
Bárdossy György

A RADIOAKTÍV HULLADÉKOK ELHELYEZÉSE

Radioaktív hulladékok nemcsak atomerőművekben keletkeznek; létrejönnek kutató- és oktatóreaktorokban, orvosi és ipari, valamint egyes katonai létesítményekben. E hulladékok az élővilágra veszélyesek és ezért a környezettől elzárt, biztonságos tárolókban kell őket elhelyezni. A hulladékok eltérő mértékű veszélyessége és élettartama miatt különböző tárolási módokra van szükség. Az elmúlt évtizedek során felgyűlt nemzetközi tapasztalat alapján a bécsi székhelyű Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) a radioaktív hulladékokat a következő módon csoportosítja:

- **Nagy aktivitású hulladék:** 2 kW/m^3 -nél nagyobb hőteljesítményű, főként hosszú élettartamú (több tízezer évet is elérő) radionuklidokból álló hulladék.¹ Főként atomerőművek kiégett fűtőelemei tartoznak e csoportba. Ide sorolják továbbá a leszerelésre kerülő atomerőművek egyes szerkezeti elemeit is, pl. az atomreaktorok szerkezeti anyagait.

- **Kis és közepes aktivitású hulladékok:** 2 kW/m^3 -nél kisebb hőteljesítményűek.

- **Hosszú élettartamúak.** A meghatározó radionuklidok felezési ideje 30 évnél hosszabb, a hosszú élettartamú alfasugárzó radionuklidok koncentrációja 400 Bq/g -nél nagyobb.²

- **Rövid élettartamúak.** Felezési idejük 30 évnél rövidebb és a hosszú élettartamú alfasugárzó radionuklidok koncentrációja 400 Bq/g -nél kisebb.

A radioaktív hulladékok elhelyezésének nemzetközi tapasztalatai

A NAÜ ajánlásai szerint a kis és közepes aktivitású hulladékokat a felszínen létesített tárolókban, vagy a felszín alatt kis mélységben (< 200 méter) lehet elhelyezni. Az ellenőrzött tárolási idő a mértékadó radioizotópok (^{137}Cs és ^{90}Sr) felezési idejének (30, ill. 29 év) tízszereséig tart. Mára az atomenergiát előállító legtöbb ország-

ban kis és közepes aktivitású hulladékokat tároló létesítmények működnek, sőt egyesek már meg is teltek és véglegesen lezárták őket. Ezek a tárolók mind biztonságosan működnek és környezetüket nem veszélyeztetik.

A nagy aktivitású hulladékokat nagyobb veszélyességük és nagy hőtermelésük miatt 40–60 éven át az atomerőművek mellett felépített átmeneti tárolókban helyezik el. Ezalatt hőtermelésük és aktivitásuk jelentősen lecsökken. Ezután lehet őket a felszín alatt 300–800 méter mélységben kialakított végleges tárolókban elhelyezni. Számos országban folynak intenzív kutatások a tárolásra alkalmas helyek, földtani képződmények kiválasztására. 1999 őszén az Egyesült Államok New Mexico államában levő Carlsbad közelében átadták a világ első, nagy aktivitású hulladékokat befogadó tárolóját, amelybe jelenleg főként katonai eredetű radioaktív hulladékot szállítanak.

A nagy aktivitású hulladékok tárolóinál legalább 10 000 évig kell a környezettől való elzárást biztosítani, ami a műszaki (hordók, konténerek), bányaműszaki (vágatkitöltő és falazó anyagok) és földtani gátak (befogadó kőzet) együttesével elérhető. Ez a nemzetközileg elfogadott többgátas tárolási alapelve (multibarrier concept). A hulladéktárolóknak e védett időtartam alatt kétféle biztonsági követelménynek kell eleget tenniük:

- **Dóziskorlát:** A védett tárolás teljes időtartama alatt a helyi lakosság egyedeit maximum $0,25 \text{ mSv/év}$ dózisterhelés érheti³. Várható, hogy e határértéket a jövőben $0,1 \text{ mSv/évre}$ fogják csökkenteni. Ehhez azt is tudni kell, hogy hazánk területén a radioaktív háttérsugárzás átlagosan $2,4 \text{ mSv/év}$.

- **Kockázati korlát.** Ez azt jelenti, hogy a védett tárolás teljes időtartama alatt a radioaktív sugárterhelésből származó maradandó egészségkárosodás, ill. elhalálozás nem lehet $10^{-5}/\text{évnél}$ nagyobb, vagyis évente 100 000 főre maximálisan egyetlen ilyen eset következhet be.

