

Bárdossy György

Megoldható a radioaktív hulladékok elhelyezése

Az atomenergia békés és katonai felhasználása századunk végének egyik kulcskérdése. Biztonságosak-e az atomerőművek? Mit lehet tenni az atomerőművek kiegészítő fűtőelemeivel és a leszerelt atomfegyverek hasadó anyagaival? Hogyan védjük jobban környezetünket, ha elvetjük, vagy ha hasznosítjuk az atomenergiát? E kérdések nemzetközi megvitatására szervezett nemzetközi konferenciát 1999 őszén az Amerikai Energiaügyi Minisztérium, melyen 22 országból közel 300 szakember vett részt. A konferencia jelentőségét érzékelteti, hogy az amerikai energiaügyi miniszter — Bill Richardson — tartott átfogó megnyitó előadást. Részt vett az orosz atomenergiaügyi miniszter és az Orosz Tudományos Akadémia alelnöke is.

Problémák, tapasztalatok, eredmények

A konferencia előre bejelentett célja az atomenergia jövőjét meghatározó kérdések nemzetközi megvitatása volt: a környezet védelme, a biztonság, a radioaktív hulladékok elhelyezése, beleértve az atomfegyverkezés radioaktív hulladékait, a hasadó anyagok elterjedésének megakadályozása, illetve ellenőrzése, valamint az ún. átláthatóság biztosítása. Hallatlanul bonyolult és összetett kérdéskör ez, amelynek megoldása az egész emberiséget közvetlenül érinti.

Az amerikai energiaügyi miniszter beszédének két kiemelkedően fontos megállapítása volt. Az *első* az, hogy a fenti kérdések megoldásával a Földet biztonságosabbá, lakossága életét pedig elfogadhatóbbá lehet tenni. A *második*: eljött az ideje, hogy az atomenergiára vonatkozó döntésekben a szakemberek és a tudósok szava legyen a döntő, nem pedig a politikusoké. A miniszter szavaiból az is kitűnt: az Egyesült Államok elhatározott szándéka,

Rovatunk a Központi Környezetvédelmi Alap támogatását élvezi.

hogy érdemi segítséget nyújtson Oroszországnak az ott felhalmozódott radioaktív hulladékok biztonságos elhelyezéséhez. Ezt az orosz miniszter is megerősítette, kiemelve a nemzetközi együttműködés fontosságát e feladatok megoldásában.

Az atomenergiát a Föld lakossága sajnos a II. világháborút lezáró két atombombán, majd a hidegháború felszíni és földalatti atomrobbantásain keresztül ismerte meg és ez egyértelműen negatív előjellel ivódott be az emberiség tudatába. Az atomenergia békés felhasználása csak ezután indult meg: az első atomerőművet 1954-ben helyezték üzembe a volt Szovjetunióban, Obnyinszkban. E fejlődés pozitív hatását tragikusan lerontotta az 1986-ban bekövetkezett csernobili katasztrófa. Hiába történtek azóta megfelelő nemzetközi lépések újabb balesetek elhárítására, hiába váltak az atomerőművek világszerte biztonságosabbakká, az emberek tudatában megmaradt az atomenergiától való félelem és az elutasítás érzése. Hozzájárult ehhez a ténszerű és tárgyvilágos tájékoztatás hiánya is. Számos esetben a médiumok rájátszottak a félelemkeltésre, hiszen a szenzáció az üzlet közismert része. Az is gondot okoz, hogy az atomenergia felhasználását számos országban máig is titkolózás övezi. A konferencia egyik fő ajánlása ezért az *átláthatóság* (transparency) biztosítása volt.

Mindkét miniszter egybehangzó állítása szerint megindult az atomfegyverek egy részének leszerelése mind az Egyesült Államokban, mind Oroszországban. A fő problémát a leszerelés során létrejövő radioaktív hulladék, ezen belül elsősorban a plutónium gyors és biztonságos elhelyezése jelenti, mert plutóniumból lehet új atombombákat előállítani. E téren van szükség leginkább gyors cselekvésre és nemzetközi összefogásra.

