

Radioaktív hulladékok és besorolásuk

Radioaktív hulladéknak azokat a radioaktivitást tartalmazó anyagokat tekintjük, amelyek további felhasználásra már nem alkalmasak, illetve amelyek felhasználójának, birtokosának nincs szándékában azokat a távolabbi jövőben sem újrahasznosítani. Magyarországon az 1996-ban elfogadott CXVI. törvény, a "**második atomtörvény**" szerint a radioaktív hulladékok végleges elhelyezéséről való gondoskodás állami feladat, melynek költségeit - lehetőség szerint - a radioaktív hulladék keletkezését előidéző létesítménynek kell viselnie. Igen fontos, hogy a fenti megfogalmazás szerint nem radioaktív hulladék az atomreaktorok, atomerőművek használt, "kiégett" fűtőeleme, mert az még újrahasznosítható, bár a használt fűtőelemek feldolgozási eljárása, az úgynevezett reprocessálás csak az atomfegyverekkel rendelkező országok előjoga.

A radioaktív hulladékokat igen sokféle kategóriába, csoportba sorolják, e tekintetben a nemzetközi gyakorlat sem egységes. A magyarországi szabályzás alapja a 14344. számú, először 1989-ban megjelent, majd 2004-ben módosított szabvány, valamint a már említett atomtörvény végrehajtási utasításai között kiadott 23/1997. számú népjóléti miniszteri rendelet, amit az egészségügyi, szociális és családügyi miniszter 2003-ban megjelent rendelete módosított. A szabvány, illetve a miniszteri rendelet az **osztályozás** alábbi szempontjait említi meg:

- **halmazállapot** szerint: szilárd, biológiai eredetű, folyékony és nem tűzveszélyes, folyékony és tűzveszélyes, valamint légnemű radioaktív hulladékok;
- **hőfejlődés** szerint: kis és közepes aktivitású radioaktív hulladéknak minősül az a hulladék, amelyben a hőfejlődés az elhelyezés (és tárolás) során elhanyagolható, míg nagy aktivitású az a hulladék, melynek hőtermelését figyelembe kell venni;
- **aktivitáskoncentráció** szerint: kis-, közepes- és nagy aktivitású radioaktív hulladékok;
- a hulladékban jelenlévő radionuklidok **felezési ideje** szerint: rövid, közepes és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok.

A hulladék halmazállapota szerinti felosztás elsősorban a hulladékfeldolgozás és -elhelyezés szempontjait tükrözi. Megkülönbözteti a teljesen eltérő kezelést igénylő szerves és vizes alapú oldatokat, valamint kiemeli a biológiai eredetű hulladékokat, amelyek - elsősorban kísérleti állatok tetemei, használt táptalajok, tenyészetek - bomlásuk révén kémiaiag agresszív, korrozív vegyületeket hoznak létre, és fokozott terhelést jelentenek a hulladéktároló anyagaira nézve.

A **kis aktivitású hulladék** kategóriájának alsó korlátját nem a szabvány, hanem egy magasabb rendű jogszabály határozza meg. Ez ebben az esetben az előbbieken említett miniszteri rendelet, amely a gyakorlatban előforduló mesterséges és természetes eredetű radioaktív izotópokra mentességi szinteket állapított meg. A **mentességi szintek** fogalmi körének és számértékeinek meghatározásakor a rendelet kidolgozói lényegében átvették a nemzetközi, ezzel együtt az európai gyakorlatban elfogadott sugárvédelmi ajánlásokat, azaz a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által 1994-ben elkészített "Nemzetközi Biztonsági Alapszabályzat - Az ionizáló sugárzások elleni védelem és a sugárforrások biztonsága (IBSS

#115.)" című kiadvány vonatkozó fejezeteit. A mentességi szint ennek értelmében kettős fogalom, aktivitásként (kBq) és aktivitáskoncentrációként (kBq/kg) is értelmezhető. Ha egy tárgy vagy anyag aktivitástartalma kisebb a mentességi szintnél, az kivonható az atomtörvény és minden, azzal összefüggő egyéb rendelkezés hatálya alól, tehát radioaktív hulladékként sem kell azt kezelni. A mentességi szint meghatározásának alapja a sugárvédelem dóziskorlátozási rendszere. A mentességi szint alatti mennyiségű radioaktivitás sem külső (a sugárzás veszélyének kitett ember testén kívüli), sem belső (belégzés vagy lenyelés révén inkorporált) sugárterhelésként nem jelenthet reális egészségkárosító kockázatot a vele kapcsolatba kerülő egyénekre. Bár sem a rendelet, sem az IBSS nem tartalmazza ezt az explicit dózisszintet, a kockázattal nem járó dózisszintek megállapításánál alkalmazott értéke évi 0,01 és 0,1 mSv közé tehető. (Közismert, hogy a magyarországi lakosságot természetes eredetű radioaktivitásból származóan érő dózis évente mintegy 2,4 mSv.)

