

tú fény előállítására alkalmas berendezést Magyarországon az MTA SZFKI Lézeralkalmazási Osztályán építettek. Az eszközt fotodetektorok kvantumhatásfokának mérésére használták fel [11]. Jelenleg programozható foton-számú fényforrás fejlesztéséhez alkalmazzák.

Érdeemes megemlíteni, hogy a koherens állapotokkal kapcsolatos eredmények más, harmonikus oszcillátor-ként tárgyalható fizikai rendszerekre is kiterjeszthetők. Nevezetes ilyen rendszert alkotnak a csapdázott ionok, amelyekkel szintén számos nemklasszikus rezgési állapot, így Schrödinger-macska állapot is előállítható.

A bemutatott eredmények legújabb felhasználási területe a kvantuminformatika, amely napjaink kvantummechanikai kutatásának egyik legperspektivikusabb fejezete. E tudományterület tárgya az információátvitel és feldolgozás újszerű, kvantumjelenségeket kihasználó módszereinek kidolgozása. Az alapgondolat a következő: az információ tárolására általában valamilyen fizikai mennyiség értékét használjuk, digitális áramkörökben például egy-egy feszültség szint felel meg az adott bit 0 és 1 logikai értékének. A kvantuminformatikában az információt egy fizikai rendszer állapotában tároljuk. Egy kvantumbit lehet például egy feles spin, állapota pedig a $|0\rangle$ és $|1\rangle$ vektorok tetszőleges szuperpozíciója. Az információfeldolgozás műveleteit a kvantummechanika szabályai határozzák meg.

Ezen az elven számos olyan kommunikációs és számítási feladat elvégezhető, amelyek lehetetlenek hagyományos adatfeldolgozó eszközökkel. Például ma már lehet-

séges olyan titkosított optikai kommunikációs csatorna létrehozása, amelynek feltörhetetlenségét a Heisenberg-féle határozatlansági összefüggés garantálja. A kvantuminformatika egyik fontos fejezete a folytonos változós kvantuminformatika, ahol az információt fénymódusok nemklasszikus állapotaiba kódolják [12]. A koherens állapotok ebben alapvető szerepet játszanak, a szuperpozíciókkal való leírás pedig hasznos technikának bizonyult a kapcsolódó jelenségek leírásában [13, 14].

Irodalom

1. R.J. GLAUBER – Phys. Rev. Letters *10* (1963) 84
2. R.J. GLAUBER – Phys. Rev. *130* (1963) 2529 és *131* (1963) 2766
3. J. JANSZKY, A.V. VINOGRADOV – Phys. Rev. Lett. *64* (1990) 2771
4. P. ADAM, J. JANSZKY, A.V. VINOGRADOV – Opt. Commun. *80* (1990) 155 és Phys. Lett. A *160* (1991) 506
5. P. ADAM, I. FOLDESI, J. JANSZKY – Phys. Rev. A *49* (1994) 1281
6. J. JANSZKY, P. DOMOKOS, S. SZABO, P. ADAM – Phys. Rev. A *51* (1995) 4191
7. P. ADAM, S. SZABO, J. JANSZKY – Phys. Lett. A *215* (1996) 229
8. S. SZABO, P. ADAM, J. JANSZKY, P. DOMOKOS – Phys. Rev. A *53* (1996) 2698
9. P. DOMOKOS, J. JANSZKY, P. ADAM – Phys. Rev. A *50* (1994) 3340
10. A. KARPATI, P. ADAM, J. JANSZKY, M. BERTOLOTTI, C. SIBILIA – J. Opt. B-Quantum Semicl. Opt. *2* (2000) 133
11. A. CZITROVSKY, A. SERGIENKO, P. JANI, A. NAGY – Metrologia *3* (2000) 617
12. Z. KURUCZ, P. ADAM, Z. KIS, J. JANSZKY – Phys. Rev. A *72* (2005) 052315
13. J. JANSZKY, M. KONIORCZYK, A. GÁBRIS – Phys. Rev. A *64* (2001) 034302
14. J.K. ASBOTH, P. ADAM, M. KONIORCZYK, J. JANSZKY – Eur. Phys. J. D *30* (2004) 403