Az 1963-ban megkötött *atomcsend egyezmény* meghatározta az atomfegyverekkel rendelkező országok körét. Az egyezményt aláíró országok, közöttük hazánk is, kötelezettséget vállaltak az egyezmény betartására. Sajnos azóta egyes országok helyi érdekeik érvényesítése érdekében atombombákat fejlesztettek ki, mások pedig az ehhez szükséges plutónium megszerzésére törekszenek. Az atomerőművek kiégett fűtőelemeiből reprocesszállással plutónium nyerhető ki. Kiégett fűtőelemekhez pedig jelenleg az atomerőművek átmeneti tárolóiban, a jövőben pedig földalatti végleges tárolókban lehet hozzáférni. Ezért volt a konferencia egyik kiemelt témája a kiégett fűtőelemek védelme (safeguards). Ide tartozik nemzetközi plutónium-leltár létesítése, továbbá a tárolóhelyek körül megfigyelő rendszer (monitoring system) kiépítése. A konferencia külön szekciója foglalkozott ezekkel a kérdésekkel. A Nemzetközi Atomenergia-ügynökség (NAÜ) szerepkörének kiszélesítésével e téren érdemi előrelépés remélhető. A konferencia konkrét ajánlásokat fogadott el a védelem és a megfigyelés elősegítésére mind az átmeneti, mind a végleges tárolók körül, pl. úrfelvételek, geofizikai mérések stb. Magyar javaslatra a jövőben a geofizikai módszerek alkalmazásának kiemelt fontosságot tulajdonítanak.

A konferencia fő témája volt a radioaktív hulladékok elhelyezése végleges tárolókban. Erre az első tudományosan megalapozott ajánlást 1957-ben az Amerikai Tudományos Akadémia dolgozta ki. Ezen a téren azóta érdemi előrelépés történt. Elsősorban a nagy aktivitású hulladékok (HLW) elhelyezése jelentett gondot *aktivitásuk* és hőfejlesztésük mértéke, továbbá hosszú élettartamuk miatt. Nemzetközi egyetértés alakult ki a tekintetben hogy e hulladékot több száz méter mélyen a föld felszíne alatt kell elhelyezni. Sok-

oldalú földtudományi vizsgálatok ugyanis kimutatták, hogy a Föld több pontján hatalmas uránérc telepek több száz millió éven keresztül környezetüktől teljesen elszigetelve maradtak bizonyos földtani viszonyok között. E kedvező körülmények felismerése és meghatározása nyomán lehetett olyan „telephelyeket” találni, amelyekben a nagy aktivitású hulladékot több ezer éven át biztonságosan el lehet helyezni, amíg veszélyes kisugárzásuk fokozatosan lecsökken. *Ez a radioaktív hulladékok elhelyezésének földtudományi alapja és biztosítéka!* A fejlett ipari országok óriási ráfordításokkal kialakították a nagy aktivitású hulladéktárolók telephely kiválasztásának (site selection) és telephely jellemzésének (site characterization) módszertanát. Ezt követjük mi is. Ez évben megnyílt a világ első nagy aktivitású hulladéktárolója az amerikai Carlsbad (New Mexico) közelében, ahova elsősorban katonai eredetű, transzurán elemeket tartalmazó hulladékokat szállítanak. Nem felelnek meg tehát a valóságnak azok az idehaza többször is felröppentett állítások, hogy a nagy aktivitású hulladék tárolását eddig sehol sem sikerült megoldani. Az Egyesült Államokon kívül több más országban, például Belgiumban, Finnországban, Franciaországban, Japánban, Kanadában és Svédországban is sikeresen haladnak ezirányú kutatások, de a maximális biztonság elérése érdekében előbb ún. *mélylegi laboratóriumokban* (URL) próbálják ki a műszereket és végeznek több éven át méréseket a befogadó közet megismerése érdekében. Sietségre nincs ok, hiszen a kiégett fűtőelemeket előbb 30–50 éven át az atomerőművek területén létesített átmeneti tárolókban helyezik el, amíg aktivitásuk és hőfejlésük egy kívánt szintre csökken. Ilyen átmeneti tároló a paksi atomerőműben is léteült, sőt további kiépítése is előkészület alatt áll.

