrvédelem, igazolt dekontaminálás, dokumentált eszközkezelés és hosszú távú dozimetriai utánkövetés integrált rendszere növeli.

**Kulcsszavak:** sugárvédelem, tűzoltói beavatkozás, radiológiai veszélyhelyzet, dekontaminálás, személyi dozimetria, szennyezett védőeszköz, Csernobil, ALARA

## **Bevezetés**

A csernobili atomerőműbaleset 1986. április 26-án következett be, így 2026-ban a baleset 40. évfordulója különösen időszerűvé teszi a sugárveszélyes környezetben végzett tűzoltói és mentési beavatkozások szakmai újraértékelését. A jubileum nem emlékeztetőpolitikai vagy publicisztikai apropó ebben a cikkben, hanem egy olyan szakmai alkalom, amely ráirányítja a figyelmet a beavatkozó információellátás, a sugárfelderítés, a dozimetriai kontroll, a dekontaminálás és a szennyezett eszközök kezelésének tartós jelentőségére. A Csernobilról szóló hivatalos ENSZ és WHO értékelések kiemelik, hogy a baleset korai szakaszában jelentős sugárterhelés érte a helyszíni munkavállalókat és beavatkozókat, és 134 személynél igazoltak akut sugárbetegséget, e tény önmagában is indokolja, hogy a modern tűzoltói beavatkozási rendszerben a radiológiai veszélyt ne ritka kivételként, hanem előre tervezhető, gyakorolható műveleti kockázatként kezeljük (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation [UNSCEAR], n.d., World Health Organization [WHO], 2011).

A cikk szerzői gyakorlott tűzoltók Kocsis Zoltán sugárvédelmi szakértői végzettséggel is rendelkezik. Ez a személyes szakmai háttér nem helyettesíti a forrásalapú érvelést, hanem a téma kiválasztását és a sugárvédelmi szempontok rendszerezését magyarázza. A sugárvédelmi közlésekben különösen fontos a szakmai hozzáértés egy pontatlan dózisérték, félreértett védőeszközkezelés vagy nem dokumentált dekontaminálási küszöb hibás műveleti döntésekhez vezethet (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2015, International Commission on Radiological Protection [ICRP], 2007).

A tűzoltóság sugárveszélyes környezetben nem izolált radiológiai feladatot végez, hanem tűzoltási, műszaki mentési, életmentési, veszélyesanyagkezelési, logisztikai és kommunikációs

tevékenységeket integrál egy olyan helyzetben, amelyben a sugárzás gyakran nem érzékelhető emberi érzékszervekkel. Ezért a beavatkozási biztonság alapja az, hogy a radiológiai kockázatot a művelet elejétől kezdve mérhető, dokumentált és szervezetenként kontrollált veszélyként kezeljük. Az IAEA első beavatkozóknak szóló kézikönyve kifejezetten gyakorlati útmutatót ad a radiológiai veszélyhelyzet első óráira, miközben a GSR Part 7 követelményrendszere a kormányzati, szervezeti és beavatkozási felkészültséget egységes rendszerbe helyezi (IAEA, 2006a, 2015).

A cikk központi állítása az, hogy a tűzoltók biztonságát sugárveszélyes környezetben nem egyetlen védőruha, mérőműszer vagy protokoll biztosítja. A védelem akkor működik, ha a felkészítés, a riasztási információ, a felderítés, a zónakialakítás, az egyéni és kollektív védelem, a dózismonitorozás, a belépéskilépés kontrollja, a beavatkozási rotáció, a dekontaminálás, a szennyezett eszközök elkülönítése és az esemény utáni egészségügyi dozimetriai utánpótlás egymást erősítő rendszerként működik (IAEA, 2018a, Occupational Safety and Health Administration [OSHA], n.d.a).

A cikk gyakorlati célcsoportja a tűzoltósági és katasztrófavédelmi vezetés, a beavatkozási irányítás, a sugárvédelmi szakértők, a veszélyesanyagelhárításban dolgozó egységek, a tűzoltóképzésben részt vevő oktatók, valamint azok a lektorok és döntéshozók, akik a műveleti ajánlások forrásalapú ellenőrizhetőségét várják el. A hangsúly ezért kettős: egyrészt sugárvédelmi alapelveket magyaráz, másrészt műveleti következményeket von le a tűzoltói beavatkozás sajátosságaira nézve.

## Módszertan és forráskiválasztási elvek

A cikk szakirodalmi és normatív dokumentumelemzésen alapul. Elsődleges forrásként olyan nemzetközi szervezetek és hivatalos intézmények anyagai kerültek kiválasztásra, amelyek sugárvédelmi, radiológiai veszélyhelyzeti, munkaegészségügyi vagy első beavatkozási kompetenciával rendelkeznek. Ide tartoznak az IAEA biztonsági követelményei és útmutatói, az ICRP ajánlásai, az UNSCEAR és a WHO csernobili értékelései, az OSHA/NIOSH munkavédelmi és CBRN védőeszközanyagok, a CDC és a Radiation Emergency Medical Management (REMM) dekontaminálási útmutatói, az EPA radiológiai vészhelyzeti tervezési dokumentumai, valamint a NIST CBRN dekontaminálási eszközválasztási útmutatója (IAEA, 2015, ICRP, 2020, National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH], 2008, U.S. Environmental Protection Agency [EPA], 2017).

A forráskiválasztás értékelésénél különbséget kell tenni kötelező nemzetközi biztonsági követelmény, ajánlás, nemzeti példa, gyakorlati kézikönyv és tudományos konszenzust tükröző szakmai értékelés között. Az IAEA GSR Part 7 például követelményrendszerként írja le a nukleáris vagy radiológiai veszélyhelyzetekre való felkészülés és válaszadás kereteit, míg az IAEA első beavatkozási kézikönyve konkrét műveleti lépéseket ad a kezdeti beavatkozásra (IAEA, 2006a, 2015). Az OSHA amerikai munkavédelmi környezetben megfogalmazott iránymutatásai nem tekinthetők automatikusan más ország jogi előírásának, de jól használhatók összehasonlító, validálható szakmai példaként (OSHA, n.d.a).

A módszer egyik korlátja, hogy a nemzetközi források eltérő jogi környezetben, eltérő szervezeti struktúrára készültek. A cikk ezért nem állítja, hogy bármely külföldi érték vagy eljárás közvetlenül, jogi adaptáció nélkül alkalmazandó magyar tűzoltósági gyakorlatban. Ahol dózisérték vagy műveleti küszöb szerepel, ott a szöveg jelzi, hogy az nemzetközi ajánlás, IAEA útmutató, OSHA példa vagy más intézményi keret, és az adott szervezet által meghatározott felhasználási feltételekhez kötött (IAEA, n.d.a, OSHA, n.d.a).

A cikk konklúziói szintetizáló jellegűek: a különböző forrásokból származó azonos elveket például idő, távolság, árnyékolás, ALARA, mérésen alapuló zónakontroll, dozimetriai nyilvántartás, védőeszközkorlátok, dekontaminálás és szennyezésterjedés megakadályozása a

tűzoltói művelet teljes életciklusára vetíti ki. Ahol a források eltérő részletességgel tárgyalnak egy témát, a cikk nem oldja fel önkényesen az eltéréseket, hanem a bizonytalanságot a megállapítás korlátjaként kezeli.

## Fogalmi és sugárvédelmi alapok

A sugárveszélyes tűzoltói beavatkozás megértéséhez elsőként külön kell választani az ionizáló sugárzásnak való kitettséget és a radioaktív szennyeződést. Sugárterhelés akkor is létrejöhét, ha a személy testén vagy ruházatán nincs radioaktív anyag, például egy zárt gammasugárforrás közelében a beavatkozó külső besugárzást kaphat anélkül, hogy kontaminálnódna. Radioaktív szennyeződés akkor áll fenn, ha radioaktív anyag kerül a bőrre, ruházatra, hajra, eszközre, járműre, felületre vagy a szervezetbe belégzés, lenyelés, seb vagy nyálkahártya útján (Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2024a, ICRP, 2020).

Az ionizáló sugárzás legfontosabb beavatkozási szempontból releváns típusai az alfa, béta, gamma és röntgensugárzás, valamint bizonyos helyzetekben a neutronsugárzás. Az alfarészecskék külsőleg általában kis áthatoló képességűek, de belső kontamináció esetén jelentős lokális dózist okozhatnak, a béta-sugárzás bőr és szemlencseexpozícióban, illetve belső kontaminációban lehet fontos, a gamma és röntgensugárzás nagyobb áthatoló képessége miatt a tűzoltói védőruházat önmagában nem tekinthető megfelelő árnyékolásnak, a neutronok különleges forrásoknál és nukleáris létesítményi helyzetekben jelenhetnek meg (IAEA, 2014, ICRP, 2007).

A dóziszfogalmak pontos használata a beavatkozási döntések validálhatóságának feltétele. Az elnyelt dózis mértékegysége a gray (Gy), amely az anyagban elnyelt energia tömeg szerinti mennyiségét fejezi ki. Az egyenértékű dózis és az effektív dózis mértékegysége a sievert (Sv), amelyek sugárzási súlytényezőket, illetve szöveti súlytényezőket is figyelembe vesznek a kockázat becsüléséhez. A dózisteljesítmény időegységre jutó dózis, amely a beavatkozási idő korlátozásában és a zónahatárok meghatározásában közvetlen műveleti jelentőségű (IAEA, 2014, ICRP, 2007).

A külső és belső sugárterhelés eltérő műveleti kontrollt igényel. Külső gamma vagy röntgensugárzás esetén az idő, távolság és árnyékolás elve a meghatározó, belső terhelésnél a belégzés, lenyelés, bőrön átjutás és sebkontamináció megelőzése kerül előtérbe. A légzésvédelem, a kesztyűzés, a zárt ruházati rétegek, a kontrollált levetkőzés és a dekontaminálási sor ezért elsősorban a kontamináció és az internalizáció megakadályozására szolgál, nem pedig a nagy áthatoló képességű külső gammasugárzás teljes kivédésére (OSHA, n.d.a, Radiation Emergency Medical Management [REMM], n.d.a).

Az ALARA elv (as low as reasonably achievable) azt jelenti, hogy a sugárterhelést az adott helyzetben ésszerűen elérhető legalacsonyabb szinten kell tartani. A tűzoltói gyakorlatban ez nem absztrakt sugárvédelmi jelszó, hanem műveleti tervezési elv: csökkenteni kell a belépések számát és időtartamát, növelni kell a forrástól való távolságot, ki kell használni a rendelkezésre álló árnyékolást, mérési adatokhoz kell kötni a zónákat, és dokumentálni kell az egyéni dózisoskat (IAEA, 2018a, OSHA, n.d.a).

A dóziskorlátok és beavatkozási irányadó értékek különböznek tervezett, veszélyhelyzeti és meglévő expozíciós helyzetben. Az ICRP és az IAEA rendszere a sugárvédelmi döntéseket nem csupán számszerű határokra építi, hanem a helyzet típusára, az intézkedés indokoltságára és a védelem optimalizálására (IAEA, 2014, ICRP, 2007). Veszélyhelyzetben az életmentés vagy súlyos következmények elhárítása indokolhat magasabb beavatkozási kockázatot, de csak önkéntesség, kockázattértés, megfelelő képzés, dozimetria és vezetői jóváhagyás mellett (IAEA, n.d.a, IAEA, 2015).

A radioaktív szennyeződés műveleti szempontból nemcsak egészségügyi kérdés, hanem logisztikai és szervezeti probléma is. A kontamináció a ruházattal, tömlőkkel, kéziszerszámokkal, légzőkészülékekkel, hordágyakkal, járművekkel, hulladékkal és dekontamináló vízzel áterjedhet a tiszta zónára, kórházba, tűzoltólaktanyába vagy javítóműhelybe. Ezért a sugárveszélyes beavatkozás végpontja nem a tűz eloltása vagy a sérült átadása, hanem a személyek, eszközök, járművek, hulladékok és nyilvántartások kontrollált lezárása (IAEA, 2006a, REMM, n.d.b).

## **Radiológiai veszélyhelyzetek és tűzoltói kockázati profilok**

Radiológiai veszélyhelyzet nemcsak atomerőművi balesetben fordulhat elő. A tűzoltóság találkozhat lezárt vagy nyitott radioaktív forrásokkal ipari radiográfiában, orvosi és kutatási létesítményekben, laboratóriumokban, izotópszállítás során, hulladékkezelésnél, árva sugárforrások felfedezésekor, szennyezett fémhulladék vagy törmelék esetén, radiológiai diszperziós eszköz alkalmazásakor, vagy vegyes CBRN eseményben. Az OSHA radiológiai vészhelyzeti áttekintése és az IAEA első beavatkozói anyagai egyaránt többféle eseménnytípust sorolnak fel, ami alátámasztja, hogy a tűzoltói felkészítésnek nem szabad kizárólag nukleáris létesítményi balesetre korlátozódnia (IAEA, 2006a, OSHA, n.d.b).

