

Merre tart az Európai Unió a nukleáris hulladékok kezelése területén?

Dr. Ormai Péter, Dr. Hegyháti József

Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.
2040, Budaörs, Puskás T. 11., +36 23 445 995

Az elmúlt évtizedben jelentős műszaki haladás történt az Európai Unióban a kis és közepes aktivitású hulladékok elhelyezése terén. Az igazi kihívás továbbra is a nukleáris fűtőelemciklus lezárása. Néhány országban a geológiai tárolók építésre vonatkozó döntés közelébe jutottak. Az EU legújabb kutatási keretprogramjának fő célkitűzése megvalósítás-célú programok ösztönzése minden eddig még le nem zárt fontos kérdésben. Ennek célja, hogy egy masszív tudományos és műszaki alapot lehessen teremteni a geológiai elhelyezés biztonsága és a technológiák demonstrálhatósága érdekében, ezzel kialakítva egy közös európai álláspontot a fő kérdésekben. A geológiai tárolók kifejlesztése mellett az elemszeparáció és transzmutáció (P&T) a másik fő fejlesztési irány.

Kis és közepes aktivitású hulladékok elhelyezése

Az elmúlt évtizedben jelentős tudományos és műszaki haladás történt az Európai Unióban a rövid életű kis és közepes aktivitású hulladékok biztonságos végleges elhelyezése területén a nemzeti programok keretében végzett munkának köszönhetően. Az ilyen típusú hulladékok elhelyezésére korszerű felszín közeli és felszín alatti tárolók épültek. Európában az atomerőművel rendelkező országok majd mindegyike üzemeltet hulladéktárolót, vagy pedig folyamatban lévő programja van a létesítésre. Kivételt képez Hollandia és Olaszország, ahol a hosszú idejű tárolásra rendezkedtek be [1].

Az utóbbi években több ország vizsgálja a nagyon kis aktivitású hulladékok elhelyezésének kérdését, mely a közeljövőben egyre nagyobb számban leszerelésre kerülő atomerőművek hulladékkezelési stratégiájának fontos eleme lehet. Franciaország és Spanyolország már üzembe is helyezett ilyen hulladéktárolót.

A hosszú életű kis és közepes aktivitású hulladékok végleges elhelyezése még majdnem minden EU tagországban megoldandó feladat.

A nukleáris fűtőelemciklus lezárása

Az igazi kihívás továbbra is a nukleáris fűtőelemciklus lezárása. Jelenleg két jól kiforrott koncepció létezik a fűtőelemciklus lezárására. Az egyik az elhasznált fűtőelemek újrafeldolgozása (reprocesszálása) a hasznosítható anyagok kinyerésének igényével és a radioaktív hulladékok üvegbe ágyazásával, illetve a kiégett fűtőelemek

közvetlen végleges elhelyezése. Míg ez első ipari méretekben már évtizedek óta működik, addig közvetlen végleges elhelyezésre még nem került sor.

Figyelembe véve, hogy nagy aktivitású radioaktív hulladék mély geológiai elhelyezése 2020 előtt egyetlen EU tagállamban sem várható, ezért a következő években is minden felhasználónak a kiégett fűtőelemek vagy az üvegezett nagy aktivitású hulladékok hosszú idejű átmeneti tárolására kell berendezkednie.

Geológiai elhelyezés

Ma már nemzetközi egyetértés van a szakemberek között a tekintetben, hogy a nagy aktivitású és/vagy hosszú élettartamú radioaktív hulladékok biztonságos végleges elhelyezésének legjobb megoldása a stabil, mély geológiai formációban történő elhelyezés. A legnagyobb kihívás, hogy a geológiai elhelyezésbe vetett bizalmat közvetíteni tudják a széles társadalomnak [2] [3].

A tároló fejlesztésben élenjáró országok többsége a mélybeli környezetet a helyszínen vagy a helyszínhez hasonló körülmények között (in-situ) vizsgálja az erre a célra kialakított földalatti kutató bázison, vagy elterjedtebb nevén kutató laboratóriumban (angol rövidítéssel: URL). Mára Európában Németország, Finnország, Franciaország, Spanyolország, Svédország, Belgium és Svájc halmozta fel a legtöbb tapasztalatot a földalatti kutatásokban. Ezek a vizsgálatok minden esetben széleskörű nemzetközi együttműködésben folynak, messzemenően támaszkodva egymás eredményeire és tapasztalataira. Az Európai Unió is támogatja ezt a fajta munkát, kiemelten a belga és a svéd programot. Ez utóbbi indulásától fogva nemzetközi kutató létesítményként funkcionál.

A földalatti kutatólaboratóriumok nem csak műszaki, tudományos szempontból nagyon fontosak. Külön ki kell emelni, hogy ezek a radioaktív hulladékéltelvezéssel összefüggő lakossági kapcsolatépítés meghatározó létesítményei is. A hulladéktároló projektek egyik legérzékenyebb pontja szerte a világon a társadalmi elfogadtatás.