Fel szokták vetni azt a kérdést, hogy miért nem maradhatnak a kiégett fűtőelemek véglegesen az átmeneti tárolókban? E kérdéssel is foglalkozott a nemzetközi konferencia, és az a vélemény alakult ki, hogy ez nem elfogadható megoldás. Először is az átmeneti tárolók ugyan kellően biztonságosak, de rosszindulatú behatolókkal szemben nem eléggé védettek. Másodsor, az atomerőművek élettartama kb. 40 év. Ezután leszerelik őket és sugárveszélyes anyagaikat is (pl. a reaktorblokkok) a földalatti végleges tárolókban helyezik el. Ekkor szükségszerűen az átmeneti tárolókat is megszüntetik vagy megfelelő őrzésükről külön gondoskodni kell, ami bonyolult és költséges feladat. Azzal is mindenki egyetértett, hogy a nagy aktivitású hulladék legbiztonságosabb elhelyezési módja a földalatti végleges tároló. A „várjunk és meglátjuk” (wait and see) elv alkalmazása azért sem helyes, mert nem lehet a következő generációkra háritani azokat a feladatokat és költségeket, amelyeket a most keletkezett hulladék elhelyezése jelent. Ezt vallja egyébként az Egyesült Államok kormányzata is.

Egy telephely alkalmasságát csupán részismeretek alapján sem elfogadni, sem elvetni nem lehet. Nemzetközi egyetértés alakult ki a tekintetben, hogy egy telephely elfogadásához első lépésben ún. *biztonsági elemzés* (safety assessment) szükséges. Ebben számítások alapján be kell mutatni, hogy a tároló térségében a radioaktív sugárterhelés a jövőben sehol sem éri el a nemzetközileg elfogadott határértéket. A biztonsági elemzések módszertani továbbfejlesztésével a konferencia egyik szekciója foglalkozott és ajánlásokat fogadott el. Véleményem szerint ezen a téren még igen sokat lehet tenni, elsősorban korszerű matematikai eljárások alkalmazásával.

Radioaktív sugárzás a Föld minden pontján észlelhető, feltehetően a földtörténet kezdete óta. Ennek a háttérsugárzásnak a nagysága területenként eltérő a földkéreg felépítésétől és összetételétől függően. Hazánkban ez a háttérsugárzás viszonylag csekély, átlagosan 2,4 mSv/év, ahol 1Sv = 1 J/kg. Őslénytani és biológiai kutatások eredményei szerint az élővilág ekkora háttérsugárzáshoz az évmilliók során alkalmazkodni tudott. Nem igaz tehát az az állítás, hogy az atomenergia alkalmazása miatt radioaktív sugárzás észlelhető a Föld felszínén.

A kis és közepes aktivitású hulladékok elhelyezését a szakemberek megoldottnak tekintik. A nemzetközi konferencia ezért nem is foglalkozott ezzel a kérdéssel. Több országban működnek kis és közepes aktivitású hulladékot befogadó tárolók, részben a felszínen, részben a felszín alatt kis mélységben. Franciaországban a Centre de Manche tárolót, amely 1969-ben lépett üzembe 1994-ben már be is zárták, mert megtelt. Ezek a tárolók mindeddig balesetmentesen, szabályszerűen üzemeltek.

Az atomenergia alkalmazásának jövője

A konferencián e kérdéskörrel is sokat foglalkoztak. Sajnos tényként kell tudomásul vennünk, hogy az atomhatalmak a kölcsönös elrettentés érdekében még sokáig fenn fogják tartani atomarzenáljuk egy részét. A nemzetközi közösség itt csak annyit tehet, hogy minden fórumon szorgalmazza a *katonai* eredetű radioaktív hulladék gyors és biztonságos elhelyezését. Elsősorban a plutónium az, amelynek őrzését és végleges elhelyezését mielőbb világszerte biztosítani kell.