A kockázati profil szempontjából alapvető kérdés, hogy a veszélyt zárt sugárforrás, szétszóródott radioaktív por vagy folyadék, levegőben lévő radioaktív aeroszol, sugárzó törmelék, kontaminált személy, kontaminált jármű vagy kevert vegyibiológiai-radiológiai környezet okozza-e. Egy zárt gammaforrásnál a belső kontamináció kockázata kicsi lehet, de a külső dózisteljesítmény magas, egy radiológiai diszperziós eseménynél a beavatkozók fő kockázata gyakran a belégzés, felületi szennyeződés és a másodlagos kontamináció (OSHA/NIOSH, 2005, REMM, n.d.a).

Tűzoltói nézőpontból különösen veszélyesek azok a helyzetek, amelyekben a radiológiai veszély elsöre nem ismert. A tűz, robbanás, közlekedési baleset, raktártűz vagy hulladéktelepi esemény során a sugárforrás csak a helyszínfelmérés későbbi szakaszában azonosítható. Ezért a veszélyesanyagazonosítás, jelölések keresése, szállítási dokumentumok vizsgálata, tanúk és üzemeltetők kikérdezése, valamint a sugárzásmérő műszer korai alkalmazása nem adminisztratív többlet, hanem a beavatkozói biztonság első védelmi vonala (IAEA, 1999, 2000).

A radiológiai események gyakran együtt járnak más veszélyekkel: hőterheléssel, füsttel, oxigénhiánnyal, toxikus gázokkal, robbanásveszéllyel, romosodott szerkezetekkel, éles törmelékkel, biológiai vagy vegyi kontaminációval és pszichoszociális nyomással. Az OSHA/NIOSH CBRN védőeszközmátrixa ezért kockázatalapú PPE választást javasol, és figyelmeztet arra, hogy a zónák és védőeszközszintek a veszély jellegével változhatnak (OSHA/NIOSH, 2005). A tűzoltói döntésekben a sugárvédelmi optimum csak akkor értelmezhető, ha a nem radiológiai halálos kockázatokat is figyelembe vesszük.

A tűzoltók radiológiai kockázatát a feladatprofil is módosítja. Más kockázatot vállal a felderítő mérőpár, az életmentést végző raj, a tűzoltást végző állomány, a dekontamináló állomás személyzete, a légzőkészülékkarbantartó, a járművezető, a logisztikus, a hulladékcsomagolást végző személy és az utólagos eszközmentésben részt vevő technikus. Az IAEA munkavállalói sugárvédelmi útmutatása hangsúlyozza, hogy a veszélyhelyzeti munkavállalók szerepeit, felelőségeit, védőintézkedéseit, dozimetriai ellátását és hozzáféréskontrollját előre kell tervezni (IAEA, 2018a, IAEA, n.d.a).

## Tűzoltói felkészülés sugárveszélyes beavatkozásra

A felkészülés első szintje a sugárvédelmi alapismeretek rendszeres képzése. A tűzoltónak nem kell sugárfizikussá válnia, de értenie kell az expozíció és kontamináció különbségét, a mérőműszer riasztásának jelentését, a személyi dózismérő használatát, a zónahatárok jelentőségét, a légzésvédelem korlátait, a levetkezés kockázatát és a szennyezett eszközök laktanyába történő visszaszállításának veszélyeit. Az IAEA első beavatkozói képzési programja kifejezetten tűzoltókat, rendvédelmi, mentő és felderítő csoportokat céloz, és a felderítéstől a járművek és eszközök dekontaminálásáig tárgyalja a feladatokat (IAEA, 2006a, IAEA, n.d.b).

A képzésnek gyakorlatközpontúnak kell lennie. A papíron ismert ALARA elv műveleti helyzetben csak akkor működik, ha a beavatkozó begyakorolta a gyors, de ellenőrzött belépést, az előre megtervezett feladatvégzést, a mérőműszer leolvasását, a rádiós jelentési rendet, a riasztási szintekre adott reakciót, a kontrollált kilépést és a dekontaminálási vonalon való áthaladást. A NIOSH CBRN légzésvédelmi és PPE útmutatói azt is hangsúlyozzák, hogy a védőeszköz hatékonysága a kiválasztás, illesztés, karbantartás, kiképzés és használat összhangjától függ (NIOSH, 2008, 2025).

A sugárveszélyes eseményekre vonatkozó riasztási információs láncban a tűzoltóság mellett szerepet kell kapnia az üzemeltetőnek, a sugárvédelmi szakértőnek, a veszélyesanyagazonosításért felelős csoportnak, a katasztrófavédelmi vezetésnek, az egészségügyi rendszernek, a rendőrségnek és szükség esetén a környezetvédelmi vagy nukleáris hatóságnak. A GSR Part 7 egyik fő üzenete, hogy a nukleáris vagy radiológiai veszélyhelyzetre való felkészülés nem ad hoc kapcsolatokra, hanem előzetesen meghatározott felelőségekre, kommunikációs csatornákra és koordinációs mechanizmusokra épül (IAEA, 2015).

A helyszínfelderítés előkészítése magában foglalja a mérőműszerek rendelkezésre állását, kalibráltságát, megfelelő mérési tartományát és a felhasználói kompetenciát. Az IAEA monitorozási eljárásai arra épülnek, hogy a sugármérés célja nem pusztán a veszély tényének megállapítása, hanem a védőintézkedések és műveleti döntések megalapozása (IAEA, 1999). A tűzoltósági gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a mérési eredménynek rögzített egysége, helye, ideje, mérési geometriai körülménye és műszertípusa legyen, ellenkező esetben az adat később nehezen használható döntéstámogatásra vagy lektori visszakövetésre.

A védőeszköz és logisztikai felkészülésnek ki kell terjednie a védőruházatra, légzésvédő eszközökre, tartalék palackokra, kesztyűkre, csizmavédőkre, szemvédelemre, személyi dózismérőkre, dózisteljesítménymérőkre, felületi kontaminációmérőkre, dekontamináló eszközökre, csomagolóanyagokra, címkékre, zárható tárolókra, hulladékgyűjtő zsákokra, abszorbens anyagokra és a nyilvántartáshoz szükséges dokumentációs eszközökre. A REMM kórházi és dekontaminálási anyagai ugyan egészségügyi környezetből indulnak ki, de a címkézés, elkülönítés, zárt tárolás és mérés alapelvei a tűzoltói logisztikában is alkalmazhatók (REMM, n.d.b, n.d.c).

A felkészülés része a szolgálatba visszaállítási protokoll is. Ha egy tűzoltóság csak a helyszíni beavatkozásra rendelkezik tervvel, de nincs előre rögzített eljárása a szennyezett légzőálarc, tömlő, csizma, kesztyű, sugárvédelmi mérőműszer, gépjárműfülke vagy mállhatér kezelésére, akkor a művelet kockázata a laktanyába és a karbantartási láncba helyeződik át. A beavatkozói biztonság ezért már a felkészülési szakaszban megköveteli a szennyezett eszközök sorsának előzetes szabályozását (IAEA, 2006b, OSHA, n.d.a).

## Dozimetria, sugárfelderítés és döntéstámogatás

A dozimetria célja nem kizárólag utólagos adminisztráció, hanem a beavatkozás közbeni döntéshozatal támogatása. A személyi dózismérő, az elektronikus riasztó dózismérő, a

dózteljesítménymérő és a felületi kontaminációmérő eltérő kérdésekre válaszolnak. A személyi dózismérő a beavatkozóhoz rendelt dózist követi, a dózteljesítménymérő a térbeli veszélyt jellemzi, a kontaminációmérő pedig azt mutatja, hogy radioaktív anyag került felületre, ruhára, bőrre vagy eszközre (IAEA, 2004a, 2004b).

A sugárfelderítés során a mérés nem lehet öncélú. A tűzoltásvezetésnek olyan kérdésekre van szüksége válaszra, hogy hol jelölhető ki a belépési pont, hol húzható meg a forró/meleg/hideg zóna határa, milyen útvonalon lehet sérültet menteni, milyen időtartamú belépés fér bele az előre meghatározott dóziskorlátba, kell-e légzésvédelem a radioaktív por vagy füst miatt, és kiadható-e egy eszköz vagy jármű általános használatra. Az IAEA monitorozási eljárásai ezért környezeti, forrás, személyi és eszközmonitorozást egyaránt tárgyalnak (IAEA, 1999, 2006a).

A beavatkozási dózisok tervezésénél az IAEA kiinduló elve az, hogy a veszélyhelyzeti munkavállaló expozíciója szándékos és kontrollált, ezért a munkavállalói dóziskorlátokat kell feltételezni alkalmazandónak, hacsak nincs kényszerítő ok az eltérésre. Az IAEA emergency workers oldala szerint a válaszadó szervezeteknek és munkáltatóknak biztosítaniuk kell, hogy veszélyhelyzetben senki ne kapjon 50 mSv feletti effektív dózist, kivéve például életmentés, súlyos sérülés megelőzése, súlyos determinisztikus hatások vagy katasztrofális körülmények megelőzése, illetve nagy kollektív dózis elhárítása esetén (IAEA, n.d.a).

Életmentő feladatoknál az IAEA megfogalmazása szerint minden erőfeszítést meg kell tenni, hogy az egyéni dózis 500 mSv alatt maradjon a külső áthatoló sugárzásra, és más expozíciós útvonalakat minden lehetséges eszközzel meg kell előzni. A 500 mSv feletti érték csak kivételesen, akkor merülhet fel, ha a másoknak nyújtott várható előny egyértelműen meghaladja a beavatkozó saját egészségügyi kockázatát, a beavatkozó önként vállalja a feladatot, és érti, illetve elfogadja a kockázatot (IAEA, n.d.a, IAEA, 2015). Ez nem általános tűzoltói célérték, hanem felső szintű veszélyhelyzeti iránymutatás különleges körülményekre.

Az OSHA amerikai példája más rendszerben, de hasonló elvet fogalmaz meg: korai fázisú katasztrofális radiológiai válasznál rugalmas döntési pontként 5, 10 és 25 rem, azaz 0,05, 0,10 és 0,25 Sv irányszinteket tárgyal, 25 rem feletti bevetéseket pedig csak életmentő vagy kritikus infrastruktúramissziókhöz, külön feltételekhez és teljes kockázattájékoztatáshoz köt (OSHA, n.d.a). A tűzoltói adaptáció szempontjából a lényeg nem az amerikai számok mechanikus átvétele, hanem az, hogy a nagyobb dózisú beavatkozások külön döntési, tájékoztatósi, monitorozási és dokumentációs rezsimit igényelnek.

A dózismonitorozás akkor működik, ha a riasztási szintekhez előre meghatározott cselekvés tartozik. Ha a dózismérő riaszt, a beavatkozónak tudnia kell, hogy azonnali visszavonulás, vezetői jelentés, útvonalváltás, feladatcsere vagy mérési ellenőrzés következik. Az OSHA kifejezetten ajánlja az egyértelmű riasztást adó monitorozó eszközöket, és hangsúlyozza, hogy a beavatkozónak képzésben kell részesülniük arról, mit tegyenek műszeres riasztás esetén (OSHA, n.d.a).

A mérési eredmények dokumentálása a későbbi egészségügyi, jogi, munkavédelmi és lektori ellenőrizhetőség miatt elengedhetetlen. Rögzíteni kell a beavatkozó nevét vagy azonosítóját, a belépés és kilépés idejét, a feladatot, a személyi dózist, a mérőműszer típusát és sorozatszámát, a mért dózteljesítményeket, a kontaminációs adatokat, a dekontaminálás eredményét és az eszközök sorsát. Az IAEA foglalkozási sugárvédelmi útmutatója a dózisok értékelését és nyilvántartását a munkavállalói sugárvédelem alapvető elemének tekinti (IAEA, 2018a).

## **Helyszíni beavatkozás: zónák, prioritások és magasabb kockázatú feladatok**

A helyszíni beavatkozás első szervezési eleme a területbiztosítás és a zónakialakítás. A radiológiai eseményekben gyakran alkalmazott logika szerint el kell különíteni a szennyezett

vagy potenciálisan szennyezett belső területet, a dekontaminálás és átmenet zónáját, valamint a tiszta irányítási és logisztikai területet. Az OSHA/NIOSH CBRN mátrixa red, yellow és green zónákat ír le a szennyezettség és helyszín jellege alapján, míg az IAEA első beavatkozási rendszerében az inner cordoned area és annak határa kulcsszerepet játszik (OSHA/NIOSH, 2005, IAEA, 2006a).

