

Nikodém Edit

### **Radioaktív hulladékok kezelése, tárolása és környezetbiztonsági aspektusai**

*A radioaktív anyagok felhasználási területeinek bővülése és a nukleáris energia előállításának jövőbeni szerepvállalása mind inkább előtérbe helyezi a nukleáris környezetvédelem fontosságát. A szerző a környezetbiztonság előtérbe helyezésével mutatja be a Magyarországon alkalmazott nukleáris technológia során keletkező radioaktív hulladékok szakszerű és biztonságos kezelését és elhelyezését.*

*Az ember és az általa folyamatosan fejlődő technika világméretű problémaként tárja elénk természetes környezetünk fokozatos védelmét, amelynek kivitelezése az egyre növekvő energiafelhasználás mellett mindinkább központi feladatként jelentkezik. Földünk energia felhasználása 2050-ig megkétszereződhet, amivel együtt az energiaellátás biztonságának fenntarthatósága is ugyanekkora mértékben nő. A megújuló energiaforrások mellett számos gazdaságossági és környezetvédelmi versenylőnye miatt a nukleáris energia központi szerepet játszik a villamosenergia terén. A radioaktív anyagok felhasználási területeinek bővülése és a nukleáris energia előállításának jövőbeni szerepvállalása mind inkább előtérbe helyezi a nukleáris környezetvédelem fontosságát. A szerző a környezetbiztonság előtérbe helyezésével mutatja be a Magyarországon alkalmazott nukleáris technológia során keletkező radioaktív hulladékok szakszerű és biztonságos kezelését és elhelyezését.*

## **HANDLING AND STORAGE OF RADIOACTIVE WASTE AND ITS ENVIRONMENTAL EFFECT**

### **Abstract**

*The continuous development of technology through mankind brings up the global problem of the progressive protection of our natural environment, which along with the growing energy consumption is becoming a key challenge. The world's energy consumption could double by 2050, together with the sustainability of energy-supply safety. Beside the renewable energy resources, because of its numerous economic and environmental advantages, it is the nuclear energy, which plays an important and central part in the production of electricity. The spread of radioactive materials' application and the future role of nuclear energy increasingly put forward the importance of the nuclear environmental protection. The author presents the professional and secure management and disposal of nuclear waste resulting from the use of nuclear technology in Hungary by putting forward environmental safety.*

**Keywords:** radioactive waste, storages, sorting, placement, storage, environment protection

## **BEVEZETÉS**

Az 50-es, 60-as évektől kezdődően fellendülő izotópalkalmazások, radioaktív anyagok különféle – ipari, mezőgazdasági, gyógyászati és kutatási – területeken történő felhasználása, valamint az atomenergia egyre szélesebb körű békés hasznosítása maga után vonja – mint minden más iparban is – a hulladék keletkezését. Annak köszönhetően, hogy e hulladék veszélyességét már idejekorán felismerték, olyasfajta terveket, eljárásokat, koncepciókat fogalmaztak meg, amelynek következtében a radioaktív hulladék-gazdálkodás még ma is példaértékű lehet más iparágak számára. A felmerülő tudományos-technikai problémák, a politikai változások és az egyre tudatosabb környezetvédelmi mozgalmak által kiélezett helyzet, a hulladékkezelés kérdését a nukleáris ipar jövőjének egyik kulcspontjává tette. [1] Az állampolgárok atomenergia békés célú felhasználásával kapcsolatban a radioaktív hulladékok keletkezését központi problémaként értelmezik, annak ellenére, hogy szakszerű kezelés és megfelelő tárolás mellett azok nem jelentenek veszélyt a környezetre. Fontos megjegyezni, hogy a fosszilis tüzelésű erőművek és egyes iparágak jóval nagyobb mennyiségben termelnek veszélyes hulladékot, mint az atomreaktorok. A radioaktív hulladék kezelésének és elhelyezésének célja „hogy az ne okozzon elfogadhatatlan kockázatot a társadalomnak; ne tegyen kárt emberi életben; ne ártson a jelen, illetve jövő generáció egészségének és ne károsítsa az emberi környezetet és az emberi javakat.” [2] Ahhoz, hogy radioaktív hulladékok környezetünkre mért káros hatásaival szemben támasztott előítéletnek helyt adjunk, avagy eloszlassuk, elemeznünk kell a hulladék e speciális formájának keletkezés folyamatát, kezelését, tárolását és azokat az izolációs lehetőségeket, amelyek teljes mértékben képesek elszigetelni a sugárzó hulladékot mind az embertől, mind pedig természetes környezetétől.

## **A RADIOAKTÍV HULLADÉKOK FORRÁSAI ÉS OSZTÁLYOZÁSA**

A radioaktív hulladékok forrásának jelentős részét a minket körülvevő természet alkotja. Ezen hulladékok a föld felszínén és a földkéreg alatt vannak jelen, még hozzá igen jelentős mennyiségben úgy, mint például a természetes előfordulású radioaktív anyagok, a földkéreg ásványi nyersanyagai, gázforrások, eróziók, természeti folyamatok (pl. vulkánkitörések), spontán természetben lejátszódó maghasadási folyamatok és nem utolsósorban a világtengerek természetes radioaktivitása. A mesterséges radioaktív izotópok ipari alkalmazása (pl.: anyagvizsgálat, minőségellenőrzés, hő- és fényforrások gyártása, gyógyszerek előállítása) mellett, még számos más területen (pl.: uránérc-bányászat, atomerőmű, izotóp-diagnosztika, egészségügy) keletkezhet mesterséges forrásból származó

radioaktív hulladék. Ezen hulladékok egy része radioaktív izotópokat is tartalmazhatnak, melyek bomlásuk során különféle ionizáló sugárzást bocsátanak ki. A radioaktív hulladék: „Valamely tevékenységből, vagy beavatkozásból visszamaradt anyagok, amelyek további hasznosítására már nincs igény és amelyek a vonatkozó határértékeknél nagyobb koncentrációban és aktivitásban tartalmaznak radioizotópokat.” [3] Törvényben foglalt megfogalmazás szerint a radioaktív hulladék, további felhasználásra már nem kerülő olyan radioaktív anyag, amely sugárvédelmi jellemzők alapján nem kezelhető közönséges hulladékként.” [4]