Ami az atomenergia *békés* felhasználását illeti, az ellenzők gyakran azzal érvelnek, hogy kifogyóban van a fűtőelemek készítéséhez szükséges urániumérc. Ez tárgyi tévedés. A szakemberek egybehangzó véleménye szerint legalább 100 évre biztosított a jelenlegi szinten a fűtőelemek készítéséhez szükséges urániumérc. Ezen felül számos reménybeli területet ismerünk, amelyeken további uránérctelepek kimutatására van remény. A fűtőelem-ellátás tehát nem reális akadály (Vajda 1998).

Ennél is fontosabb feladat az atomerőművek és a kísérleti atomreaktorok balesetmentes működésének biztosítása. Nincsen olyan emberi létesítmény, amelynek valamiféle kockázata ne lenne. De a kockázatot az atomerőművek esetében is egy elfogadható határ alá lehet ma már csökkenteni. *A normálisan, előírászerűen működő atomerőművek pedig a környezetüket nem szennyezik.* Így például a paksi atomerőmű folyamatosan mért sugárterhelése a környezetre kevesebb, mint a természetes háttérsugárzás egy ezredrésze! Ezzel szemben a szén, olaj és földgáz bázisú hőerőművek folyamatosan szennyezik a levegőt a fűtőanyag égéstermékeivel. Ehhez járul még a gépkozsik és a repülőgépek által elégetett üzemanyag. Az égéstermékek közül legjelentősebb a szén-dioxid, amelynek mennyisége az alsó légkörben egyre gyorsuló mértékben nő (Major, Faragó, Pálvölgyi 1994). A szén-dioxid pedig közismerten növeli az üvegházhatást. Ma már mértékadó meteorológiai szervezetek is elismerik, hogy az utóbbi évtizedekben globális felmelegedés indult meg. A globális éghajlatváltozásokról és ezek lehetséges hatásairól a Magyar Tudományban több értékes cikk jelent meg (pl. Czelnai 1994 és

1997). A felmelegedés mellett a szélsőséges időjárási események gyakorisága is nő, amit az utóbbi években hazánk területén is érzékelhetünk. Nem véletlen, hogy 1999 novemberében az MTA Földtudományok Osztálya kétnapos tudományos előadótűlést szervezett, Időjárási és éghajlati szélsőségek címmel. Egyszerűen valószínűtlennek látszik, hogy a Földön több száz évmillió alatt felhalmozódott fosszilis energiahordozók néhány száz év alatt történő elégetése nem zavarná meg Földünk klimatikus egyensúlyát (Marx 1997).

A kéntartalmú szenek elégetésének hatására a közismert *savas esők* jöttek létre, ami egyre több erdő kipusztulásához vezet (Mészáros 1994). Kevesen tudnak arról, hogy számos kőszéntelep jelentős mennyiségű urániumot tartalmaz. A szén elégetésekor az uránium kisebb része a levegőbe kerül, nagyobb része pedig a hamuban halmozódik fel. Hazánkban az eddigi felmérések szerint az ajkai kréta korú és egyes dunántúli eocén korú szenek tartalmazzák a legtöbb urániumot. Egyes kőszénmintákban a mecseki urániumérc-telep átlagos U-tartalmának két-háromszorosát találták. Ez pedig már nem elhanyagolható veszélyforrás a térség lakossága számára.

A szél, a napenergia, az árapály valóban a leginkább környezetbarát és egyben megújuló energiaforrás. A vízenergia környezetbarát voltát országunként eltérően ítélik meg mind a vízügyi szakemberek, mind a környezetvédők, gondoljunk csak a Bős—Nagymaros-problémára (Szentgyörgyi 1994). Addig, amíg az emberiség nem tudja energiaigényeit a fenti megújuló és környezetkímélő energiaforrásokkal kielégíteni, a biztonságosan üzemeltetett atomerő-művek jobb megoldást jelentenek, mint a fosszilis energiaforrások fokozatos elégetése. A kísérleti atomreaktorok működtetésére, ipari és gyógyászati célú izotópfelhasználásra pedig a jövőben is szükség lesz.