A forró zóna nem egyszerűen földrajzi terület, hanem kontrollált műveleti tér, ahová csak feladattal, megfelelő védőeszközben, mérési és kommunikációs kontroll mellett szabad belépni. A meleg zóna a kilépés, kontaminációmérés, levetkezés, dekontaminálás és eszközgyűjtés területe. A hideg zóna a vezetési pont, pihenő, egészségügyi megfigyelés, logisztika és tiszta tartalék eszközök helye. A zónák csak akkor biztonságosak, ha a forgalom egyirányú, a belép és kilépési pontok kontrolláltak, és az eszközök nem kerülnek vissza ellenőrzés nélkül a tiszta területre (IAEA, 2006b, REMM, n.d.b).

A tűzoltói prioritási sorrend sugárveszélyes környezetben is az életmentés, a súlyos sérülések megelőzése, a további katasztrófális következmények elhárítása és a veszély terjedésének korlátozása köré szerveződik. Ugyanakkor a radiológiai kockázat miatt a beavatkozást korlátozni kell azokra a feladatokra, amelyek indokoltak, mérhető előnnyel járnak, és nem okoznak aránytalan beavatkozási kockázatot. Az ICRP vészhelyzeti expozíciós ajánlása szerint a döntések indokoltságát és a védelem optimalizálását vészhelyzetben is fenn kell tartani (ICRP, 2009a).

A tűzoltás taktikai döntéseiben a sugárforrás közelében végzett támadó beavatkozás nem tekinthető automatikus megoldásnak. A távolabbról végzett hűtés, vízsugár alkalmazása, természetes vagy szerkezeti árnyékolás kihasználása, távirányított vagy hosszabbító eszközök használata, alternatív megközelítési útvonal, illetve a beavatkozók rotációja csökkentheti az egyéni dózist. Ezek a megoldások az idő, távolság és árnyékolás klasszikus elvének tűzoltói alkalmazásai (IAEA, 2018a, OSHA, n.d.a).

A magasabb kockázatú beavatkozás csak akkor indokolt, ha az elérhető haszon például emberélet mentése, súlyos sérülés megelőzése, nagyobb kibocsátás vagy tűzterjedés megakadályozása arányos a beavatkozási kockázattal. Ilyenkor szükséges az előzetes küldetés meghatározás, a várható dózis becslése, az időkorlát, a visszavonulási pont, a tartalék csapat, a kommunikáció, a személyi dozimetria, a feladat utáni kontaminációmérés és az egészségügyi megfigyelés. Az IAEA iránymutatása szerint az 50 mSv feletti feladatok önkéntességet és kockázatértést igényelnek (IAEA, n.d.a).

A veszélykommunikáció a helyszínen nem másodlagos feladat. A beavatkozóknak rövid, egyértelmű és ismételtető információt kell kapniuk arról, milyen veszélyt mértek, hol vannak a zónahatárok, milyen védőeszköz szükséges, milyen riasztási szintek érvényesek, mi a visszavonulási jel, és hol történik a dekontaminálás. A nyilvánosság felé irányuló kommunikációnak el kell különítenie a sugárterhelést a szennyeződéstől, mert a két fogalom keverése pánikot, hibás önmentést és felesleges kórházi terhelést okozhat (CDC, 2024a, ICRP, 2020).

A helyszíni vezetésnek a radiológiai szakértőt nem tanácsadói díszletként, hanem döntéstámogató funkcióként kell integrálnia. A szakértő feladata a mérési adatok értelmezése, az expozíciós útvonalak azonosítása, a beavatkozási dóziskeret véleményezése, a dekontaminálási célok meghatározása, a hulladékkezelési irány kijelölése és annak jelzése, hogy milyen információk hiányoznak a biztonságos döntéshez. Az IAEA GSR Part 7 rendszere a szakértői, intézményi és műveleti szerepek előzetes tisztázását várja el (IAEA, 2015).

## Egyéni védőeszközök és légzésvédelem

A sugárveszélyes beavatkozás egyik leggyakoribb tévedése, hogy a védőruha általános sugárvédelmi pajzsként jelenik meg. A tűzoltó védőruházat fontos védelmet ad hő, láng, mechanikai hatások és egyes szennyeződések ellen, de nem tekinthető alkalmasnak a nagy áthatolóképeségű gamma vagy röntgensugárzás érdemi árnyékolására. Az OSHA radiológiai vészhelyzeti anyaga kifejezetten rögzíti, hogy PPE általában nem védi meg a munkavállalót a legtöbb közvetlen külső sugárterheléstől, viszont segíthet a belső expozíció csökkentésében a radioaktív anyag lenyelésének, belégzésének vagy bőrön keresztüli bejutásának megelőzésével (OSHA, n.d.a).

A légzésvédelem kulcsszerepe a belső sugárterhelés megelőzése. Radioaktív por, füst, aeroszol vagy ismeretlen CBRN veszély esetén a légutak védelme a belélegzett aktivitás csökkentését szolgálja. A NIOSH 2025-ben felülvizsgált CBRN légzésvédelmi kézikönyve szerint CBRN védelemmel rendelkező légzésvédők között önálló légzőkészülékek, levegőtisztító fél vagy teljes álarcok, menekülő légzésvédők és motoros levegőtisztító rendszerek szerepelhetnek, de ezek csak a jóváhagyási feltételeknek megfelelő környezetben használhatók (NIOSH, 2025).

Ismeretlen, életveszélyes vagy több veszélyt tartalmazó atmoszférában a tűzoltói gyakorlatban a pozitív nyomású sűrített levegős légzőkészülék adja a legmagasabb légzésvédelmi biztonságot. Az OSHA/NIOSH CBRN mátrix a nem jellemzett, potenciálisan életveszélyes red zone környezetben általában „A” szintű védelem, pozitív nyomású SCBA-val és teljesen zárt védőruhával számol, amíg a monitorozás más döntést nem tesz lehetővé (OSHA/NIOSH, 2005). Tűzoltási környezetben a hő, füst és oxigénhiány miatt a légzésvédelmi döntést nem lehet kizárólag radiológiai alapon meghozni.

A sugárszennyezés elleni védőruházat kiválasztásánál a cél a külső és belső kontamináció csökkentése, a könnyű dekontaminálhatóság, a kontrollált levetkőzés és a másodlagos szennyeződés megelőzése. Az IAEA PPE kézikönyve szerint a személyi védőeszköz akkor indokolt, ha más módon nem ésszerű teljes védelmet biztosítani, és hatásossága a megfelelő kiválasztástól, illesztéstől, karbantartástól, képzéstől és használatmonitorozástól függ (IAEA, 2004c).

A tűzoltó védőruházati szabványok korlátainak ismerete elengedhetetlen. Az ISO 11613:2017 olyan védőruházatot tárgyal, amely tűzoltást támogató tevékenységekhez kapcsolódik, és a szabvány absztraktja rögzíti, hogy nem terjed ki például vegyi, biológiai, sugárzási és elektromos veszélyek elleni védelemre (International Organization for Standardization [ISO], 2017). Ebből következik, hogy egy szabványos tűzoltó védőruha meglete önmagában nem igazolja a radiológiai kontamináció vagy áthatoló sugárzás elleni alkalmasságot.

A védőeszközöket használat után nem szabad automatikusan tisztának tekinteni. A légzőálarc, palack, hordkeret, reduktor, sisak, kesztyű, csizma, védőruha és aláöltözet felületén radioaktív por vagy folyadék maradhat. A kontrollált levetkőzés, az azonnali elkülönítés, a mérés, a címkézés és a dekontaminálhatóság értékelése ugyanolyan fontos, mint a védőeszköz viselése. A REMM és az OSHA is hangsúlyozza, hogy a kontaminált ruházat, felszerelés és PPE dekontaminálása vagy elkülönítése a szennyezés terjedésének megakadályozásához szükséges (OSHA, n.d.a, REMM, n.d.b).

A PPE kiválasztása dinamikus döntés. A kezdeti bizonytalanság miatt a beavatkozás első szakaszában konzervatívabb védelem lehet indokolt, később azonban a mérési eredmények, veszélyazonosítás és feladatprofil alapján módosítható. A túl magas PPEszint hőstresszt, mozgáskorlátozottságot, kommunikációs nehézséget és palacklevegőfogyást okozhat, a túl

alacsony szint viszont kontaminációhoz és belső expozícióhoz vezethet. A helyes döntés ezért kockázatalapú, mérésre épül és feladatspecifikus (NIOSH, 2008, OSHA/NIOSH, 2005).

### 1. táblázat. Példák műveleti döntési pontokra és dokumentálási követelményekre

Műveleti helyzet	Sugárvédelmi kontroll	Dokumentálandó elem	Fő forrás
Ismeretlen radiológiai veszély	Konzervatív zónakijelölés, mérőműszer bekapcsolva, légzésvédelem	Belépési pont, mérési egység, műszertípus	IAEA, 2006a, OSHA/NIOSH, 2005
Életmentés forró zónában	Előzetes dózisbecslés, időkorlát, önkéntesség magasabb dózis esetén	Küldetés, várható és tényleges dózis, jóváhagyó	IAEA, n.d.a, IAEA, 2015
Kontaminált sérült ellátása	Életmentő ellátás elsősége, kontamináció terjedésének korlátozása	Sérült státusza, ruházat kezelése, dekon eredmény	CDC, 2024d, REMM, n.d.b
Eszközök kiléptetése	Felületi mérés, elkülönítés, címkézés, dekon vagy zárolás	Eszközazonosító, mérés, döntés, felelős	IAEA, 2006b, REMM, n.d.b

## Dekontaminálás: személyek, beavatkozók, sérültek és területek

A dekontaminálás célja a radioaktív anyag eltávolítása vagy olyan mértékű csökkentése, amely mérsékli a további sugárterhelést és megakadályozza a szennyezés terjedését. A CDC meghatározása szerint a dekontaminálás radioaktív anyag eltávolítása személyről, tárgyról vagy helyről, a REMM hasonlóan a külső kontamináció csökkentését, a bőrkárosítás elkerülését és a másodlagos terjedés megakadályozását helyezi előtérbe (CDC, 2024b, REMM, n.d.b).

A személyi dekontaminálás egyik legfontosabb és leggyorsabb lépése a külső ruházati réteg eltávolítása. A CDC és a REMM is azt közli, hogy a külső ruházat levétele akár a radioaktív anyag 90%-át eltávolíthatja. Ezt azonban úgy kell végezni, hogy a por ne rázódjon fel, ne kerüljön a légutakba, és a ruházat zárt zsákba vagy tárolóba kerüljön (CDC, 2024b, REMM, n.d.b).

A mosásnak kíméletesnek kell lennie. Langyos víz, enyhe szappan vagy sampon használata ajánlható, kerülve a forró vizet, a durva súrolást, a bőr felsértését és a hajkondicionáló alkalmazását. A REMM szerint a túl hideg víz a pórusok záródását és hipotermiát, a túl forró víz fokozott bőrvéráramlást és égést okozhat, a kondicionáló a radioaktív anyag hajfehérjéhez kötődését segítheti (REMM, n.d.b). Ezek a részletek tűzoltói dekontamináló ponton is jelentősek, mert a cél nem a bőr roncsolása, hanem a szennyezés csökkentése.

A sérültek dekontaminálásánál az életmentő ellátás elsőséget élvez. A CDC nukleáris detonációs egészségügyi anyaga és a REMM egyaránt hangsúlyozza, hogy a kontamináció kontrollja fontos, de nem késleltetheti az életmentő beavatkozást. A tűzoltói gyakorlatban ez azt jelenti, hogy masszív vérzés, légútveszély, égés vagy traumás sérülés esetén a stabilizálás és kimentés megelőzheti a teljes dekontaminálást, miközben takarással, csomagolással és útvonalkontrollal mérsékelni kell a kontamináció terjedését (CDC, 2024d, REMM, n.d.b).

A beavatkozási dekontaminálásnak elkülönített, egyirányú folyamatnak kell lennie. A belépők és kilépők nyilvántartása, a használt eszközök gyűjtése, a személyzet ruházatának és bőrének ellenőrzése, a mosó vagy törlési lépések, az ismételt mérés és a tiszta zónába lépés engedélyezése külön felelősöket igényel. Az IAEA első beavatkozási digitális útmutatója a beavatkozási kontaminációkontroll területén kontrollált belépést és kilépést, tag board jellegű nyilvántartást, eszközgyűjtést, valamint személyi és eszközdekontaminálási lehetőséget ír le (IAEA, 2006b).

A dekontaminálásnak mérésen kell alapulnia. A REMM általános személyi célként azt közli, hogy a teljes test külső kontaminációját a háttérsugárzás legfeljebb kétszereséig célszerű csökkenteni, és két dekontaminálási ciklust javasol, ha ez megvalósítható, ugyanakkor megjegyzi, hogy nincs minden eseményre alkalmazható egységes célérték, és az ismételt,

hatástalan vagy bőrt károsító mosás nem kívánatos (REMM, n.d.b, REMM, n.d.d). A tűzoltói eljárásban ezért a mérés, az ismételt mérés és az orvosisugárvédelmi konzultáció egyaránt fontos.