A szabvány az aktivitáskoncentrációkat tartalmazó táblázata mellett egy hasonló, kifejezetten gyakorlati jellegű kiegészítést is közöl: a hulladékokat tartalmazó göngyölegek felületén mérhető gamma-dózisteljesítmény értéke alapján is meghatározza a hulladékok osztályait. Eszerint kisaktivitású az a hulladék, amelynek felületétől 10 cm-re a dózisteljesítmény 0,300 mSv/h-nál kisebb, nagyaktivitású pedig az, amelynél a dózisteljesítmény 10 mSv/h-nál nagyobb. E felosztás alapján természetesen nem minősíthetők az alfasugárzó nuklidokat is tartalmazó hulladékok, hiszen a kiemelkedően nagy egészségkárosító hatású alfasugárzás csekély áthatolóképessége miatt a göngyöleg felületén át nem is lehet mérhető.

A felezési idő alapján történő felosztás még az eddigieknél is szubjektívabb, azaz gyakorlatiasabb. Hosszú élettartamú hulladékok a 30 évnél hosszabb felezési idejűek. Ennél (azaz a ^{137}Cs felezési idejénél) hosszabb felezési idejű nuklidok csak egyes kísérleti és oktatási laboratóriumokban alkalmazott forrásokban, valamint nukleáris reaktorok kimerült fűtőelemeiben vannak jelen a mentességi szintet meghaladó mennyiségben.

Mint említettük, a nemzetközi gyakorlat számos más kategorizálási elvet és rendszert is ismer. Két ilyen, Magyarországon egyelőre nem hivatalosan használt esetet érdemes megemlíteni. A "vegyes hulladék" fogalmával számos országban a radioaktivitásán kívül egyéb, pl. kémiai okból is veszélyes hulladékokat jelölik. Több országban, így az USA-ban és Nagy-Britanniában a nagyaktivitású hulladék fő ismérve nem az aktivitáskoncentráció, hanem az a sajátosság, hogy az ilyen nagy koncentrációjú radioaktív anyagban a bekövetkezett bomlások miatti hőfejlődés fűtőteljesítménye eléri a 2 kW/m³ értéket.

Radioaktív hulladékok kezelésének lehetőségei

A radioaktív hulladékok kezelése (angol kifejezéssel: management) igen széles fogalomkört fog át, ennek csak egy része a hulladékok feldolgozása (processing). A teljes folyamat részei az alábbiak:

- a hulladékok összegyűjtése, előzetes minősítése és ideiglenes tárolása,
- a hulladékok szállítása, - a hulladékfeldolgozás, melynek részlépései a halmazállapottól és a hulladékok osztályától függenek,
- a feldolgozott hulladék elszállítása és átmeneti tárolása,
- a hulladék végleges elhelyezése. E csoportok közül a hulladékfeldolgozás és az átmeneti, illetve végleges elhelyezés számos, egymástól élesen különböző eljárást foglal össze.

A **hulladékfeldolgozás** szilárd hulladékok esetén az alábbi eljárásokat jelentheti: tömörítés (prézelés), égetés, rögzítés (kondicionálás, lásd később). Folyékony halmazállapotú, kis és közepes aktivitású hulladékok esetén az elhelyezési költségek csökkentését célzó térfogatcsökkentésre igen sok lehetőség van: alkalmazható az oldatok bepárlása, égetése, a radioaktív komponensek lecsapása, szűrése, extrakciója, ioncseréje is. Valamennyi eljárás közös jellemzője, hogy a keletkező radioaktív anyag kisebb térfogatú és nyilvánvalóan nagyobb aktivitáskoncentrációjú lesz, mint a kiindulási oldat, és az "inaktív" anyagáram meg kell, hogy feleljen a mentességi kritériumoknak.