A különféle radioaktív hulladékok fajtái és tulajdonságai figyelembe vételével azok ideiglenes tárolása, esetleges feldolgozása, (végleges) tárolóhelyre szállítása, illetve végleges elhelyezése szempontjából különböző eljárásokat igényelnek. A már említett hulladékok pedig különböző környezeti kockázatot jelenthetnek. Ebből kifolyólag a nukleáris technikákat alkalmazó országok járulékos radioaktív hulladékait bizonyos szempontok alapján osztályozzák, csoportosítják és kategóriákba sorolják. A csoportosításnál a sugárvédelmi szempontokon túl vizsgálni kell a hulladék halmazállapotát, valamint, hogy tartalmaz-e veszélyes anyagot (pl.: savat), vagy tűzveszélyes összetevőt. A kategorizálásánál jelentőséggel bír még a különböző csoportba tartozó hulladékok tárolása és elhelyezése.

Magyarországon a radioaktív hulladékokat az alábbi kategorizálás szerint csoportosítjuk:

- Aktivitáskoncentráció szerint
  - kis aktivitású hulladékok (Low Level Waste - LLW):  $<5 \cdot 10^5$  kBq/kg
  - közepes aktivitású hulladékok (Intermediate Level Waste - ILW):  $5 \cdot 10^5$ - $5 \cdot 10^8$  kBq/kg
  - nagy aktivitású hulladékok (High Level Waste - HLW):  $> 5 \cdot 10^8$  kBq/kg
- Halmazállapot szerint
  - szilárd hulladékok
  - biológiai eredetű hulladékok
  - folyékony és nem tűzveszélyes hulladékok
  - folyékony és tűzveszélyes hulladékok
  - légnemű radioaktív hulladékok
  - Halmazállapot szerint
- Felezési idő szerint
  - rövid élettartamú hulladékok: max. 30 nap a felezési idő
  - közepes élettartamú hulladékok: max. 30 év a felezési idő
  - hosszú élettartamú hulladékok: 30 év feletti a felezési idő

- Felületi dózisteljesítmény szerint
  - kis felületi dózisteljesítményű hulladékok:  $< 3 \cdot 10^{-2}$  Gy/óra
  - közepes dózisteljesítményű hulladékok:  $< 3 \cdot 10^{-2} - 10^{-2}$  Gy/óra
  - nagy dózisteljesítményű hulladékok:  $> 10^{-2}$  Gy/óra [5]

Abban az esetben, ha a hulladék környezetre vonatkozó veszélyességi tényezője egy bizonyos szint alá esik, már nem szükséges szabályozást alkalmazni. Ezeket a szinteket hívjuk mentességi szinteknek. A mentességi szint fogalma 1997-ben került be a magyar törvénykezésbe, a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség ajánlása alapján. Mentességi szintnek nevezük az egyes radionukloidokra meghatározott azon aktivitást, illetve aktivitáskoncentráció értéket, amely alatt úgy tekintjük, hogy a hulladék már nem jelent veszélyt környezetére nézve. [5]

Összességében elmondható, hogy napjainkban a radioaktív hulladékok osztályozását több szempont egyidejű figyelembevételével kell végezni. Az elhelyezés és környezeti kockázat vizsgálatokor ezeket a szempontokat együttesen kell figyelembe venni. Továbbá óvatosan kell használni a „kis, közepes és nagy aktivitású” meghatározásokat, mert ez országoként különböző (nem csak aktivitástartalom szerinti) besorolást jelenthet.

## **A RADIOAKTÍV HULLADÉKOK KEZELÉSE**

Az előzőekben bemutattam a radioaktív hulladékok keletkezésének és osztályozásának főbb irányvonalait. Ebben a fejezetben kitérek arra a folyamatra, amelynek minden állomása elengedhetetlen feltétele ahhoz, hogy a hulladék eljusson a keletkezési fázisától, egészen annak ideiglenes, vagy végleges tárolóhelyéig.