A száraz dekontaminálás például ruházat eltávolítása, törlés, kefézés, abszorbens anyag használata előnyös lehet akkor, ha a víz használata fagyási, lefolyási, elektromos, vegyi vagy szennyezésterjedési kockázatot növelne. A nedves dekontaminálás hatékony lehet por, folyadék vagy bőrkontamináció esetén, de elfolyó vizet, csúszásveszélyt, hipotermiát és hulladékkezelési feladatot generál. A NIST CBRN dekontaminálási eszközválasztási útmutatója a dekontamináló berendezések kiválasztásánál többek között kapacitást, alkalmazási célt, hatásosságot és logisztikai szempontokat javasol figyelembe venni (Fatah et al., 2007).

A területdekontaminálás elsődleges beavatkozói célja nem feltétlenül a teljes környezeti rehabilitáció, hanem a műveleti területek biztonságos működtetése és a szennyezés terjedésének megakadályozása. A hosszú távú remediáció, talaj és épületdekontaminálás, hulladékkezelés és visszatelepítés már szélesebb hatósági, környezetvédelmi és közegészségügyi döntérendszer része, amelyben az ICRP 111 és 146 a hosszú távú szennyezett területek kezelésére, optimalizálására és érintetti bevonására ad keretet (ICRP, 2009b, 2020).

### **Szennyezett védő és beavatkozó eszközök kezelése**

A szennyezett védő és beavatkozó eszközök kezelése a sugárveszélyes tűzoltói művelet egyik legkritikusabb, mégis gyakran alulértékelt szakasza. A helyszín elhagyása után a sugárforrás nem szűnik meg automatikusan: a radioaktív por, folyadék vagy szemcsés anyag a védőruházaton, légzőkészüléken, tömlőn, sugárcsővön, kéziszerszámon, hordágyon, mérőműszeren, járműkeréken, málfatereken vagy fülkén maradhat. Ha ezek mérés nélkül kerülnek vissza szolgálatba, a beavatkozási zóna kiterjed a laktanyára, műhelyre, mosóhelyre és a személyzet további csoportjaira (IAEA, 2006b, OSHA, n.d.a).

Az IAEA első beavatkozói digitális útmutatója kifejezett figyelmeztetést ad: az inner cordoned area területén belül használt eszközök vagy a potenciálisan szennyezett sérültek szállítására használt járművek nem adhatók ki általános használatra, amíg radiológiai assessor vagy megfelelő mérőcsoport nem ellenőrizte őket. Ez az elv közvetlenül alkalmazható a tűzoltósági visszaállítási protokollra: a szolgálatba visszaállítás előfeltétele nem az, hogy az eszköz láthatóan tiszta, hanem az, hogy mérési és dokumentációs szempontból felszabadítható (IAEA, 2006c).

Az eszközkézelési folyamat első lépése a helyszíni elkülönítés. Minden olyan védőruha, kesztyű, csizma, csizmavédő, sisak, légzőálc, palack, hevederzet, tömlő, szerelvény, kéziszerszám, mérőműszer vagy egyéb málfatere, amely a forró zónában vagy kontaminált sérült közelében volt, potenciálisan szennyezettnek tekintendő mindaddig, amíg mérés nem igazolja ennek ellenkezőjét. Az elkülönítésnek fizikailag és adminisztratíván is meg kell történnie: külön gyűjtőterület, címke, eszközzonosító, tulajdonos egység, helyszín, dátum, mért érték és döntés szükséges (REMM, n.d.b, IAEA, 2006b).

A kontaminált légzőkészülékek kezelése különös figyelmet igényel, mert a légzőálc és a tüdőautomatika a beavatkozó légzési zónájához kapcsolódik. A külső felületi szennyeződés átvihető a kesztyűre, arcra, karbantartó felületre vagy másik felhasználóra, a nem megfelelően tisztított pántok, csatlakozók és hordkeretek rejtett szennyezési pontokat képezhetnek. A légzőkészüléket ezért a dekontaminálási sorban nem egyszerű ipari mosási tárgyként, hanem személyi biztonsági és sugárvédelmi szempontból kritikus eszközként kell kezelni (NIOSH, 2025, OSHA, n.d.a).

A tömlők, sugárcsővek és kéziszerszámok esetén a radioaktív szennyeződés gyakran a felületi egyenetlenségekben, csatlakozókban, menetekben, szövetszerkezetben, gumi vagy

textilrétegekben, illetve száradás után lerakódott porban maradhat meg. A dekontaminálhatóság ezért anyag és szerkezetfüggő. A sima, nem porózus felületek általában könnyebben tisztíthatók és mérhetők, míg a textil, bőr, erősen porózus vagy sérült anyagok esetében gyakoribb lehet a zárolás vagy selejtezés szükségessége. Az IAEA PPE kézikönyvének alapelve szerint a védőeszköz megfelelő karbantartása és használatmonitorozása a védelmi rendszer része (IAEA, 2004c).

A mérőműszerek sajátos problémát jelentenek. Egyrészt a sugárfelderítéshez szükségesek, másrészt maguk is kontaminálódhatnak. A műszereket lehetőség szerint védőfóliával vagy cserélhető burkolattal kell használni a forró zónában, de a fólia eltávolítása és a műszer felszabadítása csak kontrollált módon történhet. A műszert mérés nélkül nem szabad tiszta irodába, járműbe vagy töltőállomásra vinni, mert a kontamináció így a döntéstámogató infrastruktúrát fertőzheti be. Az IAEA monitorozási útmutatója hangsúlyozza az eszközök feladathoz illő kiválasztását és a mérési eredmények helyes értelmezését (IAEA, 2004a).

A csomagolás és címkézés célja nem pusztán a rend fenntartása, hanem a nyomon követhetőség és a későbbi döntés megalapozása. A REMM a kontaminált törlők, kendők, törölközők és személyi tárgyak zárt, címkézett tárolását javasolja, amelyen szerepel többek között a személy vagy tárgy azonosítója, a gyűjtés ideje, helye és sugárveszélyjelölés (REMM, n.d.b). Tűzoltósági eszközökre adaptálva a címkén minimálisan szerepeljen az eszközazonosító, az egység, a helyszín, a gyűjtési idő, a mért kontamináció vagy dózisteljesítmény, a mérőműszer azonosítója, a mérő személy, valamint a következő döntési pont.

A dekontaminálhatóság értékelése három kérdésből áll. Elsőként meg kell állapítani, hogy az eszköz szennyezte és milyen jellegű a szennyezés. Másodsor ki kell választani a tisztítási módszert, amely nem ronsolja az eszköz biztonsági funkcióját. Harmadszor igazolni kell, hogy a tisztítás után az eszköz megfelele a felszabadítási, tárolási vagy további vizsgálati feltételeknek. A mérés nélküli visszaállítás, illetve a pusztán szemrevételezésen alapuló döntés nem felel meg a validálhatóság követelményének (IAEA, 2006c, REMM, n.d.d).

Az eszközök szolgálatba való visszaállítása csak dokumentált felszabadítás után történhet. A felszabadító döntésnek tartalmaznia kell, hogy mely felületeket mérték, milyen mérőműszerrel, milyen geometriával, milyen háttérérték mellett, milyen eredménnyel, és ki hagyta jóvá a döntést. Ha az eszköz csak korlátozott használatra alkalmas, ezt külön jelezni kell. Ha további szakértői vizsgálat szükséges, az eszközt zárolni kell. Ha dekontaminálása nem lehetséges vagy nem gazdaságos, radioaktív hulladékként vagy szennyezett anyagként történő kezelését az illetékes sugárvédelmi és hulladékkezelési szabályok szerint kell megszervezni (IAEA, 2014, 2015).

A láncolt felelősség azt jelenti, hogy az eszköz sorsa a forró zónából a végső felszabadításig vagy hulladékként történő átadásig végig követhető. A gyűjtőpont személyzete, a dekontamináló csapat, a mérőcsoport, a logisztikai felelős, a javítóműhely és a parancsnoki rendszer mind csak akkor védhető meg a másodlagos szennyezéstől, ha nem szakad meg a dokumentációs lánc. A radioaktív szennyeződés nem látható, ezért a bizalom helyét a mérési és átadási jegyzőkönyvnek kell átvennie (IAEA, 2018a, OSHA, n.d.a).

A tűzoltólaktanyába történő visszaszennyezés megelőzése külön intézkedést igényel. A potenciálisan szennyezett eszközt nem szabad a szokásos mállatérbe, öltözőbe, szárítóba, légzőműhelybe vagy gépjárműmosóba bevinni. A visszaérkező jármű számára elkülönített fogadópon, méréssel igazolt tisztasági ellenőrzés, szennyezett csomagok külön tárolása, személyi kéz és lábbeliellenőrzés, valamint a dokumentáció átadása szükséges. Ezzel megelőzhető, hogy a beavatkozási esemény lezárása után a laktanya váljon alacsony szintű, de tartós kontaminációs helyszínné (IAEA, 2006b, REMM, n.d.b).

## 2. táblázat. Szennyezett védő és beavatkozó eszközök javasolt kezelési mátrixa

Eszközcsoport	Elsődleges kockázat	Azonnali intézkedés	Felszabadítás feltétele
Védőruha, kesztyű, csizma	Felületi radioaktív por vagy folyadék, levetkőzés közbeni átvitel	Elkülönítés, zsákolás, címkézés, mérés	Mérés alapján tiszta vagy dekontaminált, sérült textil esetén zárolás/selejtezés
Légzőálarc, SCBA hevederzet, palack	Arc és légzési zóna másodlagos szennyezése	Külső felületmérés, csomagolás, külön légzőműhelyi átadás	Dekontaminálás után ismételt mérés és funkcióellenőrzés
Tömlő, sugárcső, osztó, kéziszerszám	Porózus vagy tagolt felületekben maradó aktivitás	Külön gyűjtés, csatlakozók és fogantyúk célzott mérése	Felületmérés és vizuális/funkcionális ellenőrzés, maradó szennyezésnél zárolás
Mérőműszerek	A döntéstámogató eszköz kontaminációja	Védőfólia eltávolítása kontrolláltan, műszerház mérése	Tiszta mérés és működési ellenőrzés, kalibrációs státusz megőrzése
Járművek	Kontamináció átvitele laktanyába és későbbi személyzetre	Fogadópont, kerék/fellépő/fülke/málhater mérése	Dokumentált mentesítés vagy szakértői zárolás

## Szennyezett járművek, dekontamináló víz és hulladékok kezelése

A szennyezett járművek kezelése a tűzoltósági rendszerben kiemelt jelentőségű, mert a jármű egyszerre beavatkozási platform, személyszállítási tér, eszköztároló és potenciális kontaminációs vektor. A kerékjáratok, lépcsők, kapaszkodók, tömlőtartók, málhaterületek, fülke padlója, ülések, pedálok és kezelőszervek mind átviteli pontok lehetnek. Ha a jármű potenciálisan szennyezett zónában mozgott, vagy kontaminált személyt, eszközt szállított, nem szabad automatikusan visszaállítani szolgálatba (IAEA, 2006c, REMM, n.d.b).

Az IAEA jármű és eszközmonitorozási útmutatója szerint az eszközmonitorozási és dekontaminálási területet az inner cordoned area határán, alacsony háttérdózisjelzővel helyen célszerű kialakítani, és szükségesek a dekontamináló eszközök, például tűzoltótömlő, kefék és detergenssek. A dokumentum arra is figyelmeztet, hogy egyes műszerek nagyon magas sugárzási szinteken telítődhetnek és tévesen alacsony vagy nulla értéket mutathatnak, ezért megfelelő mérési tartományú műszerrel kell közelíteni a helyszínhez (IAEA, 2006c).

A járművek dekontaminálásánál a cél nem csupán a külső mosás. Meg kell határozni a szennyezés útját: kerékkal, eszközzel, személyi védőruhával, sérültszállítással, légáramlással vagy lefolyó vízzel kerülte a járműre. A dekontaminálásnak ezért felülről lefelé, tisztábbtól szennyezettebb irányba, elfolyáskontrollal és köztes mérésekkel kell történnie. A fülke belseje különösen érzékeny, mert ott a vezető és a személyzet védőeszköz nélkül is tartózkodhat a későbbi szolgálatokban.

A dekontamináló víz kezelése eseménymérettől függ. A REMM szerint kisebb radiológiai eseményekben a szennyezett effluens<sup>1</sup> víz gyűjtése és tartályokban történő tárolása megvalósítható lehet, későbbi mintavétellel és megfelelő ártalmatlanítással, nagy tömeges eseményekben azonban az összes effluens gyűjtése nem feltétlenül kivitelezhető (REMM, n.d.b). A tűzoltói tervezésben ezért előre kell gondolni mobil gyűjtőtálcákra, zárható tartályokra, lefolyásgátlásra és arra, hogy mikor kell környezetvédelmi vagy sugárvédelmi hatósági konzultációt kérni.