Néhány országban mára már az építésre vonatkozó döntés közelébe jutottak a kiégett fűtőelemek és a nagy aktivitású hulladékok elhelyezésére szolgáló geológiai tárolók projektjei, bár ezidáig ilyen tároló nem üzemel, a legtöbb országban még évekre van a létesítéstől. (ld. 1. táblázat). A felmerülő akadályok ellenére egyetlen országban sem vetették el a geológiai tároló létesítésére vonatkozó döntést, bár sok országban lelassult a telephely-kiválasztási program, néhol pedig újragondolják a kiválasztás folyamatát. Az újonnan csatlakozó országok mindegyike még több évtizedre van a megoldástól.

1. táblázat A nagy aktivitású radioaktív hulladékok tárolóinak tervezett időpontjai az EU néhány országában

Ország	A tároló építésének kezdete	Az üzembe helyezés becsült időpontja
Svédország	2015	2020
Finnország	2015	2020
Franciaország	2015	2025
Belgium	2025	2040–2080
Németország	2025	2030
Csehország	2030–2050	2065
Magyarország	2020–2046	2047

A mély geológiai formációban történő elhelyezés finanszírozása a „szennyező fizet” elv alapján biztosítható. A 2. táblázat a tároló költségeire tartalmaz becsléseket. 1000 t uránt tartalmazó kiégett fűtőelem végleges elhelyezése közelítőleg 0,5-1,0 milliárd euróba kerül [4]. A költségek jelentős szórása abból is adódik, hogy az egyes országok más-más költségelemeket vesznek figyelembe. Például nem mindenki számolja bele a telephelykutatás, a K+F, az engedélyezés vagy az átmeneti tárolás költségeit.

2. táblázat A mély geológiai tárolók becsült költségei

Ország	Kiégett fűtőelem mennyiség [tU]	Költség [milliárd euró]
Finnország	5 500	3
Svédország	9 100	3,5
UK	16 400	15
Spanyolország	6 800	3

Elemszeparáció és transzmutáció

Annak ellenére, hogy a nagy aktivitású hulladékok mélygeológiai formációban történő végleges elhelyezésével szinte minden nukleáris iparral rendelkező ország foglalkozik, sok helyen kutatják azon alternatívák lehetőségét, melyek segítségével csökkenthetők a jövő generációk terhei. Az egyik ígéretesnek tartott lehetőség a hulladékokban található hosszú élettartamú radionuklidok átalakítása oly módon, hogy a maradékok elhelyezését követően csak jóval rövidebb idejű intézményes ellenőrzésre legyen szükség. Az eljárás – az ún. transzmutáció, illetve P&T (Partition & Transmutation) – olyan nukleáris folyamat, amellyel a hosszú élettartamú radioizotópok nagy részét stabil, vagy rövid élettartamú izotóppá lehet alakítani reaktorban, vagy az e célra kialakított részecskegyorsítóban [5].

Mivel a mai technológiákkal a megkívánt szétválasztási hatékonyság nem érhető el, továbbá a szükséges reaktorteknika sem eléggé kiforrott, ezért a transzmutációs programokat tovább kell fejleszteni, mielőtt dönteni lehetne gyakorlati alkalmazásokról. Mai tudásunk szerint azonban nincsen olyan technológia, melynek alkalmazásával teljesen kiválthatók lennének a geológiai tárolók. Ezért a transzmutáció nem is tekinthető önálló koncepciónak, sokkal inkább a reprocesszási változat finomításának. E technológiánál a nagy aktivitású hulladékból leválasztják a transzurán izotópokat (aktinidákat) és a hosszú felezési idejű hasadási termékeket, majd megfelelő atomreaktorban átalakítják azokat rövidebb élettartamú, illetve stabil izotóppokká. A 4. generációs reaktorok fejlesztésénél ezt a feladatot már figyelembe veszik, és olyan reaktortípusok kidolgozását és üzembe állítását is tervezik, amelyeknek egyik fontos feladata – a villamosenergia-termelés mellett – az említett transzmutáció. Ennek révén olyan hulladékot kapunk, amelynek aktivitása kisebb lesz (bár továbbra is nagy aktivitású marad) és megfelelő szintre történő lebomlásához nincs szükség több százezer évre, elegendő lesz esetleg néhány száz év is.

A fűtőelemciklus korszerűsítése és zárása során flexibilis elemszeparációs eljárásokat terveznek kidolgozni, hogy az uránt és a plutóniumot többször is fel lehessen használni. Ehhez a gyorsreaktorok elterjedésére, az aktinida-kémia fejlődésére, a szeparációs technológia fejlesztésére és az ún. minor aktinidákat (Am, Cm, Np) is tartalmazó fűtőelemek gyártási technológiájának kidolgozására van szükség. A mai tudás szerint ipari üzemek 2040 előtt nem állnak üzembe.