E biztonsági feltételek teljesíthetőségét a felszínen, vagy e célra létesített ún. *mélységi labo-*

³ 1 Sv , sievert = $1/\text{kg}$

¹ Radionuklid adott rendszámú és tömegszámú radioaktív atommag, a hozzá tartozó atomi elektronfelhővel. A radioizotópok radionuklidok, melyeknek egyező a rendszámuk, de más a tömegszámuk.

² 1 Bq , becquerel = 1 radioaktív átalakulás/s.

ratóriumokban végzett mérésekkel próbálják meghatározni. A legfontosabb biztonsági tulajdonságok a következők: a befogadó közet vízáteresztő képessége, a talajvíz áramlási rendszerének útvonalai, ezek hossza, a talajvíz Eh- és pH-értéke, valamint a befogadó közet radionuklidokat megkötő képessége. Főleg az agyag-ásványok, a zeolitok és egyes, nagy fajlagos felületű apró ásványszemcsék jó megkötő képességűek. Fontos szempont még a terület stabilitása, a befogadó közet jó állékonysága, ne szeljük át a kiszemelt telephelyet aktív törésvonalak, ne legyenek a térségben aktív vulkánok és ne legyen túl nagy a térség szeizmicitása.

Bár a legfontosabb paramétereket a mély-ségi laboratóriumokban több éven, néhol több évtizeden át mérik, mégis joggal merülhet fel a kérdés: mennyire lehet e mérések eredményeit a jövőbe, több ezer év távolsáig kivetíteni? E kérdésre *természetes földtani analógiák* megtalálásával sikerült megnyugtató választ találni. Az elmúlt évtizedek során a Föld több pontján sikerült a természetes radioaktív sugárforrások olyan felhalmozódásait megtalálni, melyek óriási aktivitáskoncentrációjuk ellenére évmilliók százain át környezetüktől teljesen elszigetelten maradtak, radioaktív sugárzásuk nem károsította a felszíni bioszférát. Kézenfekvő volt a következtetés, hogy meg kell vizsgálni azokat a földtani képződményeket, amelyek e hosszú távú izolációt biztosítani tudták. A nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezéséhez nyilvánvalóan ilyen képződményeket kell megkeresni. Ez a nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezésének tudományos alapja!

Az utóbbi évtizedek során a tárolóhelyek megkutatásának metodikája is kialakult. Ez a következő fázisokra oszlik:

- *Áttekintő felmérés* (regional screening). Az adott ország egész területére kiterjed, főleg a meglévő földtani-geofizikai ismeretekre alapozva, egy egész sor kizáró és kedvező feltétel alkalmazásával. Nem elhanyagolható szempont a minél rövidebb szállítás biztosítása.

- *Telephely-kiválasztás* (site selection). Felszíni földtani és geofizikai mérések, valamint fúrások alapján kiválasztják a legkedvezőbbnek tűnő 2–4 telephelyet és eketel rangsorolják. Az alternatív telephelyek kijelölése a tapasztalatok szerint nélkülözhetetlen.

- *Telephelyjellemzés* (site characterization). Kiválasztják a mély-ségi laboratóriumnak legalkalmasabb térrészt és bányászati eszközökkel kialakítják azt. A laboratóriumban és a felszínen több éven, ha kell évtizedeken át mérik a legfontosabb paramétereket.

- *Biztonsági értékelés* (safety assessment). Célja a jövőben a tárolóból kilépő radionuklidok útvonalának és koncentrációjának meghatározása, a tárolás megkezdésétől egy adott időponthoz (ált. 10 000 év). Ennek alapján megállapítható, hogy túllépheti-e a jövőben a bioszférában a radioaktivitás a megengedett dóziskorlátot. E számításokat már a telephelyjellemzés fázisában megkezdik. Ahogy az ismeretek bővülnek, egyre újabb biztonsági elemzések készülnek. Végül a kutatások befejezésével egy összesítő biztonsági elemzés készül. Ennek alapján dönthetnek az arra felhatalmazott hatóságok a tároló megépítéséről vagy elvetéséről.

Az összes eddigi biztonsági elemzés deteminisztikus vagy sztochasztikus módszerrel készült. Az elmúlt két év során új matematikai módszerek alkalmazásával sikerült olyan, nemzetközileg is új metodikát kialakítani, amely alkalmas a hagyományos módszerek mellett elkerülhetetlen bizonytalanságok számszerűsítésére és csökkentésére (Bárdossy, Fodor 2001).

A nemzetközi gyakorlatban eddig leggyakrabban kiválasztott befogadó közetek a gránit, az agyagközetek, a vulkáni tufa és a kőso rétegek, ill. sódómok.