Ebben a kezelési eljárásban az elsődleges szempont az erőforrások megőrzésén túl, a lehetséges káros környezeti hatások elkerülése, a természeti erőforrások kiaknázása, valamint a természet hosszú távú védelme. „Az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény 4.§ (7) alapelveként rögzíti, hogy: „az atomenergia alkalmazása kapcsán a radioaktív hulladékokat és a kiégett üzemanyagot a legújabb, igazolt tudományos eredményekkel, a nemzetközi elvárásokkal és tapasztalatokkal összhangban kell tárolni és elhelyezni oly módon, hogy az ne veszélyeztesse az emberek egészségét és a környezetet, és ne okozzon elfogadhatatlan terhelést a jövő generációk számára.” A hulladékkezelés legfőbb célállomását a hulladékok átmeneti, vagy végső elhelyezése jelenti. Természetesen a folyamat, mint minden más, járulékos költségekkel jár, amelynek finanszírozása annak a generációnak a feladata, amely a nukleárisenergia-termelés és az izotópalkalmazás hasznait élvezi. Ebből kiindulva a törvény és végrehajtási rendeletei 1998. január 1-jével a radioaktív hulladékok elhelyezésének, a

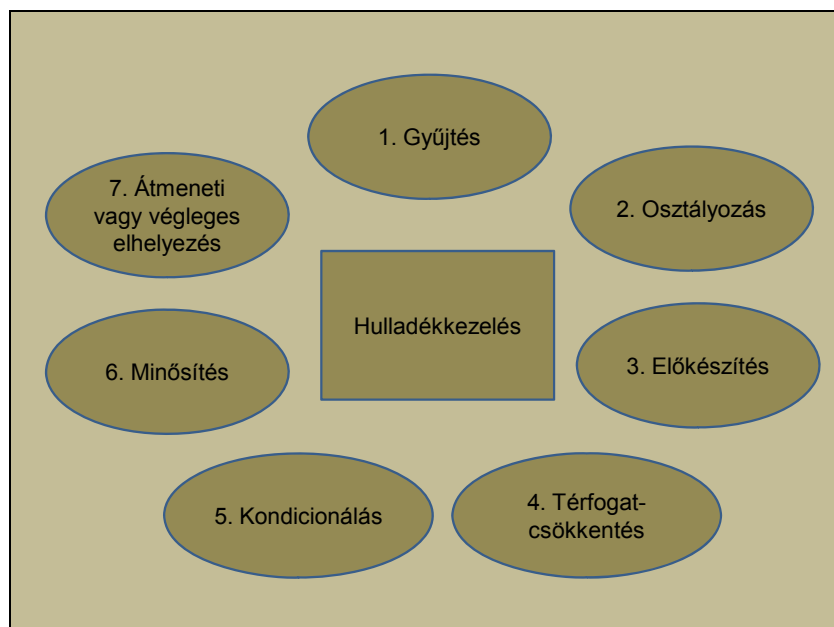
kiégett fűtőelemek átmeneti tárolásának és végleges elhelyezésének, valamint a nukleáris létesítmények leszerelésének finanszírozása céljából létrehozták a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapot. Az Alappal az Országos Atomenergia Hivatal felügyelő miniszter rendelkezik, az Alap kezeléséért az Országos Atomenergia Hivatal a felelős. [6]

A nukleáris hulladékkezelés biztonságát a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ), mint hatósági jogkörrel rendelkező szervezet, négy különálló bizottsággal, rendszerbe foglalva szabályozza: Radioaktív Hulladék Biztonság (RadWaste Safety; WASSC), Nukleáris biztonság (Nuclear Safety; NUSSC), Sugárbiztonság (Radiation Safety; RASSC), Szállítási biztonság (Transport Safety; TRANSSC).

Mielőtt rátérnénk a radioaktív hulladékok kezelésének folyamatára vizsgáljuk meg, milyen hulladékformákat különböztetünk meg:

- Kiégett nukleáris fűtőelem
- Nagy aktivitású hulladék
- Hosszú élettartamú, kis- és közepes aktivitású hulladékok

A radioaktív hulladék elhelyezését több különböző hulladékkezelési eljárás előzi meg. Ezekkel az eljárásokkal a fentiekén túl növelhető az elhelyezés biztonságossága és csökkenthetőek a tároláshoz kapcsolódó anyagi kiadások.



1. ábra: A radioaktív hulladékkezelés fázisai  
forrás: [5] készítette a szerző

Legtöbb esetben az említett fázisok összességét szokás hulladékkezelés címszóval illetni, azonban szűkebb értelemben a térfogatcsökkentést és a kondicionálást tekintik annak. Különböző eljárások alkalmazandók az eltérő aktivitás koncentrációjú, felezési idejű és

halmazállapotú hulladékokra. Ebben az esetben kiemelt fontossággal bír, hogy a kezelés és elhelyezés szempontjából a hulladék tartalmaz-e kémiai veszélyes anyagot. A következőkben vizsgáljuk meg a folyamatokat.