A térfogatcsökkentést szilárdítás (kondicionálás) követi. Vizes alapú oldatokat általában cementezéssel, szerves alapúakat bitumenezéssel szilárdítanak. Bár a szilárdítás nyilvánvalóan térfogat növekedéssel jár, azaz rontja a későbbi elhelyezés gazdaságosságát, mégis szükséges, hiszen meg kell akadályozni a hulladékban lévő radioaktív izotópok kikerülését a környezetbe.

Újabb, elsősorban közepes- és nagyaktivitású hulladékoknál gazdaságos kondicionálási eljárás az üvegesítés (vitrifikáció). Ennek során a szilárd(ított) hulladékot olvasztott üvegmasszába keverik, amely megszilárdulva a többi eljárásnál sokszorta hatékonyabban rögzíti a radioaktív szennyezést. Igen fontos, hogy az üveg különleges szerkezete ellenáll a nagyaktivitású hulladékok esetében nem elhanyagolható hőfejlődésnek is.

A kiégett fűtőelemek feldolgozása, a reprocessálás újrahasznosításra alkalmatlan, nagyaktivitású melléktermékei is hulladékként kezelendők. A fenti eljárásokon kívül ezen anyagokkal kapcsolatban egy különleges nukleáris reaktort igénylő feldolgozási módszerrel is kísérleteznek, a transzmutációval, ami a hosszú felezési idejű radionuklidok neutronbesugárással történő átalakítását jelenti.

A **kiégett fűtőelemek újrahasznosításának** területén további fejlődés várható. Még fokozottabban igaz ez a hulladékok viselkedésének, környezetbe való kikerülésének és ottani terjedésének tudományára. Ezért jelenleg a legtöbb állam nem tartja indokoltnak és gazdaságosnak a kiégett fűtőelemek végleges elhelyezését. A kiégett és újrahasznosításra egyelőre nem szánt fűtőelemeket ezért a sugárvédelmi biztonságnak megfelelően kialakított, általában 50 évre tervezett élettartamú átmeneti tárolókban helyezik el.

A Földön keletkező radioaktív hulladék térfogatának 99 %-a kis és közepes aktivitású, ezek végleges elhelyezése igen jelentős és költséges feladat. A tárolók két típusa ismeretes: a felszín közeli (legfeljebb 15-30 m mélységű) és a felszín alatti (mélységi, geológiai, legalább 300 m mélységű) hulladéktárolók. Európa két legnagyobb tárolója, L'Aube (Franciaország, 1 millió m³) és Drigg (Anglia, 800 ezer m³) felszín közeli tároló.

Magyarország jelenleg egyetlen üzemelő radioaktív hulladéktárolója Püspökszilágyon (5000 m³) szintén felszín közeli. A paksi atomerőmű kis és közepes aktivitású hulladékainak elhelyezésére tervezett tároló felszín alatti lesz. Ez a Nemzeti Radioaktív Hulladéktároló Létesítmény a Tolna megyei Bábaapáti térségében épül és 2008 decembere óta –felszíni létesítményében - fogadja a hulladékos hordókat. A felszín alatti végleges tároló építése jelenleg folyik.

A paksi atomerőmű kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékainak elhelyezése

Az atomerőművekben - így Pakson is - működésük során szükségszerűen keletkeznek szilárd és folyékony radioaktív hulladékok, amelyeknek minimális szinten tartása, kezelése, feldolgozása és végleges elhelyezése a világ atomenergia-iparának egyik legfontosabb feladata.

A paksi atomerőműben a radioaktív hulladékok mennyisége és összaktivitása a létesítmény műszaki tervében rögzítetteknél lényegesen kevesebb, ami az üzemelés színvonalát és a sugárvédelmi ellenőrzés szigorúságát minősíti. Az ilyen jellegű hulladékok kezelése **szelektív gyűjtésből, mérésből, térfogatcsökkentésből, csomagolásból, átmeneti tárolásból, majd végleges elhelyezésből** áll. A végleges elhelyezést biztosító létesítmény feladata a radioaktív anyag biztonságos és tökéletes elszigetelése a bioszférától hosszú időn át. Funkciójának ellátásához nincs szükség energiára, forgó gépekre, nagy nyomásra, hőmérsékletre, mint egy atomerőműnek. Sugárvédelmi kockázata gyakorlatilag elhanyagolható. Megépítése nemzetközi referenciákkal bíró, megoldható és megoldott műszaki feladat.