RADIOAKTÍV HULLADÉKOK ELHELYEZÉSE

Ormai Péter

Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht., Budaörs

Életünk szerves részét képezik azok az orvosi, ipari, mezőgazdasági és kutatási tevékenységek, amelyek során radioaktív anyagokat használnak fel, és melyek végül radioaktív hulladék keletkezésével járnak. A nukleáris alapon termelt villamos energia természetes velejárója az elhasznált (kiégett) fűtőelem, és a folyamat során keletkező – különböző aktivitású – radioaktív hulladékok, melyeket kis, közepes és nagy aktivitású kategóriába sorolnak.

A kis aktivitású hulladékok közé azok az anyagok tartoznak, amelyek radioaktivitása csak kis mértékű ($A < 5 \cdot 10^4$ Bq/kg), ezért kezelésük csak minimális sugárvédelmi óvintézkedéseket igényel. A közepes aktivitású hulladékok radioaktív anyag tartalma nagyobb ($5 \cdot 10^4$ Bq/kg $< A < 5 \cdot 10^8$ Bq/kg), ezért kezelésük során fokozottabb elővigyázatossággal kell eljárni. A szükséges sugárvédelem kellő árnyékolással (pl. betonkonténer, betonfal), vagy a munkavégzés idejének korlátozásával megfelelően biztosítható. A nagy aktivitású hulladékok aktivitása ezzel szemben olyan nagy, hogy annak következtében jelentős a hő kibocsátás. Ebbe a kategóriába tartoznak az elhasz-

nált fűtőelemek, illetve az azok feldolgozásából származó, jellemzően üvegbe ágyazott melléktermékek.

Egy 1000 MW_(e)-os atomerőműből évente 35 tonna kiégett fűtőelem kerül ki. Abban az esetben, ha ezt újra feldolgozzák, mindössze 3 m³ nagy aktivitású hulladék marad vissza. A teljes nukleáris fűtőanyagciklus – az uránbányászattól az üzemeltetésen át – évente körülbelül 500 m³ kis és 200 m³ közepes aktivitású radioaktív hulladékot eredményez a fenti teljesítményű atomerőmű esetén. Egy korszerű 1000 MW_(e) teljesítményű széntüzelésű erőmű évente 900 t SO₂-t, 4500 t NO_x-t, 1300 t port és 6,5 millió t CO₂-t bocsát ki, és – a szén minőségétől függően – 1000000 t toxikus nehézfémeket és radioaktív anyagokat tartalmazó hamut hagy hátra. A radioaktív hulladékokban lévő radioizotópok mennyisége jól meghatározott felezési idővel bomlik, így a radioaktivitás, és ezen keresztül az általa képviselt veszély is időben csökken, majd megszűnik.

Jóllehet a nukleáris energia egyedülállóan tiszta energiaforrás, vele kapcsolatosan mégis – leginkább a radioaktív hulladékok végleges elhelyezését firtató – aggodalmak fogalmazódnak meg.

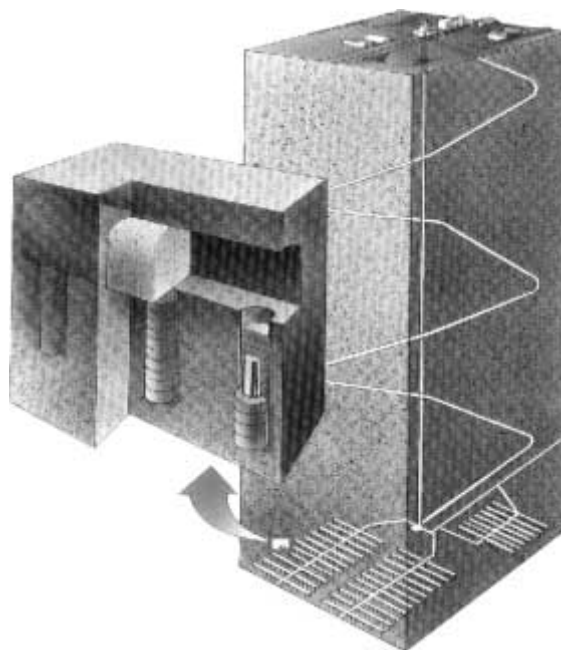
Kis és közepes aktivitású hulladék elhelyezése