### *1. Gyűjtés*

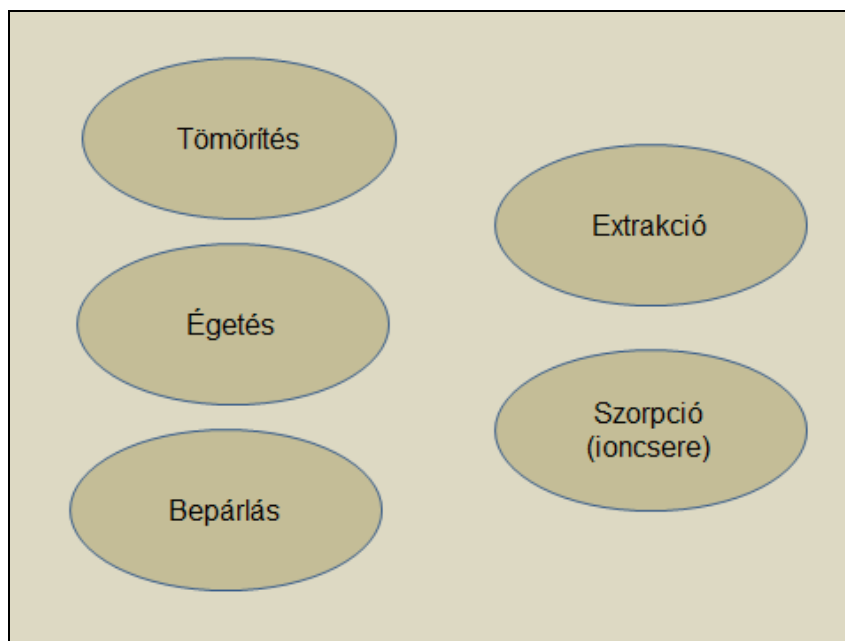
A kezelési folyamat kezdő lépéseként a keletkezésük helyszínén összegyűjtik a radioaktív hulladékokat, amelynek során a szilárd halmazállapotú hulladékot zárható tartályba, zsákba gyűjtik és ezt követően azt, egy erre a célra kijelölt ideiglenes helyen tárolják. Minden esetben az összegyűjtött radioaktív hulladékról nyilvántartást kell vezetni a hulladék megnevezésével, keletkezésének helyével, idejével és izotóp-összetételének feltüntetésével. Egyfajta szelektálás és csoportosítás már a gyűjtés idején kezdetét veszi, mint például éghetőség, vagy halmazállapot szerinti elkülönítés. Folyékony radioaktív hulladékok származhatnak az atomerőművek primervizéből, vagy különböző laborokban keletkezett oldatokból. Általában már az atomerőművekben kisebb térfogatúra dúsítják a radioaktív anyaggal szennyezett vizet, amelynek eredményeképp annak tárolása könnyebbé válik. Légnemű hulladékok is keletkezhetnek atomtechnikai létesítményekben. A radioaktív anyagokat tartalmazó légnemű hulladékokat aeroszol szűrők segítségével tisztítják, amely szűrők a későbbiek során szilárd radioaktív hulladékként kezelendők.

### *2. Osztályozás, előkészítés*

A hulladékokat ebben a szelektálási fázisban osztályozni kell többek között éghetőségük, halmazállapotuk, aktivitás-koncentrációjuk és kémiai összetételük szerint. Adminisztrációs feladatok közepette rögzítésre kerül többek között a hulladékok megnevezése, aktivitása, dózisegyenérték-teljesítménye, keletkezési helye ideje. Ha a hulladék sugárforrást is tartalmaz, annak az adatait külön fel kell tüntetni. A hulladékok előkészítése a szállítással és a kezelés előtti tárolással kezdődik.

### *3. Térfogatcsökkentés*

Amint már említettem a folyékony halmazállapotú, kis és közepes aktivitású hulladékok esetén lehetőség van térfogatcsökkentő eljárásra, amely elsősorban az elhelyezési költségek csökkentését célozza meg. Ezen eljárás jellemzője, hogy a keletkező radioaktív anyag kisebb térfogatú és nagyobb aktivitáskoncentrációjú lesz, mint a kiindulási oldat. Minden esetben a radioaktív hulladékok feldolgozása során a lehető legkisebb térfogatú, szilárd halmazállapotú hulladék előállítására kell törekedni. Ez eredményezheti a biztonságos és gazdaságos elhelyezést. A térfogatcsökkentés az alábbi módszerekkel érhető el:



2. ábra A térfogatcsökkentés módszerei  
forrás: [5] készítette a szerző

Magyarországon a ruhákat, papíryananyagokat, egyéb száraz anyagokat a tömörítés során összepréselik. Az égetés esetében a szilárd hulladékból szilárd és légnemű hulladék keletkezik. Ez egy gazdaságos megoldás, a hulladék térfogata átlagosan 1/20-ára, de akár 1/100-ára is csökkenthető. A keletkező gázra persze külön sugárvédelmi szabályok vonatkoznak. Ezt a térfogat csökkentési eljárást kizárólag erőművekben szokták alkalmazni. A bepárlás során a folyékony halmazállapotú hulladékot melegítik, s így a hulladékból bizonyos anyagokat el tudnak párologtatni. Az eljárás végén egy szennyezőkben feldúsult, csökkent össztérfogatú oldat marad vissza. Az eljárás nem olcsó, de egyszerűsége miatt igen elterjedt. Az extrakció esetében a vizes közegben oldott radioaktív anyagot egy speciális szerves anyaggal megkötik, így az a víztől szétválasztható lesz. Az ioncsere hasonló az extrakcióhoz, azzal a különbséggel, hogy ebben az eljárásban a hulladék adott ionjai köthetők meg.

#### 4. Kondicionálás

Ennek a térfogatcsökkentési módszernek az alapja, hogy a hulladékban lévő radioaktív részeket – különböző anyagokkal és eljárással – megkötik ezzel megakadályozva azok mozgását. E megszilárdítási eljárás végeredményeként születik meg az az első gát, amely primer védelmet lát el, megakadályozva a radioaktív szennyeződés környezetbe történő jutását. Ez a folyamat egyaránt alkalmazható kis, közepes és nagy aktivitás-koncentrációjú hulladékokra. Kis aktivitás esetén a cementezést, bitumenezést, míg nagy aktivitású (jelentős hőtermelésű) hulladékok kondicionálására az üvegesítés (vitrifikáció) eljárást alkalmazzák.

Az üveg radioaktív szennyezés-megkötési tulajdonsága – a többi eljáráshoz viszonyítva – jóval hatékonyabb. Összességében kijelenthető, hogy kondicionálás során megszilárdított hulladéknak ellen kell állnia a külső kémiai, biológiai hatásokkal szemben, ugyanakkor maximálisan hő- és sugárállóknak kell lennie.