A szennyezett hulladékok közé tartozhatnak eldobható védőruhák, kesztyűk, csizmavédők, törlőkendők, fóliák, abszorbensek, szűrők, csomagolóanyagok, szennyezett ruházat, sérült eszközök és a dekontaminálás során keletkező iszap vagy víz. Ezeket nem lehet szokásos kommunális hulladékként kezelni mindaddig, amíg sugárvédelmi mérés és minősítés nem történt. Az IAEA alapvető biztonsági követelményei a sugárforrások és radioaktív anyagok

<sup>1</sup> környezetvédelemben és az iparban elsősorban a tisztítási folyamat után egy víztestbe (folyóba, tóba) kibocsátott kezelt szennyvizet, vagy egy ipari rendszerből távozó folyékony hulladékot jelöl.

kontrollját, a GSR Part 7 pedig a veszélyhelyzeti válaszadásban keletkező feladatok előzetes szervezését hangsúlyozza (IAEA, 2014, 2015).

A hulladékcsomagolásnál a címkézés, zárhatóság, sérülésmentesség, kontaminációs szint, eredet, dátum, gyűjtő személy és ideiglenes tárolóhely nyilvántartása szükséges. A tűzoltósági szerep általában az elsődleges elkülönítésre, csomagolásra, mérésre és átadás előkészítésére korlátozódik, a végleges radioaktív hulladékkezelés szakhatósági és engedélyes hulladékkezelői kompetencia. Ennek kimondása azért fontos, mert megakadályozza, hogy a tűzoltói szervezet nem rá tartozó végleges hulladékminősítést vállaljon forrás és jogalap nélkül (IAEA, 2014, EPA, 2017).

A járművek, eszközök és hulladékok kezelésének közös követelménye a nyomon követhetőség. A lektor, hatóság vagy esemény utáni vizsgálóbizottság akkor tudja rekonstruálni a döntéseket, ha a dokumentáció megmutatja, mi került szennyezettnek minősítésre, hol és hogyan mérték, milyen dekontaminálás történt, milyen eredmény született, ki hagyta jóvá a felszabadítást vagy zárolást, és hová került az adott tárgy vagy hulladék. A forrásvalidálhatóság műveleti megfelelője a tárgyvalidálhatóság: a szennyezett eszköz sorsa igazolható legyen (IAEA, 2018a, REMM, n.d.b).

### **Egészségügyi és dozimetriai utánkövetés**

A sugárveszélyes beavatkozás nem zárul le a helyszínről való távozással. Az utánkövetés célja az egyéni dózisok értékelése, a külső és esetleges belső kontamináció kizárása vagy kezelése, az egészségügyi megfigyelés megszervezése, valamint a pszichológiai és kommunikációs terhek csökkentése. Az IAEA foglalkozási sugárvédelmi útmutatója a munkavállalói expozíciók monitorozását, értékelését és nyilvántartását a sugárvédelmi program alapvető részeként tárgyalja (IAEA, 2018a).

A személyi dózisértékelésnek össze kell kapcsolnia az elektronikus dózismérő adatait, a hivatalos személyi doziméter leolvasását, a belépésikilépési naplót, a feladatlírást, a helyszíni dózisteljesítményméréseket és a kontaminációs vizsgálatokat. Ha a mérési adatok hiányosak vagy ellentmondásosak, ezt nem szabad utólag kitalált pontossággal pótolni, a bizonytalanságot dokumentálni kell, és szakértői dózisrekonstrukcióra lehet szükség (IAEA, 2004b, 2018a).

A kontaminációs vizsgálatnak ki kell terjednie a bőrre, hajra, ruházatra, lábbelire, kézre, arcra és minden olyan területre, amely a levetkőzés, sérültmozgatás vagy eszközkezelés során érintett lehetett. Belső kontamináció gyanúja esetén például belégzett por, szennyezett seb, pozitív orrkenet vagy radioaktív anyag lenyelésének lehetősége miatt megfelelő orvosi és sugárvédelmi vizsgálat szükséges. A REMM és az NCRP 161 ilyen helyzetekben a kontaminált személyek orvosisugárvédelmi kezeléséhez ad keretet (National Council on Radiation Protection and Measurements [NCRP], 2008, REMM, n.d.b).

Az orvosi megfigyelés nem jelenti automatikusan súlyos sugárkárosodás feltételezését. Sok radiológiai eseményben a beavatkozó dózis alacsony maradhat, de a dokumentált megnyugtató, a tünetek ismertetése, a dózisadatok közzétevése és az elérhető konzultáció csökkenti a bizonytalanságot. Az OSHA radiológiai vészhelyzeti oldala a munkavállalói egészségügyi megfigyelés, sérültek kezelése és nyilvántartás fontosságát is tárgyalja (OSHA, n.d.a).

A pszichológiai hatások és a kockázatkommunikáció a sugárveszélyes események sajátosságai közé tartoznak. Az ICRP 146 rámutat, hogy a nagy nukleáris balesetek nemcsak radiológiai, hanem társadalmi, gazdasági, pszichológiai és környezeti következményekkel is járnak, és a válaszadás során a sugárvédelmi kultúra, információmegosztás és érintetti részvétel szerepe nagy (ICRP, 2020). A tűzoltóknál ez az esemény utáni tájékoztatásban, a családok felé történő kommunikáció támogatásában és a téves kockázatészlelés csökkentésében jelenik meg.

Az esemény utáni jelentésnek ki kell térnie a riasztási információkra, a mért értékekre, a zónákra, a belépésekre, a kapott dózisokra, a PPE alkalmazására, a dekontaminálás eredményességére, a szennyezett eszközök és hulladékok sorsára, az egészségügyi intézkedésekre és a tanulságokra. A tanulságok csak akkor vezetnek biztonságnövekedéshez, ha visszakerülnek a képzésbe, beszerzésbe, eljárásrendbe és gyakorlatokba (IAEA, 2015, IAEA, 2018a).

## **Csernobil tanulságai a tűzoltói beavatkozás szempontjából**

A csernobili baleset a tűzoltói sugárvédelemről szóló cikk azért is releváns, mert a korai beavatkozás során súlyos, részben nem kellően kontrollált sugárterhelések történtek, és a baleset hosszú távon is meghatározta a nukleáris és radiológiai vészhelyzeti gondolkodást. Az UNSCEAR összefoglalója szerint a baleset a nukleáris ipar legsúlyosabb balesete volt, jelentős radioaktív kibocsátással, 30 munkavállaló néhány héten belüli halálával, 134 akut sugárbetegséggel járó esettel, valamint nagy kiterjedésű kitelepítéssel és áttelepítéssel (UNSCEAR, n.d.).

A WHO csernobili kérdésválasz anyaga az UNSCEARra hivatkozva közli, hogy a helyszínen tartózkodó 600 munkavállaló közül 134 kapott nagyon magas, 0,816 Gy közötti dózist és szenvedett akut sugárbetegségben, közülük 28-an az első három hónapban meghaltak (WHO, 2011). Ezeket az adatokat nem szabad szenzációhajhász módon használni, de egyértelműen mutatják, hogy a korai beavatkozási tájékoztatás, dozimetriai kontroll és védőintézkedés hiánya súlyos következményekkel járhat.

Az INSAG7 jelentés a baleset okainak későbbi értékelésében elmozdította a hangsúlyt az üzemeltetői cselekedetek kizárólagos hibáztatásától a reaktortervezési, biztonsági rendszeri, szabályozási és biztonsági menedzsmenhiányosságok felé (INSAG, 1993). A tűzoltói beavatkozás szempontjából ez a tanulság úgy fordítható le, hogy a helyszíni állomány biztonsága nem bízható kizárólag egyéni bátorságra és improvizációra, a rendszernek kell olyan információt, mérőeszközt, vezetési struktúrát és szakértői támogatást adnia, amelyben a beavatkozó értelmes kockázati döntést tud hozni.

Csernobil egyik modern sugárvédelmi tanulsága az információ aszimmetriája. A tűzoltó gyakran nem tudja, milyen izotóp, milyen dózisteljesítmény, milyen szennyeződés és milyen időbeli változás van a helyszínen. Ha nincs mérés, nincs valós idejű jelentés és nincs döntési határ, a beavatkozó kockázata utólagos becslések tárgya lesz. A modern IAEA és ICRP rendszer ezzel szemben a felkészülésre, a védőintézkedések előzetes tervezésére, a monitoringra és a transzparens döntésre épül (IAEA, 2015, ICRP, 2020).

A csernobili baleset nem vezethet ahhoz a hibás következtetéshez, hogy sugárveszélyes helyen nem szabad beavatkozni. A helyes következtetés az, hogy a beavatkozás indokoltságát, célját, időtartamát, dóziskeretét és védelmi feltételeit előre és közben is kontrollálni kell. Életmentés vagy katasztrófális következmény elhárítása indokolhat magasabb kockázatot, de ez nem lehet korlátlan, tájékoztatás nélküli vagy dokumentálatlan kockázatvállalás (IAEA, n.d.a, ICRP, 2009a).

A negyvenedik évforduló szakmai jelentősége ezért nem a múlt újra mesélése, hanem a jelenlegi felkészültség ellenőrzése. Van-e a tűzoltó egységnél működő sugármérő? Tudja-e az állomány, mit jelent a mért érték? Van-e személyi dozimetria? Ki dönt a belépési időről? Hogyan történik a sérültek dekontaminálása? Hova kerül a szennyezett légzőkészülék? Mikor állítható vissza szolgálatba egy jármű? A csernobili tanulságok valid alkalmazása ezekre a konkrét kérdésekre adható eljárásrendekben mérhető le (IAEA, 2006a, UNSCEAR, n.d.).

## Nemzetközi jó gyakorlatok és adaptálhatóság

A nemzetközi források összevetése alapján több, egymástól függetlenül megjelenő jó gyakorlat azonosítható. Az első a felkészülés és válaszadás rendszerszemlélete. Az IAEA GSR Part 7 a kormányzati, szervezeti, működtetői és válaszadó szerepek előzetes meghatározását, a veszélyértékelésen alapuló tervezést, a védőintézkedések előkészítését és a veszélyhelyzeti munkavállalók védelmét követeli meg (IAEA, 2015). Ez a tűzoltóság számára azt jelenti, hogy a radiológiai eseményre nem elegendő általános veszélyesanyageljárás, hanem sugárvédelmi melléklet és gyakorlat szükséges.

A második jó gyakorlat a mérésen alapuló zónamenedzsment. A nemzetközi útmutatók nem pusztán kordonszalagot írnak elő, hanem mért és folyamatosan felülvizsgált határokat, kontrollált belépést, nyilvántartást, kontaminációkontrollt és eszközgyűjtést. Az IAEA first responder PDA beavatkozói kontaminációkontrollt, eszközgyűjtést és dekontaminálási lehetőséget rendel a belső kordonhatárhoz (IAEA, 2006b).

A harmadik jó gyakorlat a védőeszközkorlátok őszinte kommunikációja. OSHA, REMM és NIOSH források alapján egyértelmű, hogy a PPE jelentős a kontamináció és belső expozíció ellen, de nem csodaszer a külső áthatoló sugárzás ellen. Ez azért fontos, mert a hamis biztonságérzet hosszabb tartózkodási időt és nagyobb dózist eredményezhet. A tűzoltó oktatásban ezért külön kell tanítani, hogy a gammaveszélyt elsősorban idő, távolság, árnyékolás és dózisonitorozás csökkenti (OSHA, n.d.a, REMM, n.d.a).

A negyedik jó gyakorlat a dekontaminálás céljának és korlátjainak meghatározása. A CDC és a REMM gyakorlati útmutatói szerint a ruházat eltávolítása és a kíméletes mosás gyorsan és hatékonyan csökkentheti a külső kontaminációt, de a teljes kontaminációmentesség nem mindig azonnal elérhető vagy szükséges, és a bőr károsítása kerülendő (CDC, 2024b, REMM, n.d.d). Ez a tűzoltói dekontaminálásban a pragmatikus, mérésalapú megközelítést támogatja.

Az ötödik jó gyakorlat az eszközök és járművek felszabadításának méréshez kötése. Az IAEA kifejezetten kimondja, hogy a belső kordonban használt eszközök és potenciálisan kontaminált sérülteket szállító járművek nem kerülhetnek általános használatba radiológiai ellenőrzés nélkül (IAEA, 2006c). Ez az állítás közvetlenül támogatja a tűzoltósági eszközkészítési protokollok szigorítását.