Majd fél évszázaddal ezelőtt merült fel az a koncepció, hogy a radioaktív hulladékokat földfelszín közeli vagy felszín alatti tárolókba helyezve szigeteljék el az emberi környezettől. Az ötvenes években a hulladékok védelem nélküli, földmedrű lerakása volt a jellemző, amelynek során a természetes környezetet úgy igyekeztek megválasztani, hogy a hulladékok aktivitástartalmának gyors hígulását vagy hosszabb idejű „helyben maradását” biztosítsák. A sugárvédelemben és a tudatos környezetvédelemben a hatvanas években bekövetkezett fejlődés az addigi gyakorlatot nem igazolta. A megfelelő mértékű izoláció iránti igény kielégítésére született meg az a koncepció, hogy az izolációt három tényező együttes hatásának – a hulladékformának és csomagolásnak, a kialakított műszaki védelmeknek és a geológiai befogadónak – kell szavatolnia. A nyolcvanas évek elejére kidolgozott koncepciók már figyelembe vették a *hulladékok élettartamát* is, és meghatározták a rövid, illetve hosszú élettartamú hulladékok kategóriáját, amelyek között a 30 éves felezési idejű izotópok domináns jelenléte lett a választóvonal. A jelenleg elfogadott biztonsági filozófia alapján felszíni vagy felszín közeli elhelyezésre csak azok a rövid felezési idejű hulladékok alkalmasak, amelyekben a hosszú felezési idejű izotópok koncentrációja nem haladja meg a 400–4000 kBq/kg értéket. Minden egyéb hulladékfajtának geológiai elhelyezésre kell kerülnie.

Ugyancsak a nyolcvanas években vált általánossá – a hulladéktárolók engedélyezésekor – a lakossági meghallgatás intézménye, elsősorban a félelmek tisztázására. Erre az időszakra tehető a biztonsági és sugárvédelmi kérdések kockázati alapú megközelítése, mely egyrészt módszertani fejlesztési igényeket támasztott, másrészt kockázati kritériumok alkalmazását tette szükségessé, harmadrészt a kapcsolódó tevékenységek (telephely-kiválasztás, intézményes ellenőrzés) tartalmát és jellegét változtatta meg. Egyre hangsúlyosabban fogalmazódtak meg a hulladékelhelyezés alapelvei, az emberi egészség és a környezet védelme, illetve a jövő nemzedék iránti felelősség.

A radioaktív hulladékok elhelyezésével kapcsolatos viták súlypontja a műszaki tudományok területéről fokozatosan a társadalmi-politikai területre tevődött át. Szakmai körökben teljesnek mondható az egyetértés, hogy a kis és közepes aktivitású hulladékok biztonságos elhelyezése műszaki és tudományos szempontból a tökéletesen megoldható problémák közé tartozik – még akkor is, ha azt a lakosság nem mindig fogadja el. Ma már a világban nemcsak üzemelő tárolók léteznek – több mint 100 –, hanem, megteltüket követően, bezárt telephelyek is. A hulladékelhelyezéssel kapcsolatos – elsősorban politikai és társadalmi indíttatású – viták a fejlett országokban nem a kis és közepes aktivitású hulladékok, hanem a nagy aktivitású és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok nagyon távoli jövőre prognosztizált viselkedésének megítélése körül folynak.