### *5. Minősítés*

A már elhelyezésre és tárolásra szánt radioaktív hulladék minden esetben egyfajta minősítésen megy keresztül. Ennek keretében meghatározzák az előkészített hulladék aktivitását és felületi dózisteljesítményét. Ennek során egy ún. veszélyességi indexet állapítanak meg, amely jelzi, hogy mennyi összerhelést okozna az adott hulladékban lévő aktivitás, amennyiben az a környezetbe jutna. Az így meghatározott index jelöli ki a hulladék elhelyezésének módját.

A fentiekben bemutatott hulladékkezelés minden egyes fázisa elengedhetetlen ahhoz, hogy egy sugárzó tulajdonságokkal rendelkező anyagot szakszerűen előkészítsünk huzamosabb ideig történő tárolására úgy, hogy az mindvégig az emberre és a környezetre semmilyen veszélyt nem jelenthet.

## **A RADIOAKTÍV HULLADÉK ELHELYEZÉSE**

Az előző fejezetben kitértünk a radioaktív hulladékok kezelésének és előkészítésének fázisaira, azok technikai megoldásaira. Minden hulladékkezeléssel kapcsolatos eljárás végső célja, hogy hozzájáruljon a radioaktív hulladékok elhelyezéséhez és tárolásához. Ebben a részben bemutatom az elhelyezéssel és tárolással szemben támasztott követelményeket, az e célra alkalmas lehetséges megoldásokat, módszereket.

A korábban már említett atomtörvény 38. § (2) bekezdésének a) és b) pontja – a nukleáris energia békés célú alkalmazása mellett – kitér azon feltételekre, amelyek a radioaktív hulladék és a kiégett üzemanyag átmeneti tárolását és végleges elhelyezését biztonságossá teszik. Mindezek alapján biztosítani kell az emberi egészség és a környezet védelmét e tevékenységek teljes időtartamára, másrészt pedig igazolni kell, hogy az emberi egészségre és a környezetre gyakorolt hatás az országhatárokon túl sem nagyobb a belföldön elfogadottnál. A törvény mellett számos előírás és rendelet szabályozza a tárolást és elhelyezést. Többek között "Földtani és bányászati követelmények a nukleáris létesítmények és a radioaktív hulladék elhelyezésére szolgáló létesítmények telepítéséhez és tervezéséhez" című, 62/1997. (XI. 26.) IKIM rendelet, a "Nukleáris létesítmény és a radioaktív hulladéktároló biztonsági övezetéről" rendelkező 213/1997. (XII.1.) Korm. rendelet, valamint "a radioaktív hulladékok átmeneti tárolásának és végleges elhelyezésének egyes kérdéseiről, valamint az ipari



tevékenységek során bedúsuló, a természetben előforduló anyagok sugáregészségügyi kérdéseiről" sz. 47/2003. (VIII. 8.) ESzCsM rendelet.

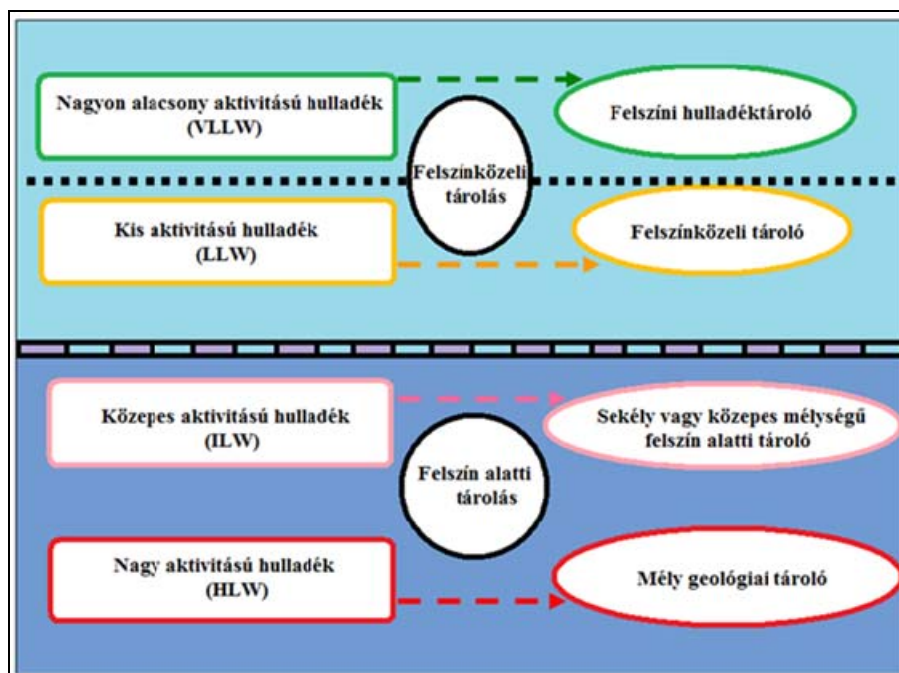
A radioaktív hulladékok tárolása során a tárolókkal szemben támasztott követelmények igen szigorúak. Számos olyan feltételnek kell megfelelniük, amelyek mind azt hivatottak szolgálni, hogy az ott tárolt radioaktív anyag semmilyen körülmények között ne kerülhessen a környezetbe. Ezen feltételek megkülönböztetik az üzemelés alatt, illetve a bezárás utáni működést, valamint a tároló normál üzemeltetését szemben egy esetleges baleseti szituációval. Ezen tényezőket már a tároló kialakításánál és előzetes tervezésekor figyelembe kell venni. A fentiek tükrében megfogalmazható egy általánosan vett követelményrendszer, azonban minden létesítmény kialakításakor az adott körülmények ezt befolyásolhatják. Meghatározó követelményként említhető, hogy végleges tárolókban a hulladékokat úgy kell elhelyezni, hogy azok egy meghatározott időtartamon át tökéletesen elzártak legyenek. Ez alatt az idő alatt a hulladékok legnagyobb része általában lebomlik. A zárórendszer falának és a tárolót körülvevő geológiai környezetnek meg kell akadályoznia a nagy élettartamú hulladékok környezetbe történő kijutását.