Az eddigi, az atomerőmű telephelyén kívüli elhelyezést éveken keresztül a Püspökszilágy és Kisnémedi községek határában (Pest megye) létesült Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló telephelyén valósították meg. Mivel ez a tároló nem a paksi hulladék befogadására készült, kapacitása korlátozott, a hosszú távú hulladék-elhelyezésről egy kifejezetten Paks igényeire méretezett tárolót kell megépíteni. Egy célprogramnak az eredményeképpen sikerült kiválasztani Bábaapáti térségében egy erre a célra alkalmas területet, amelyen az 1997-ben megalakult Radioaktív Hulladékokat Kezelő Nonprofit Kft. irányításával megindult kutatások és beruházások eredményeképpen hamarosan üzembe helyezhető lesz a paksi atomerőmű kis- és közepes aktivitású hulladékait tartalmazó hulladékos csomagok végleges elhelyezése ebben a Nemzeti Radioaktív Hulladéktároló létesítményben.

Az atomerőműben termelődött kis- és közepes aktivitású hulladékok végleges elhelyezhetőségéig a hulladékokat az erőmű területén létesült, szilárd és folyékony halmazállapotú radioaktív hulladékok tárolását lehetővé tevő átmeneti tárolókban tárolják. A szilárd hulladékokat 200 literes hordókba helyezve raktározzák erre a célra épült

medencékben, míg a folyékony halmazállapotú radioaktív hulladékokat rozsdamentes acélból készült nagy tartályokban tárolják a feldolgozásig, illetve a szilárdításig.

A paksi atomerőműben úgy az átmeneti tárolás, mind a Bábaapáti térségében hamarosan meginduló végleges elhelyezés a nemzetközi jó gyakorlatnak megfelelően biztonságosan oldja meg a kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tárolásának az ügyét.

Az atomerőmű leszerelése

A világ ipari létesítményei közül – egyedülállóan – csak az atomerőművek rendelkeznek az üzemidejük letelte utáni időszakra vonatkozó lebontási tervekkel. A világban valaha működött és már véglegesen leállított nukleáris létesítmények közül számos lebontása történt meg, így kellő tapasztalat gyűlt össze az atomerőművek leszerelésének (végleges leállításának, lebontásának, a lebontás közben keletkezett radioaktív és „közönséges” hulladékok kezelésének, valamint a telephely más célra történő hasznosításának előkészítésére történő) végrehajtására.

A nemzetközi szervezetek ajánlásaival összhangban a paksi atomerőmű is rendelkezik előzetes leszerelési tervvel. Az első – tanulmányterv szintű és csak az 1. és 2. blokkra vonatkozó – leszerelési terv még 1993-ban készült el, amit követően 1997-ben már az atomerőmű egészére kiterjedő előzetes leszerelési terv állt rendelkezésre. Megfelelően a hazai szabályozással, ez az előzetes leszerelési terv minden 5 évben felülvizsgálatra kerül, azaz „finomodik”. A blokkok végleges leállítását megelőzően 1 évvel kell majd rendelkezésre állni a végleges leszerelési tervnek.

Az előzetes leszerelési terv három változatot tartalmaz:

- a blokkok leállítása után a technológiai rendszerek és az épületek azonnali lebontása,
- az összes radioaktívan szennyezett, illetve a felaktiválódott technológiai rendszereket tartalmazó primerkörüi létesítmények 20-50-70-100 évig tartó védett megőrzése, és az ezt követő lebontása,
- a reaktorok körüli részekből képzett ún. „nukleáris szigetek” védett megőrzés utáni lebontása.

Az előzetes leszerelési tervben részletesen kidolgozott 3 változat közül jelenleg a primerkörüi részek 50 éves védett megőrzés utáni lebontása a preferált leszerelési verzió.

A lebontási munkák mindegyik változat esetében az ún. „zöldmezős” lebontást tartalmazzák, azaz az atomerőmű fő technológiai épületeinek minden föld feletti részét le fogják bontani.

Az atomerőmű leszerelési munkái igen költségesek. Annak elkerülése érdekében, hogy ezek a terhek a jövő generációit terheljék, az atomerőmű minden évben befizet a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapba akkora összeget, amely elegendő lesz ezeknek a munkáknak az elvégzésére. Az alap működését, nagyságát, feladatát részletesen az RHK Kft. honlapján lehet megismerni.