A ma reálisnak nevezhető számítások szerint a kiégett fűtőelemek radiotoxicitásának több mint két nagyságrendű -csökkenése P&T alkalmazásával 500–3000 év után érhető el, szemben a nyitott ciklussal, ahol ugyanez az érték 130 000 évre tehető. Ez azt is jelenti, hogy ezt az „új”, kedvezőbb tulajdonságúvá tett hulladékot továbbra is mély geológiai tárolóban kell elkülöníteni a bioszférától.

Európai Unió kutatások a nukleáris hulladékok terén

Egyre hangsúlyosabban fogalmazódik meg az Európai Bizottság Kutatási Igazgatósága részéről az integrált, összehangolt kutatási programokra vonatkozó igény. Fontos kérdés, hogy a radioaktív hulladékokkal foglalkozó szakember gárda hogyan tudná jobban hasznosítani a tudományos és technológiai tudásanyagot a legfontosabb kutatási területeken, illetve az új kutatási hálózatokra (networking) tett kezdeményezések segítségével miként lehetne jobban strukturálni és hatékonyabbá tenni a jövőbeni európai kutatási együttműködést.

Fontos lépések már eddig is történtek a hatékonyabb együttműködés érdekében a korábbi Euratom Keretprogramokban, ahol is a partner szervezetek megosztották tapasztalataikat mind a stratégiai, mind pedig a tudományos kérdésekben. Az olyan szervezeti keretek, mint az Összehangolt Programok (Concerted Actions), vagy a Tematikus Hálózatok (Thematic Network) nagymértékben hozzájárultak ahhoz, hogy az alapvető kérdésekben közös irányvonalak és megközelítések alakuljanak ki. Ily módon megtehető az a műszaki konszenzus, amit a nemzeti programok prioritásainak meghatározásában jelenthet segítséget.

Annak ellenére, hogy ezen összehangolt akciók korábban is segítettek abban, hogy számos problematikus területen sikerüljön közös megközelítést kialakítani, nem feltétlenül biztosították a leghatékonyabb kutatási struktúrát és a tudásanyag legjobb hasznosítását. Az Európai Bizottság úgy véli, hogy a 6. és 7. Keretprogram új szervezeti formái, az ún. az Integrált Projektek (Integrated Project) és a Tudásközpontok (Network of Excellence) valóban szervezettebb és hatékonyabb kutatásokat fognak eredményezni. Ehhez azonban arra is szükség van, hogy a radioaktív hulladékok kezelésében érintett szervezetek – kutatók, programvégrehajtók, hatóságok – között még szorosabb együttműködés valósuljon meg.

A 6. és 7. Keretprogram fő célkitűzése megvalósítás célú kutatás és fejlesztés minden eddig még le nem zárt fontos kérdésben annak érdekében, hogy egy masszív tudományos és műszaki alapot lehessen teremteni a geológiai elhelyezés biztonságára és a technológiák demonstrálhatóságára érdekében, ezzel kialakítva egy közös európai álláspontot a fő kérdésekben.

Jelenleg a vizsgálati irányok a következők:

- A befogadó kőzet in-situ jellemzése generikus és telephelyspecifikus URL-ekben.
- A meghatározó folyamatok (geoszférától a bioszféráig) vizsgálata, a tároló környezetének megértésére.
- Robosztus biztonsági elemzési módszertan kifejlesztése (modellezési eszközök).
- Mérnöki tanulmányok és a tároló megvalósításának demonstrálása.
- A lakossági elfogadást támogató társadalmi kérdések vizsgálata.

Az eddigi kutatásokkal kapcsolatos néhány fontos megállapítás tehető. A nagy aktivitású hulladékok elhelyezésére szolgáló geológiai tárolókkal kapcsolatos K&F tevékenység időigényes, komplex multidiszciplináris terület. A programok lassan és óvatosan valósulnak meg (évtizedek telhetnek el a koncepció kialakításától a megvalósításig). Az Euratom keretprogramok végig jelen voltak ezen összetett folyamat során, és továbbra is komoly folytonosságot jelentenek. Mivel az alap koncepció kiforrott, a további vizsgálatok az optimalást és a bizonytalanságok csökkentését szolgálják.

A további Európai kutatási erőfeszítések elsősorban a nagyobb mértékű integrációt célozzák.