A Paksi Atomerőműben keletkező radioaktív hulladékok

A Paksi Atomerőműben normális üzemenet mellett évente 400–450 kiégett fűtőelemet cserélnek le. Ezek az 1997-ben üzembe helyezett átmeneti száraz tárolóba kerülnek, amely az atomerőmű mellett épült fel. A tárolónak hét működő modulja van, melyek mindegyike 450 kazettát képes befogadni. 2000-ben megkezdődött további négy modul építése. A létesítményt 50 év időtartamú tárolásra tervezték meg. Az atomerőmű bezárása és leszerelése során további 2000–2200 m³ nagy aktivitású leszerelési anyag elhelyezését kell biztosítani.

Az atomerőműben a szilárd halmazállapotú, fémhordókba tömörített kis és közepes aktivitású hulladéka főként szennyezett alkatrészek-

ből, szűrőkből és egyéni védőfelszerelésekből tevődik össze. Ezek éves mennyisége kb. 120 m³/év. A primerköri víz tisztítása során évente 200–250 m³ radioaktív iszap keletkezik, melyet az erőmű területén tartályokban tárolnak. Az erőmű teljes üzemideje alatt mintegy 20 000 m³ feldolgozott kis és közepes aktivitású hulladék keletkezik. Az erőmű leszerelése során kb. ugyanennyi, további kis és közepes aktivitású hulladék elhelyezéséről kell gondoskodni.

A hazai radioaktív hulladék elhelyezésének helyzete

Magyarországon az 1996-ban elfogadott Atomtörvény értelmében a radioaktív hulladékok elhelyezését, tárolását és a tárolók üzemeltetését a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Társaság (RHK Kht.) intézi.

A nagy aktivitású radioaktív hulladék elhelyezésére 1989-ben a Mecseki Ércbányászati Vállalat (MÉV) tett javaslatot. Az uránércbánya közelében található felső Perm korú Bodai Aleurit Formáció (BAF) megkutatását javasolták, igen kedvező tulajdonságai miatt. A bányából 1050 méter mélységben kutatóváratot hajtottak ki, amely 1994-ben el is érte a formációt. 1996 és 1998 között hároméves telephelyjellemzési program keretében számos földalatti fúrást és sokrétű mérést végeztek a vágatban. Sajnos az uránércbánya 1999-ben történt bezárása a vágat fenntartását nagyon költségessé tette, és ezért a felügyeletet gyakorló miniszter a kutatóvárat bezárását rendelte el. 2000-ben csak felszíni hidrogeológiai és geofizikai mérések folytak a helyszínen. Feldolgozták viszont az eddig előállított nagyszámú adatot korszerű matematikai módszerekkel. Jelenlegi ismereteink szerint a BAF nemcsak hazai viszonylatban, de nemzetközi összehasonlításban is az egyik legkedvezőbbnek tekinthető befogadó kőzet.

Sajnos a 2001–2002 évi költségvetési előirányzatról az Országgyűlés a Környezetvédelmi Bizottság módosító javaslatára a nagy aktivitású hulladékok elhelyezésére előirányzott teljes összeget törölte. Ez a döntés súlyos következményeket von maga után, hiszen a nagy aktivitású hulladék megnyugtató elhelyezése az Európai Unióhoz való csatlakozásunknak egyik előfeltétele. A hulladéktároló kutatása, nemzetközi tapasztalatok szerint, több évtize-

den át tartó folyamatos méréseket igényel, lehetőség szerint mélységi laboratóriumban. A döntés sürgős újragondolására lenne szükség, mert a nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezését nem lehet egyik évről a másikra megoldani.

A kis és közepes aktivitású hulladékok elhelyezése nemzetközi szinten szakmailag megoldott, problémamentes feladat. Sajnos hazai viszonylatban nem ez a helyzet. *Prisöpökszilágyon*, Budapesttől északkeletre, 1976 óta nem atomerőművi eredetű radioaktív hulladékokat befogadó felszíni tároló működik. Az ÁNTSZ Országos Tisztiorvosi Hivatala, a Magyar Geológiai Szolgálat (MGSZ) egyetértésével 2000. december 31-ig adott ki „meghosszabított” működési engedélyt, azzal a kikötéssel, hogy addig a telephelyről átfogó biztonsági elemzés készüljön. Ezt a biztonsági elemzést az ETV-Erőterv Rt. elkészítette, szakértői ellenőrzése most van folyamatban. Jóváhagyás esetén a tároló a nem atomerőművi radioaktív hulladék elhelyezését sok éven át biztosítani tudja, az eddigi 20–30 m³/év beszállítási ütem mellett.