A radioaktív anyagok környezetbe való kikerülésének egyik legvalószínűbb módja a talajvíz útján történő kioldódás, ebből adódóan a legszigorúbb feltételek a vízbeáramlás korlátozására vonatkoznak, melynek célja a radionuklidok kijutásának csökkentése. Ez az elsődleges szempont a környezetbiztonság vonatkozásában, azonban nem szabad megfeledkeznünk az emberi beavatkozásokról és a természeti folyamatokról való gondoskodásról sem, mert ezek mind veszélyeztethetik a tárolók biztonságát. Általánosan vett hulladékkezelési folyamat során a radioaktív hulladékokat végleges elhelyezés előtt szinte kivétel nélkül hosszabb-rövidebb ideig átmeneti tárolókban helyezik el. Sok esetben ezt technikai előírások is röghöz kötik, mivel például a nagy aktivitású hulladékok a tárolási fázis elején még jelentős hőt fejlesztenek, így egy ideiglenes tárolóban történő elhelyezés során biztosítani tudják a hulladék megfelelő hűtését. A kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok hőfejlesztése elenyésző, így azok esetében az átmeneti tárolás csupán gyűjtési, osztályozási és kezelési funkciót lát el, vagy egyszerűen a végleges tároló létesítmény hiányára vezethető vissza. Az átmeneti tárolókkal szemben támasztott legfontosabb követelmény, hogy felügyelet mellett (legfeljebb) néhány évtizeden keresztül biztosítsák a radioaktív anyagok tárolását. Ennek előnye, hogy bármilyen (leginkább a radionuklidok elszigeteléséből adódó) probléma esetén egy monitorozó rendszer segítségével azonnal, súlyosabb következmények nélkül közbe lehet avatkozni.

A Földön keletkező radioaktív hulladék térfogatának 99 %-a kis és közepes aktivitású, ezek végleges elhelyezése igen jelentős és költséges feladat. Gyakorlati megvalósítás esetében az ilyen jellegű hulladékokat felszíni, vagy felszín közeli, kis mélységű tárolókba helyezik. A 30 évnél rövidebb felezési idejű nuklidok radioaktív sugárzása néhány száz év alatt lecseng, ezért azok elszigetelését követő végleges elhelyezésére két alternatíva kínálkozik:

- felszín közeli tárolás (legfeljebb 15-30 m mélységű)
- felszín alatti tárolás (mélységi, geológiai, legalább 300 m mélységű)

A radioaktív hulladékkezelés alapelveként szolgálhat a kategorizált-hulladék elhelyezésének szempontjára épülő következő modell:



3. ábra: Hulladékkezelési alapelv-modell (IAEA Safety Requirements No. WS-R-4)  
forrás: [http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0021\\_Nuklearis\\_ipar\\_hulladekkezelese/ch02s02.html](http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0021_Nuklearis_ipar_hulladekkezelese/ch02s02.html)



4. ábra: El Cabril radioaktív hulladéktároló – Spanyolország  
forrás: <http://www.rhk.hu/letesitmenyeink/rhft/nemzetkozi-gyakorlat/>

A felszín közeli tárolók a felszín felett, vagy az alatt, de legfeljebb néhányszor 10 m mélyen helyezkednek el. Ezen létesítményeket olyan radioaktív hulladékok elhelyezésére használják, amelyek aktivitása viszonylag rövid idő (néhány száz év). Ezen hulladékokat addig tárolják, amíg azok aktivitás szintje le nem csökken a környezetet már nem veszélyeztető szint alá. A felszín közeli tárolás vitathatatlanul az egyik leginkább költségkímélő eljárás és ezen felül ennek üzemeltetésében rendelkeznek a szakemberek a legtöbb tapasztalattal. Hátránya viszont, hogy kevésbé védett a külső behatásokkal szemben, ezért az üzemeléséhez állandó felügyelet szükséges.