A hatodik jó gyakorlat a dokumentáció és tanulás. A veszélyhelyzeti dozimetria, mérési adatok, dekon eredmények, eszközsors és egészségügyi utánpótlás dokumentálása nem adminisztratív teher, hanem a beavatkozói védelem, szervezeti tanulás és lektori ellenőrizhetőség előfeltétele. Az IAEA foglalkozási sugárvédelmi útmutatója és az OSHA munkavédelmi megközelítése egyaránt a nyilvántartást és monitorozást emeli ki (IAEA, 2018a, OSHA, n.d.a).

Az adaptáció korlátja, hogy a nemzetközi forrásokat mindig nemzeti jogi és szervezeti környezetbe kell illeszteni. A cikkben szereplő IAEA, OSHA, NIOSH, EPA vagy ISO hivatkozások szakmai alapot adnak, de a konkrét bevetési szabályzat, hatósági felelősség, radioaktív hulladék átadása és munkaegészségügyi nyilvántartás helyi szabályozást igényel. A valid adaptáció ezért nem másolás, hanem forrásalapú megfeleltetés.

A források alapján a tűzoltók sugárveszélyes beavatkozási biztonságát leginkább azok az intézkedések növelik, amelyek csökkentik az információhiányt és mérhetővé teszik a kockázatot. A dozimetria, helyszíni sugárfelderítés és kontaminációmérés nem külön sugárvédelmi adminisztráció, hanem a műveleti taktika alapja. A mérés nélküli beavatkozás a kockázatot nem megszünteti, hanem láthatatlanná teszi (IAEA, 1999, OSHA, n.d.a).

Bizonyítottan tekinthető alapelv az idő, távolság és árnyékolás hármasa, az ALARA megközelítés, a külső és belső expozíciós útvonalak elkülönítése, valamint az a tény, hogy a PPE a kontamináció és belső expozíció ellen fontos, de nem váltja ki a külső áthatoló sugárzás

elleni taktikai kontrollt. Ezt az IAEA, ICRP, OSHA és REMM források konzisztensen támasztják alá (IAEA, 2014, ICRP, 2007, OSHA, n.d.a, REMM, n.d.a).

Erősen ajánlott, de szervezeti adaptációt igénylő elem a zónakialakítás, belépéskilépés kontrollja, dozimetriai riasztási szintek előre meghatározása, feladatrotáció és a szennyezett eszközök szolgálatba visszaállításának méréshez kötése. Ezek az intézkedések nem minden forrásban azonos terminológiával szerepelnek, de az elv egységes: a kontaminációs és dóziskockázat terjedését kontrollált határok, mérés és dokumentáció segítségével kell megakadályozni (IAEA, 2006b, 2006c, OSHA/NIOSH, 2005).

További kutatást és helyi fejlesztést igényel a tűzoltói eszközök radiológiai dekontaminálhatóságának anyagspecifikus vizsgálata. Kevés nyilvános, tűzoltósági eszközcsoportra bontott adat érhető el arról, hogy a különböző tömlőanyagok, textil védőruhák, kompozit palackok, sisakok, légzőkészülékhevederek és elektronikus mérőműszerek milyen mértékben dekontaminálhatók különböző radionuklidokkal és hordozóközegekkel való szennyeződés után. A cikk ezért e kérdésben elvi és eljárási ajánlást ad, nem pedig univerzális technikai tisztítási receptet.

A dózisértékek alkalmazásában különös óvatosság szükséges. Az IAEA 50 mSv, 100 mSv és 500 mSv körüli veszélyhelyzeti irányadó értékei, valamint az OSHA 5, 10, 25 rem döntési pontjai nem keverhetők össze rutin munkavállalói dóziskorlátokkal vagy helyi jogszabályi határértékekkel. Ezek veszélyhelyzeti döntéstámogató keretek, amelyek csak feladat, indokoltság, önkéntesség, monitorozás és dokumentált kockázatértés mellett értelmezhetők (IAEA, n.d.a, OSHA, n.d.a).

A csernobili tapasztalatok a modern rendszerben nem egyetlen tanulságra redukálhatók. Nem elég azt mondani, hogy több védőfelszerelés kell, ugyanolyan fontos az információáramlás, a mérés, a szakértői döntéstámogatás, a vezetési kultúra, a képzés és az utólagos nyilvántartás. Az INSAG7, UNSCEAR és WHO forrásai alapján Csernobil súlyos következményei rendszerszintű tanulsággént értelmezhetők (INSAG, 1993, UNSCEAR, n.d., WHO, 2011).

A források korlátai közé tartozik, hogy a tűzoltói radiológiai beavatkozásra vonatkozó nemzetközi anyagok gyakran általános első beavatkozói, egészségügyi vagy munkavédelmi kontextusban készültek. A tűzoltás sajátos hő, füst, palacklevegő, eszköz és járműlogisztikai problémái miatt helyi kísérletekre, gyakorlatokra és eszközvalidálásra van szükség. A forrásalapú következtetés azonban egyértelmű: a szennyezett eszközök kontrollálatlan visszaforgatása nem elfogadható beavatkozói biztonsági kockázat.

## **Következtetések**

A tűzoltók sugárveszélyes környezetben történő beavatkozása akkor biztonságosabb, ha a radiológiai kockázatot a riasztás pillanatától kezdve mérhető, dokumentálható és szervezeten kontrollálható veszélyként kezelik. A felderítés, zónakialakítás, személyi dozimetria, PPE, légzésvédelem, dekontaminálás és eszközkezelés nem egymástól független elemek, hanem egyetlen beavatkozói biztonsági rendszer részei (IAEA, 2006a, 2015).

A PPE fontos, de korlátozott szerepű védelem. A védőruha és légzésvédelem a kontamináció és belső expozíció csökkentésében alapvető, de nagy áthatolóképességű külső sugárzás ellen önmagában nem elegendő. A gamma és röntgensugárzás elleni műveleti kontroll alapja az idő csökkentése, távolság növelése, árnyékolás kihasználása és a dózismonitorozás (OSHA, n.d.a, REMM, n.d.a).

A dekontaminálásnak kíméletesnek, mérésalapúnak és dokumentálnak kell lennie. A külső ruházat eltávolítása gyors és hatékony első lépés lehet, a mosást pedig úgy kell végezni, hogy

ne növelje a bőrsérülés, belső kontamináció, hipotermia vagy szennyezésterjedés kockázatát (CDC, 2024b, REMM, n.d.b).

A szennyezett védő és beavatkozó eszközök kezelése önálló biztonsági terület. A forró zónában használt vagy potenciálisan kontaminált eszközök, légzőkészülékek, tömlők, mérőműszerek és járművek nem kerülhetnek vissza szolgálatba radiológiai ellenőrzés és dokumentált felszabadítás nélkül. Az IAEA első beavatkozó útmutatója ezzel összhangban előírja, hogy az ilyen eszközök és járművek általános használatba adása előtt radiológiai ellenőrzés szükséges (IAEA, 2006c).

A csernobili baleset 40. évfordulója arra figyelmeztet, hogy a beavatkozó sugárvédelem nem elméleti mellékterület. A történeti adatok szerint a korai beavatkozók súlyos sugárterhelést szenvedtek, ami a modern tűzoltói felkészülésben a mérés, információ, dozimetria, szakértői támogatás és dokumentált kockázatvállalás elsődlegességét indokolja (UNSCEAR, n.d., WHO, 2011).

A cikk végkövetkeztetése: a tűzoltók biztonságának növelése sugárveszélyes környezetben az integrált védelmi lánc erősítését igényli. A lánc bármely gyenge pontja hiányzó képzés, kalibrálatlan műszer, zavaros zónahatár, nem megfelelő légzésvédelem, mérés nélküli dekontaminálás, dokumentálatlan eszközvisszaállítás vagy elmaradt egészségügyi utánkövetés a teljes rendszer biztonságát csökkenti.

## Ajánlások

1. A tűzoltó szervezetek készítsenek külön radiológiai beavatkozási mellékletet a veszélyesanyageljárásrendhez, amely tartalmazza a riasztási információkat, a zónakialakítást, a mérési feladatokat, a személyi dozimetriai rendszert, az életmentő és magasabb kockázatú beavatkozások jóváhagyási rendjét, valamint a dekontaminálási és eszközkezelési folyamatot. Az ajánlás alapja az IAEA GSR Part 7 felkészültségi és válaszadási rendszerszemlélete (IAEA, 2015).

2. A tűzoltók képzésében kötelezően jelenjen meg az expozíció és kontamináció különbsége, az ALARA gyakorlati alkalmazása, a mérőműszerek használata, a személyi dózismérő riasztására adott reakció, a PPE korlátai, valamint a levetkezés és dekontaminálás kockázata. Az ajánlás az IAEA első beavatkozó képzésével, az OSHA radiológiai munkavédelmi útmutatásával és a NIOSH PPEképzési logikájával összhangban áll (IAEA, 2006a, NIOSH, 2008, OSHA, n.d.a).

3. Minden sugárveszélyes vagy potenciálisan sugárveszélyes beavatkozásnál legyen kijelölt mérési felelős vagy sugárvédelmi szakértői kapcsolattartó, aki a mért adatokat a tűzoltásvezetés számára döntési információvá alakítja. A mérési eredményeket egységgel, hellyszínnel, idővel, műszertípussal és mérési körülménnyel kell rögzíteni (IAEA, 1999, IAEA, 2004a).

4. A forró, meleg és hideg zóna határát ne kizárólag becsléssel, hanem a rendelkezésre álló mérési adatokkal, széliránnyal, szennyezésterjedési útvonallal és műveleti célokkal összhangban kell kijelölni. A zónák közötti mozgás egyirányú legyen, belépési és kilépési ponttal, személyi nyilvántartással és eszközgyűjtéssel (IAEA, 2006b, OSHA/NIOSH, 2005).

5. A légzésvédelem kiválasztása a teljes veszélyprofil alapján történjen. Radioaktív por vagy aeroszol esetén a belső kontamináció megelőzése miatt légzésvédelem szükséges lehet, de tűz, füst, oxigénhiány vagy ismeretlen CBRN környezet esetén magasabb szintű, például SCBA alapú védelem indokolt. A döntést mérés, veszélyazonosítás és feladatprofil szerint kell felülvizsgálni (NIOSH, 2025, OSHA/NIOSH, 2005).

6. A dekontaminálási pontot már a beavatkozás elején ki kell jelölni, nem csak a művelet végén. Biztosítani kell a személyi dekontaminálást, sérültek kezelését, használt eszközök

gyűjtését, csomagoló és címkéző anyagokat, elfolyó víz kontrollját és ismételt kontaminációmérést (REMM, n.d.b, IAEA, 2006b).

7. A szennyezett védő és beavatkozó eszközökre külön eszközkezelési protokoll szükséges. A protokoll legalább az elkülönítés, mérés, címkézés, ideiglenes tárolás, dekontaminálás, ismételt mérés, felszabadítás, zárolás, selejtezés és hulladékként való átadás rendjét tartalmazza. Az eszközök szolgálatba visszaállítása csak dokumentált mérési eredmény alapján történhet (IAEA, 2006c, REMM, n.d.b).

8. A légzőkészülékek, álarcok és palackok radiológiai esemény utáni kezelése kapjon kiemelt figyelmet. A légzőműhelybe történő bevitel előtt mérés, külső tisztítás, megfelelő csomagolás és felelős átadás szükséges, mert ezek az eszközök közvetlen kapcsolatban állnak a beavatkozók légzési zónájával (NIOSH, 2025, OSHA, n.d.a).

9. A járművek visszatérésekor legyen laktanyai fogadó és ellenőrzőpont potenciális kontamináció esetére. A fülke, málfatér, lépcsők, kapaszkodók, kerekek és használt eszköztárolók mérés nélkül ne kerüljenek normál használatba. A laktanyai visszaszennyezés megelőzése a helyszíni sugárvédelmi rendszer folytatása (IAEA, 2006c).

10. Az esemény után készüljön dozimetriai és eszközkezelési zárójelentés. A jelentés tartalmazza az egyéni dózisokat, mérési adatokat, dekontaminálási eredményeket, eszközök és hulladékok sorsát, egészségügyi intézkedéseket, valamint a képzésbe visszacsatolandó tanulságokat (IAEA, 2018a, OSHA, n.d.a).