A Paksi Atomerőmű kis és közepes aktivitású hulladékainak elhelyezése mindmáig megoldatlan probléma. A nyolcvanas években Magyaréregy, majd Ófalu térségében folyt kutatások eredménytelenül szakadtak félbe. Ennek okait e tanulmány korlátozott terjedelme miatt nem áll módomban ismertetni. 1992-ben az Országos Atomenergia Bizottság (OAB) kezdeményezésére Nemzeti Projekt indult a kis és közepes aktivitású hulladék elhelyezésének megoldására. Ennek keretében 1993–94-ben a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) irányításával országos felmérés készült a hulladékelhelyezésre alkalmas helyszínekről. Ennek alapján Pakstól nyugatra egy kb. 5000 km² kiterjedésű területet jelölték ki részletesebb felmérésre. Helyszíni kutatásokra csak ott került sor, ahol azzal a helyi önkormányzatok egyetértettek. Két felszíni helyszínt választottak ki *Udvari* és *Diósberény* közelében, valamint egy felszín alatti *Bátaapáti* közigazgatási területén, gránitban. 1997-ben az OAB döntése értelmében Bátaapáti (Üveghuta) térségében folytatódott a kutatások. 1997–1998-ban részletes telephelyjellemzés folyt, fúrásokkal, földtani és geofizikai mérésekkel. 1999-ben a MÁFI összefoglaló

jelentést készített a kutatás eredményeiről. Ennek alapján 2000-ben az ETV-Erőterv Rt. előzetes biztonsági elemzést dolgozott ki, melyben további kutatási feladatok elvégzését javasolták.

1999 tavaszán néhány szakember megkérdőjelezte az eddigi kutatások szakmai színvonalát és következtetéseit. Mivel a szakmai egyeztetések nem vezettek eredményre, az OAH felkérte a NAÜ-t a kutatási eredmények szakmai felülvizsgálatára. A neves nemzetközi szakemberekből álló WATRP Bizottság jelentésében igazolta a kutatások megfelelő szakmai színvonalát és az üveghutai telephelyet potenciálisan alkalmasnak tekintette; egyben a további tennivalókra is javaslatokat tett. E megállapításokat az MGSZ Dél-Dunántúli Területi Hivatala 1999-ben szintén megerősítette. Az RKH Kht. a további munkákra kutatási programot dolgozott ki, amit Szakértői Bizottsága 2000. október 18-i ülésén elfogadott.

Mint az előzőekben említettük, a 2001–2002. évi költségvetés tárgyalásakor a Környezetvédelmi Bizottság módosító javaslatára az Országgyűlés az e kutatásokra előirányzott összeg nagy részét törölte, sőt engedély hiányában az ezévi kutatás el sem indulhatott. A következők még a nagy aktivitású hulladékról elmondottaknál is súlyosabbak, hiszen az atomerőműben folyamatosan keletkező kis és közepes

aktivitású hulladékot valahol biztonságosan el kell helyezni! Erre pedig az atomerőmű területén levő ideiglenes tárolók nem alkalmasak, hiszen az erőmű nem végleges hulladékelhelyezésre épült. Megjegyzem, sehol a világon nincs működő atomerőmű területén végleges hulladéktároló.

Következtetések

- A radioaktív hulladékok végleges tárolókban való elhelyezése nemzetközi szinten tudományosan megalapozott és technikai szempontból is megoldott feladat. Az érintett hely lakosság és az élővilág számára kellő biztonságot nyújt.
- Az 1992-óta sikeresen folyó, nemzetközi szervezetek által ismételt ellenőrzött hazai kutatások 2001-re megtorpantak.
- A fosszilis energiahordozók (kőszén, földgáz, kőolaj) elégetésével nyert energia nemcsak jóval drágább a Paksi Atomerőműben előállítotttnál, de égéstermékeivel folyamatosan szennyezi a légkört és hozzájárul a kedvezőtlen globális klímaváltozásokhoz (Bárdossy 2001).
- A hazai radioaktív hulladékok elhelyezésének sürgős újraindítása nemzetközi ellenőrzés és a lakosság folyamatos és teljeskörű tájékoztatása mellett mind gazdasági, mind környezetvédelmi szempontból kiemelt fontosságú lenne.

IRODALOM:

Bárdossy Gy. 2001. *Globális energiafelhasználás és a klímaváltozások*. Magyar Tudomány 3. sz., 316–319.

Bárdossy Gy. – Fodor J. 2001. *New approaches for the evaluation of uncertainties in safety assessments of radioactive waste disposal*. Acta Geologica Hungarica. Vol. 43. No. 3.