A konferencia egybehangzó véleménye szerint az atomerőművek túlnyomó többsége ma már biztonságosan üzemel. *Csernobili mértékű katasztrófák megismétlődésére nem látnak esélyt.* Mielőbb meg kell oldani viszont az összes működő atomerőmű azonos biztonsági szintre való emelését. A paksi atomerőmű egyébként a NAÜ véleménye szerint a legbiztonságosabbak közé tartozik. Ami a radioaktív hulladékok végleges elhelyezését illeti, nemzetközi egyetértés alakult ki abban, hogy minden országnak magának kell megfelelő telephelyeket kialakítani saját területén. Azok a hazai kijelentések tehát, hogy felesleges nálunk radioaktív hulladékok elhelyezésével foglalkozni, mert az Európai Unióba való belépésünk után megnyílnak előttünk a nyugat-európai országok hulladéktárolói, minden alapot nélkülöznek.

A nagy aktivitású hulladékokat jelenlegi ismereteink szerint mintegy 10 000 éven át kell a bioszférától elzárni, hogy azt ne veszélyeztethessék. Ez igen hosszú idő. Ezért évek óta intenzív kutatások folynak a fűtőelemek radioizotópjainak gyorsító segítségével történő lebontására. Ezt az eljárást nevezik *transzmutációnak*. Segítségével a hosszú felezési idejű radioizotópok rövid felezési idejűekké alakíthatók át. A módszert technikailag már kialakították, de az eljárás ma még túlságosan drága. Gazdaságos bevezetése esetén a nagy aktivitású hulladéktárolókban néhány száz évre rövidülhetne a tárolási idő. A konferencia szekcióiban meglepően sokat foglalkoztak a transzmutáció technikai és gazdasági kérdéseivel, továbbá a felmerülő biztonsági és védelmi kérdésekkel. Hiszen sikeres alkalmazása esetén már csak biztonsági okokból is célszerű lesz a már lezárt tárolókat megnyitni és az ott tárolt hulladékot is átalakítani és ezáltal

tal tárolási idejüket érdemben lerövidíteni. A transzmutáció tehát a jövő egyik reális lehetőségének ígérkezik.

Véleményem szerint a mérgező összetételű, *toxikus hulladékok* (főként vegyi anyagok) a radioaktívoknál jóval nagyobb veszélyt jelentenek a környezetre. Míg a radioaktív hulladékok keletkezésük pillanatától állandó örizet és nemzetközi felügyelet alatt állnak, addig a toxikusokra jóval kevesebb figyelmet fordítanak. Engedély nélküli, önkényes lerakásuk is gyakori. Pedig a toxikus hulladékok nem bomlanak le az idővel, mint a radioaktívok, hanem elvben beláthatatlan ideig megtarthatják mérgező hatásukat. Erre a körülményre nyomatékkal szeretném a figyelmet felhívni.

A hazai radioaktív hulladékok elhelyezésének helyzete

Hazánkban 1982 óta működik a paksi atomerőmű. 1992 óta Nemzeti Program keretében folyik a kis és közepes aktivitású, valamint a nagy aktivitású hulladékok számára telephely-kiválasztás és -jellemzés. E kutatások addigi eredményeiről a Magyar Tudományban beszámoltam (Bárdossy 1995). Azóta mindkét program sokat haladt előre. A kis és közepes aktivitású hulladékokra megtörtént a telephely kiválasztása (Üveghuta) és lezárult a telephely-jellemzés első fázisa. A kutatásokat szakmailag felügyelő Szakértői Bizottság a fázist lezáró jelentést elfogadta és megállapította, hogy eddig nem merült fel olyan körülmény, amely a telephely alkalmasságát, illetve a továbbkutatás szükségességét kétségbe vonná. A nemzetközi gyakorlatnak megfelelően a telephely alkalmasságát csak biztonsági elemzés eredménye alapján lehet kimondani, vagy elvetni. Egy PHARE program keretében finn és belga szakemberek irányításával egy ilyen biztonsági elemzés jelenleg készül és befejezése még 1999-ben remélhető. Ezen felül a bécsi székhelyű NAÜ felkért szakemberei is vizsgálták az eddig elvégzett kutatások minőségét és szakmai eredményeit és erről a közelmúltban pozitív értelemben nyilatkoztak. Ezen túlmenően állást foglaltak az üveghutai kutatások tervszerű folytatása mellett. Megnyugtatónak tartom, hogy elismert és pártatlan külföldi szakemberek véleménye alapján ítélni tudjuk meg az eddigi kutatások színvonalát és helyességét.