## Rövidítések jegyzéke és magyarázata

A cikkben több olyan nemzetközi szervezet, sugárvédelmi fogalom, mértékegység, műszaki kifejezés és dokumentumtípus szerepel, amelyeket a szakirodalom gyakran rövidítéssel használ a megértés segítése érdekében az alábbi fogalom és rövidítés jegyzék segíti:

### Nemzetközi szervezetek és intézmények rövidítései

Rövidítés	Teljes név	Magyar jelentés / szerep a tanulmányban
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>	Nemzetközi Atomenergia-ügynökség. A nukleáris és radiológiai biztonság egyik legfontosabb nemzetközi szervezete. A tanulmányban az első beavatkozókra, a veszélyhelyzeti felkészülésre, a dozimetriai követelményekre és a radiológiai monitorozásra vonatkozó forrásként szerepel.
ICRP	<i>International Commission on Radiological Protection</i>	Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság. A sugárvédelem alapelveit, dóziszfogalmait, expozíciós helyzeteit és ajánlásait meghatározó szakmai testület. A tanulmányban az ALARA-elv, a vészhelyzeti expozíciók és a hosszú távon szennyezett területek kezelése kapcsán jelenik meg.
UNSCEAR	<i>United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i>	Az ENSZ Atomsugárzás Hatásait Vizsgáló Tudományos Bizottsága. A tanulmányban elsősorban a csernobili baleset sugár-egészségügyi következményeinek hivatalos értékelése miatt szerepel.
WHO	<i>World Health Organization</i>	Egészségügyi Világszervezet. A tanulmányban a csernobili baleset egészségügyi következményeinek

Rövidítés	Teljes név	Magyar jelentés / szerep a tanulmányban
		összefoglalásánál és a sugár-egészségügyi kockázatok értelmezésénél jelenik meg.
<b>CDC</b>	<i>Centers for Disease Control and Prevention</i>	Az Egyesült Államok Betegségellenőrzési és Megelőzési Központja. A tanulmányban a radioaktív szennyeződés, a személyi dekontaminálás és a lakossági/sérültyi teendők kapcsán szerepel.
<b>REMM</b>	<i>Radiation Emergency Medical Management</i>	Sugárveszélyhelyzeti Egészségügyi Menedzsment rendszer. Az Egyesült Államok egészségügyi veszélyhelyzeti szakmai felülete. A tanulmányban a sérültek dekontaminálása, kórházi felkészülés, személyi szennyeződés és dekontaminálási célértékek kapcsán szerepel.
<b>OSHA</b>	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>	Az Egyesült Államok Munkavédelmi és Munkaegészségügyi Hivatala. A tanulmányban a radiológiai veszélyhelyzetek munkavédelmi követelményei, a PPE korlátai és a beavatkozási dózisdöntési pontok kapcsán szerepel.
<b>NIOSH</b>	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>	Az Egyesült Államok Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Intézete. A tanulmányban a CBRN légzésvédelem, a személyi védőeszközök és a beavatkozási PPE-választás kapcsán szerepel.
<b>EPA</b>	<i>United States Environmental Protection Agency</i>	Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Ügynöksége. A tanulmányban a radiológiai incidensekhez kapcsolódó védelmi intézkedések, környezeti szempontok és tervezési útmutatók kapcsán szerepel.
<b>NIST</b>	<i>National Institute of Standards and Technology</i>	Az Egyesült Államok Nemzeti Szabványügyi és Technológiai Intézete. A tanulmányban a CBRN dekontaminálási eszközök kiválasztására vonatkozó útmutató miatt szerepel.
<b>NCRP</b>	<i>National Council on Radiation Protection and Measurements</i>	Az Egyesült Államok Sugárvédelmi és Sugármérési Tanácsa. A tanulmányban a radionuklidokkal szennyezett személyek kezelésével és sugárvédelmi értelmezésével kapcsolatban jelenik meg.
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i>	Nemzetközi Szabványügyi Szervezet. A tanulmányban a tűzoltói védőruházati szabványok és azok korlátai kapcsán szerepel.
<b>INSAG</b>	<i>International Nuclear Safety Advisory Group</i>	Nemzetközi Nukleáris Biztonsági Tanácsadó Csoport. Az IAEA mellett működő szakértői testület. A tanulmányban a csernobili baleset okainak és biztonsági tanulságainak értékelése kapcsán szerepel.

## Sugárvédelmi alapelvek és fogalmak rövidítései

Rövidítés	Teljes név	Magyar jelentés / szerep
<b>ALARA</b>	<i>As Low As Reasonably Achievable</i>	„Az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szinten.” A sugárvédelem egyik alapelve. Azt jelenti, hogy a sugárterhelést a körülményekhez képest a lehető legalacsonyabb szinten kell tartani, figyelembe véve a műszaki, szervezési, gazdasági és társadalmi tényezőket. Tűzoltói beavatkozásnál ez az idő csökkentését, a távolság növelését, az árnyékolás alkalmazását, a rotációt és a dozimetriai kontrollt jelenti.
<b>ARS</b>	<i>Acute Radiation Syndrome</i>	Akut sugárbetegség. Nagy dózisu, rövid idő alatt bekövetkező egésztest-besugárzás után kialakuló súlyos egészségkárosodás. A csernobili baleset kapcsán szerepel, ahol hivatalos források szerint több helyszíni munkavállalónál és beavatkozóknál igazoltak akut sugárbetegséget.
<b>PAG</b>	<i>Protective Action Guide</i>	Védelmi intézkedési irányérték. Elsősorban amerikai radiológiai veszélyhelyzeti tervezési fogalom, amely azt segíti, hogy egy adott dózis- vagy kockázati helyzetben milyen lakosságvédelmi vagy beavatkozási intézkedés lehet indokolt.
<b>GSR</b>	<i>General Safety Requirements</i>	Általános biztonsági követelmények. Az IAEA biztonsági szabványsorozatának egyik dokumentumtípusa. A tanulmányban például a GSR Part 3 és GSR Part 7 szerepel.
<b>GSG</b>	<i>General Safety Guide</i>	Általános biztonsági útmutató. Az IAEA ajánlás jellegű dokumentumtípusa. A tanulmányban például a GSG-7, azaz a foglalkozási sugárvédelemre vonatkozó útmutató szerepel.
<b>TECDOC</b>	<i>Technical Document</i>	IAEA technikai dokumentum. Gyakorlati, műszaki vagy módszertani útmutatóként használt kiadványtípus. A tanulmányban a radiológiai veszélyhelyzeti monitorozási és válaszadási eljárások kapcsán jelenik meg.
<b>EPR</b>	<i>Emergency Preparedness and Response</i>	Veszélyhelyzeti felkészülés és válaszadás. Az IAEA több radiológiai és nukleáris veszélyhelyzeti dokumentumának sorozatmegjelölése.

## Beavatkozási, műszaki és védőeszközökkel kapcsolatos rövidítések

Rövidítés	Teljes név	Magyar jelentés / szerep
<b>PPE</b>	<i>Personal Protective Equipment</i>	Egyéni védőeszköz. A tanulmányban ide tartozik többek között a védőruha, kesztyű, csizma, csizmavédő, szemvédelem, légzésvédő eszköz és egyéb személyi védelem. Sugárveszélyes környezetben elsősorban a kontamináció és a belső sugárterhelés csökkentésében van szerepe, de önmagában általában nem nyújt megfelelő védelmet az áthatoló gamma- vagy röntgensugárzás ellen.
<b>SCBA</b>	<i>Self-Contained Breathing Apparatus</i>	Sűrített levegős, önálló légzőkészülék. Tűzoltói beavatkozásnál különösen fontos ismeretlen, füstös, oxigénhiányos vagy CBRN-kockázatú környezetben. Radioaktív por, aeroszol vagy füst esetén a belső kontamináció megelőzésének egyik fontos eszköze lehet.

Rövidítés	Teljes név	Magyar jelentés / szerep
<b>CBRN</b>	<i>Chemical, Biological, Radiological and Nuclear</i>	Vegyai, biológiai, radiológiai és nukleáris veszélyek összefoglaló jelölése. A tanulmányban a többveszélyes beavatkozási környezetek, a védőeszköz-választás és a dekontaminálási eszközök kapcsán szerepel.
<b>RDD</b>	<i>Radiological Dispersal Device</i>	Radiológiai diszperziós eszköz. Olyan eszköz vagy esemény, amely radioaktív anyag szétszórásával okoz szennyeződést. Köznyelvben gyakran „piszkos bomba” néven említik, de a tanulmány szakmai okból a pontosabb radiológiai diszperziós eszköz kifejezést részesíti előnyben.
<b>RED</b>	<i>Radiation Exposure Device</i>	Sugárexpozíciós eszköz. Olyan rosszindulatú vagy baleseti jellegű helyzetre utalhat, amikor egy sugárforrás rejtett vagy kontrollálatlan módon okoz külső besugárzást anélkül, hogy feltétlenül radioaktív szennyeződést hozna létre.
<b>DTPA</b>	<i>Diethylenetriamine Pentaacetate</i>	Dietilén-triamin-pentaecetsav. Bizonyos belső radioaktív kontaminációk orvosi kezelésében alkalmazható kelátképző szer. Csak orvosi indikáció és szakértői döntés alapján alkalmazható.
<b>KI</b>	<i>Potassium Iodide</i>	Kálium-jodid. Stabil jódot tartalmazó készítmény, amely meghatározott radiojód-expozíciós helyzetekben a pajzsmirigy radioaktív jód felvételét csökkentheti. Nem általános sugárvédelmi „ellenszer”, és csak megfelelő indikáció esetén alkalmazható.
<b>HEPA</b>	<i>High-Efficiency Particulate Air</i>	Nagy hatékonyságú részecskeszűrő. Radioaktív porok vagy aeroszokok szűrésében lehet szerepe, például légtechnikai, dekontaminálási vagy légzésvédelmi rendszereknél, ha az adott eszköz erre minősített.

### Mértékegységek és dóziszfogalmak rövidítései

Rövidítés / jelölés	Teljes név	Magyar jelentés / szerep
<b>Gy</b>	<i>gray</i>	Az elnyelt dózis SI-mértékegysége. Azt fejezi ki, hogy egységnyi tömegű anyag mennyi sugárzási energiát nyel el. 1 Gy = 1 joule/kilogramm. Akut, nagy dózisu sugárterhelések értékelésénél fontos.
<b>mGy</b>	<i>milligray</i>	A gray ezredrésze. 1 mGy = 0,001 Gy. Kisebb elnyelt dózisok kifejezésére használható.
<b>Sv</b>	<i>sievert</i>	Az egyenértékű dózis és effektív dózis SI-mértékegysége. A biológiai hatás és kockázat becslésére szolgál. Tűzoltói beavatkozásnál az effektív dózis és a személyi sugárterhelés értelmezésében fontos.
<b>mSv</b>	<i>millisievert</i>	A sievert ezredrésze. 1 mSv = 0,001 Sv. A foglalkozási és veszélyhelyzeti sugárterhelések gyakran ebben a mértékegységben jelennek meg.

Rövidítés / jelölés	Teljes név	Magyar jelentés / szerep
$\mu\text{Sv}$	<i>microsievert</i>	A sievert milliomodrésze. $1 \mu\text{Sv} = 0,000001 \text{ Sv}$ . Alacsony dózisek és dózisteljesítmények kifejezésére használatos.
rem	<i>roentgen equivalent man</i>	Régebbi, nem SI-rendszerű dózisegység. Amerikai forrásokban még előfordulhat. $1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$ ; $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ .
R	<i>roentgen</i>	Régebbi expozíciós egység, főként gamma- és röntgensugárzás levegőionizációs hatásának kifejezésére. Modern sugárvédelmi gyakorlatban a sievert és gray használata pontosabb.
Bq	<i>becquerel</i>	Az aktivitás SI-mértékegysége. 1 Bq egy radioaktív bomlást jelent másodpercenként. Radioaktív anyag mennyiségének jellemzésére szolgál.
kBq	<i>kilobecquerel</i>	1 000 becquerel.
MBq	<i>megabecquerel</i>	1 000 000 becquerel.
GBq	<i>gigabecquerel</i>	1 000 000 000 becquerel.
cps	<i>counts per second</i>	Beütésszám másodpercenként. Sugármérő műszerek által jelzett nyers számlálási érték lehet. Önmagában nem mindig jelent közvetlen dózist vagy aktivitást, mert függ a műszertől, geometriától és sugárzástípustól.
cpm	<i>counts per minute</i>	Beütésszám percenként. Felületi kontaminációmérésnél vagy keresőméréseknél fordulhat elő. Értelmezése műszer- és mérésfüggő.
$\mu\text{Sv/h}$	<i>microsievert per hour</i>	Mikrosievert per óra. Dózisteljesítmény-mértékegység. Azt mutatja, hogy adott helyen tartózkodva óránként mekkora effektív vagy környezeti dózisegyenérték gyűlhet össze.
mSv/h	<i>millisievert per hour</i>	Millisievert per óra. Magasabb dózisteljesítmények kifejezésére használható. A beavatkozási idő korlátozásában közvetlen szerepe van.