Nemzetközi vagy nemzetek feletti megoldások

Gyakorlatilag minden nemzeti radioaktív hulladékkezelési program deklarálja, hogy nemzeti szintű megoldást kell találni a saját hulladék elhelyezésének problémájára. Ez leginkább a jelenlegi politikai realitások tükröződése, mintsem alapelv. A témában megjelent nemzetközi tanulmányok, valamint a különböző más fórumokon lezajlott viták mind arra a következtetésre jutottak, hogy nincsenek alapvető etikai vagy környezetvédelmi érvek a nemzetközi hulladéktárolási projektekkel szemben. Újabban az aggodalmak forrásai a terror fenyegetettség és proliferáció.

Valóban nyilvánvaló, hogy erős gazdasági és műszaki érvek szólnak az ilyen projektek mellett, különösen olyan nemzetek esetében, amelyek kis atomenergetikai kapacitással rendelkeznek. A költségek, a biztonság és a safeguards szempontjából a nemzetközi együttműködés ideális megoldás lehetne, hiszen így a nukleáris anyagok még megbízhatóbb elzárása mellett a nukleáris technológiák alkalmazását még több ország számára tenné lehetővé. A kérdés társadalmi és politikai érzékenysége miatt a nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezésében élenjáró országok (Svédország, Finnország) különösen visszafogottak a regionális hulladéktárolás kérdésében.

Hazai helyzet

Magyarországon az atomerőművi kis és közepes aktivitású hulladékok végleges elhelyezésének kérdése a jelenleg Bataapátiban épülő tárolóban hosszú távon megoldást jelent.

A kiégett fűtőelemek átmeneti tárolására szolgáló létesítmény 50 évre megoldja a kazetták biztonságos tárolását. Ez idő alatt kell végleges megoldást találni.

1995-ben program indult a nagy aktivitású és hosszú élettartamú hulladékok elhelyezésének megoldására. Középpontjában elsősorban azok a helyszíni vizsgálatok voltak, amelyeket 1996 és 1998 során a Mecsek-hegységben található (akkor még működő) uránbányából megközelíthető bodai agyagkő formáció (BAF) területén, 1100 m mélységben végeztek el. A program három évre korlátozódott a bánya 1998. évi bezárása miatt. 2004-től

folytatódta a BAF megismerését és alkalmas terület kijelölését célzó vizsgálatok és kísérleti munkák. Az újrainduló kutatások elsődleges célja egy földalatti kutatólaboratórium helyszínének kijelölése.

Összefoglalás

A nukleáris energia jövőbeli alkalmazásai alapvetően hatással lesznek a képződő nukleáris maradékanyagok mennyiségére és minőségére.

A következő évtizedekben az atomenergia fenntarthatóságának elérése érdekében megtörténik az atomerőművek negyedik generációjának kifejlesztése. Az atomerőművek ezen új generációja a természeti erőforrások javított felhasználásával és a nagy aktivitású hulladék mennyiségének minimalizálásával döntően befolyásolja majd az atomenergetika fenntartható alkalmazását. A fejlesztésekben nagy szerep jut a gyorsneutron-spektrumú reaktoroknak, amelyek lehetővé teszik a fűtőelemciklus zárását.

A negyedik generációs rendszerek egyrészt minimalizálni fogják a nukleáris maradék anyagok mennyiségét, másrészt pedig jelentősen lecsökkentik a végleges elhelyezés nagyon hosszú felügyeleti időszakát, ezáltal csökkentve a jövő generáció terheit, valamint jelentősen a növelve a lakosság egészségének és a környezet védelmét.

Nemzetközileg elfogadott elv, hogy minden országnak saját magának kell gondoskodnia a területén keletkezett radioaktív hulladékok végleges elhelyezéséről. Ez nem feltétlenül az adott országon belüli elhelyezést jelenti. Az utóbbi időben felélénkült az érdeklődés a nemzetközi megoldás iránt. E nemzetközi hasznosítású tárolókra vonatkozó elképzelések ma még nagyon kezdeti fázisban vannak, s egyáltalán nem biztos, hogy – a befogadó országok lakosságának ellenállása miatt – valósággá válhatnak. Ezért minden, az atomenergiát alkalmazó országnak folytatnia kell a saját területén történő elhelyezésre alkalmas terület keresését, kutatását és a telephely előkészítését.

Irodalomjegyzék

- [1] Ormai, P. Nemzetközi és hazai törekvések a radioaktív hulladékok biztonságos kezelésére és elhelyezésére, *Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Társaság, Budapest, 2003*
- [2] *Geological Disposal of Radioactive Waste Produced by Nuclear Power, From concept to implementation, EUR 21 224, European Communities, 2004*
- [3] *Timing of High-level Waste Disposal, OECD Nuclear Energy Agency, NEA No. 6244, 2008*
- [4] *Euradwaste '08 Conference: Community policy and Research and training activities, Luxemburg, 2008. Oct. 20-23.*
- [5] *Partitioning and transmutation: Towards an easing of nuclear waste management program, EUR 19785, European Commission, 2001*