Ezzel szemben egy másik lehetséges tárolási mód a felszín alatti tárolás, amelyre jellemző, hogy az előző tárolási módszernél sokkal stabilabb, ezért akár nagy aktivitású hulladékok elhelyezésére is alkalmas lehet megfelelő hulladékkezelés esetén. A felszín alatti tárolókat a földfelszín alatt több száz méter mélyen alakítják ki. Sok esetben felhasználhatók erre a célra régebbi, elhagyott bányák (pl. vasércbánya), amellyel még a mélységi tárolók építési költségei is csökkenthetők. Ennek hiányában direkt e célra, bányászati módszerrel kialakított aknákat létesítenek. A geológiai vizsgálatok azt mutatják, hogy léteznek olyan kőzetek, amelyekben évmilliók vagy évmilliárdok alatt sem következtek be jelentős geológiai változások. A stabil földtani környezetben történő radioaktív hulladék-elhelyezés legfőbb célja az emberi tevékenységgel és természeti folyamatokkal szembeni megfelelő szigetelés biztosítása. Így érhető el, hogy a radionuklidok kibocsátása a végső esetben is csak olyan alacsony koncentrációjú, hogy az nem jelent veszélyt az emberi egészségre és a természeti környezetre. Ezek a kőzetek feltehetőleg a következő néhány évezredben sem fognak megváltozni, ezért lehetőséget nyújtanak arra, hogy a nagy aktivitású és hosszú élettartamú

radioaktív hulladékokat a bennük megfelelően kialakított tárolókban elhelyezzék. Ez a drágább, de legbiztonságosabb hulladéktárolási módszer. További előnye, hogy a tároló bezárása után nincs szükség annak állandó felügyeletére. A felszín alatti környezetben - ellentétben a felszín közelivel - a körülmények többnyire stabilak maradnak azon idő alatt, amely a radioaktivitás kellően alacsony szintre való lebomlásához szükséges, ezért a nagy aktivitású hulladékok csak ilyen tárolóba helyezhetők.

## **RADIOAKTÍVHULLADÉK-TÁROLÁS MAGYARORSZÁGON**

A radioaktív anyagok elhelyezése, tárolása globális méretű probléma és mivel hazánkban is – elsőként az atomerőművet említve – számos helyen alkalmaznak sugárzó radioaktív anyagokat, ez a feladat Magyarországot is nagymértékben érinti. Ebben a fejezetben kitérek a hazai radioaktív hulladéktárolás aktuális helyzetére, a tároló-létesítmény helyére és befogadóképességére. Kereki Ferenc, az RHK Kft. ügyvezető igazgatóját idézve: „Alapvető stratégiai cél, hogy a nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésének minden problémáját Magyarországon kell megoldani, függetlenül attól, hogy a szakmai szempontból azonos kategóriába sorolható kiegészítő nukleáris üzemanyaggal mi történik, azaz milyen üzemanyagciklus-zárási stratégiát választ az ország. A nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezése érdekében az ország területén stabil, mély geológiai formációban kialakítandó tároló létesítésére kell felkészülni. Az egységes nemzetközi álláspont szerint egy ilyen tároló felhasználható a kiegészítő üzemanyag közvetlen elhelyezésére, de alkalmas a kiegészítő üzemanyag reprocesszálsági hulladékainak befogadására is.” [7]

Magyarországi viszonylatban nagy aktivitású hulladéknak főként az atomerőmű által elhasznált kiegészítő fűtőelemeket tekintjük, amíg a kis és közepes aktivitású anyagok közé sorolhatjuk például a reaktorok közelében használt és sugárzásnak kitett anyagokat, szerszámokat, az ott dolgozók ruhadarabjait, a szellőzőrendszer szűrőit, a takarítás közben használt anyagokat stb. Ezek tárolása, végleges elhelyezése mind szakmailag, mind a technikai megvalósítás szempontjából nagy kihívást jelent. Magyarország – a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően – a radioaktív hulladékok felszín alatti tárolásában látja a megoldást. Korábban a paksi atomerőmű tett kezdeti lépéseket radioaktív hulladékok végleges tárolóhelyének kialakítására. E cél megvalósítására hozták létre a Radioaktív Hulladékokat kezelő Kht.-t (későbbiekben már RHK Nonprofit Kft.), amely már 1998-óta koordinálja ezt a kihívásokkal teli feladatot.[7]

A paksi atomerőműben keletkező, mintegy 18 ezer köbméternyire becsült sugárszennyezett hulladék, valamint az erőmű majdani leszerelésével közel ugyanennyi, összesen mintegy 40

ezer köbméternyi kis- és közepes aktivitású hulladék végleges elhelyezésének kérdésére még 2003-ban a Bataapátiban végzett mérések adták meg a választ. Mivel a terület minden szempontból alkalmas felszín alatti radioaktív hulladéktároló kialakítására, ezért 2004 szeptemberében meg is kezdődtek a felszín alatti kutatások, 2005-ben pedig már a földalatti aknák kiépítési munkálatai, amelynek eredményeként máig 5500 méternyi vágatot készítettek el. 2008-ban átadott felszíni létesítmények 3000 hordónyi Pakson keletkezett hulladékot voltak képesek tárolni. A 2009-ben elkezdődött mélységi fúrások eredményeként 2011-szeptemberére befejeződött a földalatti tároló két kamrájának bányászati kialakítása, amelyek a 2012-decemberében ünnepélyes keretek között átadásra kerültek. A két, egymással nagyjából végig párhuzamos, 10 százalékos lejtésű, jó 25 négyzetméteres szelvényméretű lejtős akna hossza összesen 1700 métert tesz ki. A hordók itt egy 250 méter mélyen kialakított földalatti tároló kamrába kerülnek. A Bataapáti tároló befogadó képessége 40 ezer köbméter, a paksi atomerőműből idehozott kis és közepes radioaktivitású hulladék 600 évig marad itt. Az átadásnál Szabó Attila az RHK Kft. kommunikációs vezetője elmondta: „A vizsgálatok szerint a Boda község környékén található speciális agyagkő, az aeuroilit az eddigi kutatások alapján megfelel arra, hogy ott olyan tárolót létesítsünk, ami százezer éves léptékben is garantálja, hogy a sugárzó anyag nem kerül ki a környezetbe”. [8] [9]