A nagy aktivitású hulladékok elhelyezési programja a Pécestől nyugatra található bodai aleurolit formációra (BAF) koncentrálódott e földtani képződmény nemzetközi összehasonlításban is kiemelkedően kedvező tulajdonságai miatt. 1999 elejére készült el a telephely-jellemzés első fázisát lezáró jelentés, amelyet a Szakértői Bizottság ugyancsak elfogadott. A pécsi uránércbánya bezárása miatt sajnos ugyancsak bezárták azt az 1050 méter mélységben kihajtott kutató vágatot, amelyben a képződmény tulajdonságait eddig vizsgálni lehetett. Most a tároló telephelyének kiválasztására irányuló további kutatások tervét kellene mielőbb elkészíteni. Szükség lesz egy mélységi laboratórium kialakítására és több éven át tartó működtetésére valahol a végleges telephely közelében. Véleményem szerint már ma is kellő számú adattal és ismerettel rendelkezünk egy első, tájékozódó jellegű biztonsági elemzés elkészítéséhez. Kívánatos lenne ezt nemzetközi együttműködés keretében mielőbb elkészíteni.

Összefoglalás

A denveri nemzetközi konferencia megerősítette, hogy az atomenergia békés felhasználásának van jövője. Ennek előfeltétele az atomerőművek balesetmentes működtetése, a radioaktív hulladékok védelme és a hulladék-tárolók biztonságos kialakítása. Mindebben a nemzetközi együttműködésnek kiemelt szerepe van. Magyarországon is a nemzetközi együttműködésre támaszkodva kell eddigi kutatásainkat folytatni. Igen biztatónak tartom, hogy azok az amerikai és más országból érkezett szakemberek, akiknek eddigi eredményeinket a konferencián ismertettem, egyöntetűen pozitív véleményt nyilvánítottak: kutatási koncepciónkat és módszereinket korszerűeknek és helyeseknek tartották és egyetértettek a kutatások folytatását célzó elképzeléseinkkel.

Befejezésül G. A. Olah Nobel-díjas tudós mondatait idézem: „Tetszik, vagy nem, hosszú távon nincs más alternatívánk, mint egyre inkább a tiszta atomenergia-forrásra támaszkodni, ugyanakkor meg kell oldanunk és minden bizonnyal meg is fogjuk oldani a biztonsági problémákat, köztük a radioaktív hulladékok eltávolításának és tárolásának problémáit” (Olah 1999).

IRODALOM:

- Bárdossy Gy.* 1995: A radioaktív hulladék elhelyezésének kérdései Magyarországon. Magyar Tudomány, 8. sz., 935—942.
- Czelnai R.* 1994: A nemlineáris globális feladvány. Magyar Tudomány, 10. sz., 1161—1169.
- Czelnai R.* 1997: Légkör és óceán (Nem ismerjük a Földet). Magyar Tudomány. 10. sz., 1163—1176.
- Major Gy., Faragó T., Pálvölgyi T.* 1994: A levegőkörnyezet nagytérségű változásai: társadalmi reakciók és a fenntartható fejlődés. Magyar Tudomány, 10. sz., 1170—1184.
- Marx Gy.* 1997: Lakható-e a Föld? Magyar Tudomány, 10. sz., 1233—1243.
- Meskó A.* 1997: Energia és nyersanyagok a Földből. Magyar Tudomány, 10. sz., 1188—1201.
- Mészáros E.* 1994: Az anyagáramlás szerepe az éghajlat szabályozásában. Magyar Tudomány, 2. sz., 183—188.
- Olah G.A.* 1999: A szénhidrogének jövője a 21. században. Magyar Tudomány, 12. sz., 1409—1413.
- Szentgyörgyi Zs.* 1994: „...mi is a nagymarosi vízierőmű igaz története?”. Beszélgetés Mosonyi Emil akadémikussal. Magyar Tudomány, 1. sz., 47—61.
- Vajda Gy.* 1998: Energiaforrások. Magyar Tudomány, 6. sz., 645—675.