### Dózis- és sugárvédelmi fogalmak rövidítések nélkül, de rövid magyarázattal

Fogalom	Magyarázat
<b>Elnyelt dózis</b>	Az anyagban elnyelt sugárzási energia mennyisége egységnyi tömegre vonatkoztatva. Mértékegysége a gray.
<b>Egyenértékdózis</b>	Olyan dózisfogalom, amely figyelembe veszi a különböző sugárzástípusok eltérő biológiai hatását. Mértékegysége a sievert.
<b>Effektív dózis</b>	Olyan sugárvédelmi dózisfogalom, amely a különböző szervek és szövetek sugárérzékenységét is figyelembe veszi. Mértékegysége a sievert.
<b>Dózisteljesítmény</b>	Az időegység alatt kapott dózis. Tűzoltói beavatkozásnál a tartózkodási idő korlátozásának egyik legfontosabb adata.
<b>Külső sugárterhelés</b>	A sugárforrás a testen kívül helyezkedik el, és onnan okoz besugárzást. Gamma- és röntgensugárzás esetén különösen fontos.

Fogalom	Magyarázat
<b>Belső sugárterhelés</b>	Radioaktív anyag kerül a szervezetbe beléggzéssel, lenyeléssel, seben vagy nyálkahártyán keresztül, és belülről okoz sugárterhelést.
<b>Radioaktív kontamináció</b>	Radioaktív anyag kerül felületre, ruházatra, bőrre, eszközre, járműre vagy a szervezetbe.
<b>Dekontaminálás</b>	A radioaktív szennyeződés eltávolítása vagy csökkentése személyről, eszköztől, járműről, felületről vagy területről.
<b>Zónakialakítás</b>	A beavatkozási terület forró, meleg és hideg zónákra bontása a szennyezés, dózisteljesítmény és művelési kockázat alapján.
<b>Forró zóna</b>	A legnagyobb kockázatú terület, ahol radioaktív szennyeződés vagy magasabb dózisteljesítmény lehet jelen. Csak megfelelő védelemmel, feladattal és kontroll mellett szabad belépni.
<b>Meleg zóna</b>	Átmeneti terület, ahol általában a kilépés, kontaminációmérés, levetkőzés, dekontaminálás és eszközgyűjtés történik.
<b>Hideg zóna</b>	Tiszta vagy kontrolláltan tisztának tekintett terület. Itt helyezhető el a vezetési pont, pihenő, logisztika és egészségügyi megfigyelés.

### Dokumentumtípusok és szabványjelölések

Rövidítés / jelölés	Jelentés
<b>GSR Part 3</b>	Az IAEA alapvető sugárvédelmi és sugárforrás-biztonsági követelményeket tartalmazó dokumentuma. A tervezett, veszélyhelyzeti és meglévő expozíciós helyzetek rendszerében értelmezi a sugárvédelmet.
<b>GSR Part 7</b>	Az IAEA nukleáris vagy radiológiai veszélyhelyzetekre való felkészüléssel és válaszadással foglalkozó biztonsági követelménye.
<b>GSG-2</b>	Az IAEA veszélyhelyzeti felkészülésben és válaszadásban alkalmazható kritériumokat tárgyaló biztonsági útmutatója.
<b>GSG-7</b>	Az IAEA foglalkozási sugárvédelemről szóló biztonsági útmutatója.
<b>ICRP Publication 103</b>	Az ICRP 2007-es alapajánlása, amely a modern sugárvédelmi rendszer egyik meghatározó dokumentuma.
<b>ICRP Publication 109</b>	Az ICRP vészhelyzeti expozíciós helyzetekben alkalmazandó sugárvédelmi ajánlása.
<b>ICRP Publication 111</b>	Az ICRP hosszú távon szennyezett területeken élő emberek védelméről szóló ajánlása.
<b>ICRP Publication 146</b>	Az ICRP nagy nukleáris balesetek esetére vonatkozó, a 109-es és 111-es kiadványt frissítő dokumentuma.
<b>ISO 11613:2017</b>	Tűzoltói védőruházattal kapcsolatos nemzetközi szabvány. A tanulmányban azért fontos, mert tárgyköre nem terjed ki általános radiológiai veszélyek elleni védelemre.

Rövidítés jelölés	Jelentés
NCRP Report No. 161	A radionuklidokkal szennyezett személyek kezelésével kapcsolatos NCRP-jelentés.

## Irodalomjegyzék

Az irodalmak összegyűjtéséhez, áttekintéséhez, szakmai összegzéséhez a ChatGpt

- Centers for Disease Control and Prevention. (2024a, April 10). What causes contamination versus exposure.  
<https://www.cdc.gov/radiationemergencies/causes/index.html>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2024b, April 15). How to selfdecontaminate after a radiation emergency.  
<https://www.cdc.gov/radiationemergencies/prevention/selfdecontaminate.html>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2024c, February 20). Safety guidelines: Decontamination of radioactive material.  
<https://www.cdc.gov/radiationhealth/safety/decontamination.html>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2024d, April 23). Immediate actions to take when a nuclear detonation occurs.  
<https://www.cdc.gov/radiationemergencies/hcp/nucleardetonations/immediateactions.html>
- Fatah, A. A., Arcilesi, R., Judd, A., O'Connor, L. H., Lattin, C. H., & Wells, C. Y. (2007). Guide for the selection of chemical, biological, radiological, and nuclear decontamination equipment for emergency first responders. National Institute of Standards and Technology.  
<https://www.nist.gov/publications/guideselectionchemicalbiologicalradiologicalandnucleardecontaminationequipment>
- International Atomic Energy Agency. (1999). Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency (IAEATECDOC1092). IAEA.  
<https://www.iaea.org/publications/5788/genericproceduresformonitoringinuclearoradiologicalemergency>
- International Atomic Energy Agency. (2000). Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency (IAEATECDOC1162). IAEA.  
<https://www.iaea.org/publications/5926/genericproceduresforassessmentandresponseuringaradiologicalemergency>
- International Atomic Energy Agency. (2004a). Workplace monitoring for radiation and contamination (Practical Radiation Technical Manual No. 1, Rev. 1). IAEA.  
<https://www.iaea.org/publications/6757/workplacemonitoringforradiationandcontamination>
- International Atomic Energy Agency. (2004b). Individual monitoring (Practical Radiation Technical Manual No. 2, Rev. 1). IAEA.  
<https://www.iaea.org/publications/6763/individualmonitoring>
- International Atomic Energy Agency. (2004c). Personal protective equipment (Practical Radiation Technical Manual No. 5). IAEA.  
<https://www.iaea.org/publications/6775/personalprotectiveequipment>
- International Atomic Energy Agency. (2006a). Manual for first responders to a radiological emergency (EPRFirst Responders). IAEA.  
<https://www.iaea.org/publications/7606/manualforfirstresponderstoaradiologicalemergency>

12. International Atomic Energy Agency. (2006b). Response contamination control. In Portable digital assistant for first responders to a radiological emergency. IAEA. [https://wwwpub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/EPRFirst\\_ResPDA/html/ti7.htm](https://wwwpub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/EPRFirst_ResPDA/html/ti7.htm)
13. International Atomic Energy Agency. (2006c). Monitoring/decontamination of vehicles and equipment. In Portable digital assistant for first responders to a radiological emergency. IAEA. [https://wwwpub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/eprfirst\\_respda/html/ti8.htm](https://wwwpub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/eprfirst_respda/html/ti8.htm)
14. International Atomic Energy Agency. (2011). Criteria for use in preparedness and response for a nuclear or radiological emergency (IAEA Safety Standards Series No. GSG2). IAEA. <https://www.iaea.org/publications/8506/criteriaforuseinpreparednessandresponseforanuclearorradiologicalemergency>
15. International Atomic Energy Agency. (2014). Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards (IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3). IAEA. <https://doi.org/10.61092/iaea.u2pu60vm>
16. International Atomic Energy Agency. (2015). Preparedness and response for a nuclear or radiological emergency (IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7). IAEA. <https://doi.org/10.61092/iaea.3dbe055p>
17. International Atomic Energy Agency. (2018a). Occupational radiation protection (IAEA Safety Standards Series No. GSG7). IAEA. <https://www.iaea.org/publications/11113/occupationalradiationprotection>
18. International Atomic Energy Agency. (n.d.a). Emergency workers. Occupational Radiation Protection Network. Retrieved May 5, 2026, from <https://www.iaea.org/services/networks/orpnet/workersandradiationatworkplaces/emergencyworkers>
19. International Atomic Energy Agency. (n.d.b). First response to a radiological emergency. Retrieved May 5, 2026, from <https://www.iaea.org/services/educationandtraining/trainingcourses/epr/firstresponsetoaradiologicalemergency>
20. International Commission on Radiological Protection. (2007). The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection: ICRP Publication 103. Annals of the ICRP, 37(24), 1332. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2007.10.003>
21. International Commission on Radiological Protection. (2009a). Application of the Commission's recommendations for the protection of people in emergency exposure situations: ICRP Publication 109. Annals of the ICRP, 39(1), 1110. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2009.05.004>
22. International Commission on Radiological Protection. (2009b). Application of the Commission's recommendations to the protection of people living in longterm contaminated areas after a nuclear accident or a radiation emergency: ICRP Publication 111. Annals of the ICRP, 39(3), 162. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2009.09.008>
23. International Commission on Radiological Protection. (2020). Radiological protection of people and the environment in the event of a large nuclear accident: Update of ICRP Publications 109 and 111: ICRP Publication 146. Annals of the ICRP, 49(4), 11135. <https://doi.org/10.1177/0146645320952659>
24. International Nuclear Safety Advisory Group. (1993). The Chernobyl accident: Updating of INSAG1 (INSAG Series No. 7). International Atomic Energy Agency. <https://www.iaea.org/publications/3786/thechernobylaccidentupdatingofinsag1>

25. International Organization for Standardization. (2017). ISO 11613:2017: Protective clothing for firefighters who are engaged in support activities associated with structural fire fighting Laboratory test methods and performance. <https://www.iso.org/standard/64815.html>
26. National Council on Radiation Protection and Measurements. (2008). Management of persons contaminated with radionuclides: Handbook (NCRP Report No. 161 I). NCRP. <https://ncrponline.org/shop/reports/reportno161managementofpersonscontaminatedwithradionuclideshandbook/>
27. National Institute for Occupational Safety and Health. (2008). Guidance on emergency responder personal protective equipment (PPE) for response to CBRN terrorism incidents (DHHS [NIOSH] Publication No. 2008132). Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2008132/default.html>
28. National Institute for Occupational Safety and Health. (2025). Chemical, biological, radiological, and nuclear (CBRN) respiratory protection handbook, revised September 2025 (DHHS [NIOSH] Publication No. 2025111). Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2025111/default.html>
29. Occupational Safety and Health Administration. (n.d.a). Radiation emergency preparedness and response: Response. Retrieved May 5, 2026, from <https://www.osha.gov/emergencypreparedness/radiation/response>
30. Occupational Safety and Health Administration. (n.d.b). Radiation emergency preparedness and response: Overview. Retrieved May 5, 2026, from <https://www.osha.gov/emergencypreparedness/radiation>
31. Occupational Safety and Health Administration, & National Institute for Occupational Safety and Health. (2005). CBRN personal protective equipment selection matrix for emergency responders. <https://www.osha.gov/emergencypreparedness/cbrnmatrix>
32. Radiation Emergency Medical Management. (n.d.a). Personal protective equipment (PPE) in a radiation emergency. Retrieved May 5, 2026, from [https://remm.hhs.gov/radiation\\_ppe.htm](https://remm.hhs.gov/radiation_ppe.htm)
33. Radiation Emergency Medical Management. (n.d.b). Procedures for radiation decontamination. Retrieved May 5, 2026, from [https://remm.hhs.gov/ext\\_contamination.htm](https://remm.hhs.gov/ext_contamination.htm)
34. Radiation Emergency Medical Management. (n.d.c). Hospital activities during radiation emergencies. Retrieved May 5, 2026, from <https://remm.hhs.gov/hospitalprep.htm>
35. Radiation Emergency Medical Management. (n.d.d). Target levels for radiation decontamination of people. Retrieved May 5, 2026, from <https://remm.hhs.gov/backgroundrad.htm>
36. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (n.d.). The Chernobyl accident: Assessments of the radiation effects from the Chernobyl nuclear reactor accident. Retrieved May 5, 2026, from <https://www.unscear.org/unscear/en/chernobyl.html>
37. U.S. Environmental Protection Agency. (2017). Protective Action Guides and planning guidance for radiological incidents (EPA400/R17/001). <https://www.epa.gov/radiation/pagmanualsandresources>
38. World Health Organization. (2011, April 26). Radiation: The Chernobyl accident. <https://www.who.int/newsroom/questionsandanswers/item/radiationthechernobylaccident>

**Kocsis Zoltán** Iparbiztonsági szakértő, az ECIP Kft. tulajdonosa, a Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratórium oktatója

**Dr. Bérczi László** PhD, tűzoltó dandártábornok, tűzoltósági főtanácsos