## ÖSSZEGZÉS

Mára a világ számos területén – technikai, ipari, gazdasági térhódítás – következtében nagy hangsúly szereződik a környezettudatos egyéni és társadalmi gondolkodásra és magára a környezetvédelemre. Ennek egyik kiemelkedő szegmensét képezi a nukleáris környezetvédelem, amelynek alapvető feladata, hogy folyamatosan kontrollálja a radioaktív anyagok kibocsátását és széleskörűen vizsgálja azok közvetlen környezeti megjelenését. Ez ellenőrzések sorozatával érhető el. E célból távmérő hálózatokat vetnek be, amelyek a legfontosabb kibocsátási és környezeti sugárzási mennyiséget és meteorológiai jellemzőket folyamatosan mérik, illetve monitorozzák. Legtöbb esetben az említett mérési eredményeket laboratóriumi vizsgálatok alá vetik, így kiegészítve és pontosítva azokat. Egy év alatt megközelítőleg tízezer reprezentatív mintavételt és analízist végeznek. A nukleáris környezetvédelem jelentős részét képezi a radioaktív hulladék-elhelyezés, amely az egyébként környezetbarát atomenergiát – az állampolgárok körében – egy negatív és elutasító szemléletmóddal párosítja. Mégis, a radioaktív hulladék helyzete a legtöbb országban jobb vagy sokkal jobb, mint az egyéb hulladékoké. Ebben két tényezőnek van szerepe. Egyrészt a radioaktív hulladékok mennyisége (térfogata) sokkal kisebb más hulladékokénál. Ezért, bár az

egyéb hulladékoknál gyakran veszélyesebbek, a radioaktív hulladékok elhelyezésének megoldására elég néhány, megfelelően megválasztott hulladéktemető, szemben például a kommunális hulladék folyamatosan növekvő helyigényével. Másik tényező, hogy a radioaktív hulladékoknál már viszonylag korán fölismerték, hogy kezelésük hosszú távú stratégiát igényel és ezért a tervek, megoldási kísérletek és az egyes megoldások messzebbre néznek előre, mint a kommunális hulladékok esetében. A cikkben bemutatásra kerültek azok a radioaktív hulladékok keletkezésével, csoportosításával, kezelésének lépéseivel, valamint biztonságos tárolásával és végső elhelyezésével összefüggő gyakorlati megoldások, amelyek képesek radioaktív hulladékok környezetre gyakorolt káros hatását kiküszöbölni, ezzel óvva a természetet és vele együtt az ember és az élővilág egészségét.

**Nikodém Edit**  
[nikodem@t-email.hu](mailto:nikodem@t-email.hu)

## Felhasznált irodalom

- [1] Dr. Szűcs István: A nukleáris ipar hulladékkezelési kihívásai – Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet (2011)  
forrás: [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021\\_Nuklearis\\_ipar\\_hulladek\\_kezelese/adatok.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Nuklearis_ipar_hulladek_kezelese/adatok.html) (2013.03. 23)
- [2] Nemzeti jelentés – készült a kiégett fűtőelemek kezelésének biztonságáról és a radioaktív hulladékok kezelésének biztonságáról szóló közös egyezmény keretében. /Magyar Köztársaság - 2011/  
forrás: [http://www.oah.hu/web/v2/portal.nsf/letoltes\\_hu/1A7714FEDB442CF6C125792700327888/\\$file/jc\\_nj\\_4.pdf](http://www.oah.hu/web/v2/portal.nsf/letoltes_hu/1A7714FEDB442CF6C125792700327888/$file/jc_nj_4.pdf) (2013. 03. 23)
- [3] Dr. Hegyháti József: Radioaktív hulladékokról /RHK Kht./  
forrás: [http://www.haea.gov.hu/web/v2/portal.nsf/att\\_files/eloadasok/\\$File/v\\_hegyhati.pdf?OpenElement](http://www.haea.gov.hu/web/v2/portal.nsf/att_files/eloadasok/$File/v_hegyhati.pdf?OpenElement) (2013. 03. 24)
- [4] 1996. évi CXVI. tv. az atomenergiáról 2.§ 15. pontja  
forrás: [http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=99600116.TV](http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99600116.TV) (2013. 03. 24)
- [5] Dr. Pátzay György – Radiokémia VI.  
forrás: [http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/kemiai\\_technologia/Radiok%20mia/radiokemia-VI.pdf](http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/kemiai_technologia/Radiok%20mia/radiokemia-VI.pdf) (2013. 03. 24)
- [6] Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Szervezet feladatai  
forrás: <http://www.rhk.hu/rolunk/mandatumunk/finanszirozasi/> (2013. 03. 23)
- [7] Bárdossy György: A hazai radioaktív hulladék-elhelyezés helyzete  
forrás: <http://www.doksi.hu/get.php?lid=4851&order=DisplayPreview> (2013. 03. 23)
- [8] Kereki Ferenc: A radioaktív hulladékok elhelyezésének helyzete Magyarországon (A Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló (NRHT) első két kamrája kialakításának földtudományi, bányászati és technológiai eredményei 1. előadás.)  
forrás: <http://www.mageof.hu/arch/pecs2012.pdf> (2013. 03. 23)
- [9] Nyit a Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló (NRHT)  
<http://richpoi.com/cikkek/hazai/nyit-a-nemzeti-radioaktivhulladek-tarolo.html>  
(2013. 03. 21)