A felszín alatti, azaz geológiai tárolók esetében különösen fontos a telephely körültekintő kiválasztása, mivel



1. ábra. A svéd (Forsmark) hulladéktároló elrendezési vázlata

ennek jellemzői rendkívüli mértékben befolyásolják a tároló hosszú távú biztonságát. Az elmúlt évtizedben jelentős előrelépés történt a *biztonsági értékelés technikájának* javításában, a telephelyek jellemzésének módszertanában, valamint a tervezés és a biztonsági értékelés integrálása területén. A koncepcionális és a műszaki kérdéseken túl egyre nagyobb hangsúlyt kap a bizalomépítés és társadalmi párbeszéd. Mivel a tároló tervezése, műszaki fejlesztése, az ezzel járó kutatás, a telephely kiválasztása, az építés és végül az engedélyezés hosszú évekig is elhúzódhat, nagyon lényeges a *fokozatos megközelítés*.

A kis és közepes aktivitású hulladékok tárolási telephelyének kiválasztására nincs egyedüli, kizárólagos stratégia. Több országban kiindulásként nagyszámú potenciális területet azonosítottak, majd a szóba jöhető telephelyek listáját további területminősítési szempontok és egyéb megfontolások alapján fokozatosan szűkítették. Máshol „önként jelentkező” önkormányzatokat kerestek a potenciális telephelyek lehetséges listájának összeállításához.

A jelenleg működő felszíni hulladéktárolók közül a francia (L'Aube), a spanyol (El Cabril) és a japán (Rokkasho) tekinthető a legkorszerűbbnek, míg a felszín alattiak közül a gránitban létesített két finn (Loviisa és Olkiluoto) és a svéd (Forsmark) tároló. Az utóbbit kristályos metamorf kőzetben, 60 m mélységben a Balti-tenger alatt építették meg (1. ábra). Ezt a létesítményt 1988-ban hozták létre. Itt helyezik el az atomerőművek üzemeltetéséből származó összes rövid élettartamú, kis és közepes aktivitású, illetve az orvosi, az ipari és a kutatási alkalmazásokból eredő radioaktív hulladékot. A számítások szerint 500 év múlva a hulladék megmaradó aktivitása a befogadó kőzet természetes háttérsugárzása szintjére csökken. A tárolóban négy kamrát és egy silót alakítottak ki a különböző típusú hulladékok elhelyezésére. A tárolótérhez a külszínről két alagút vezet. A közepes aktivitású hulladékokat – elsősorban a reaktor vizének tisztítására

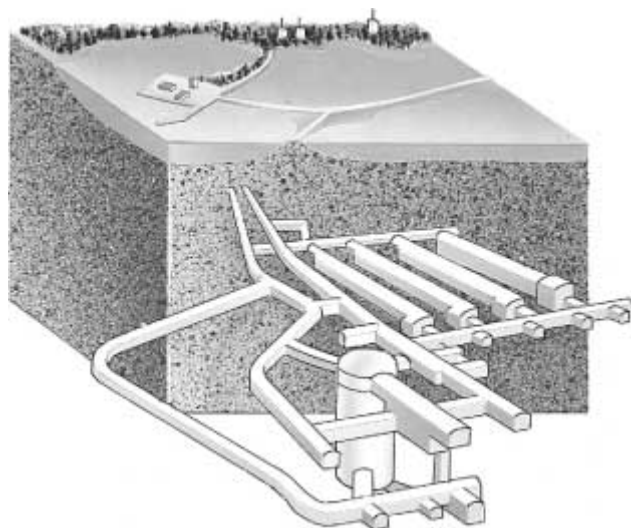
használt és a tárolóba történő szállítást megelőzően megszilárdított szűrőgyantákat – 25 m átmérőjű és 50 m magas betonszilóban helyezik el, melyet egy hengeres sziklakamrában alakítottak ki. A siló és a kőzet közti teret bentonitos agyaggal töltötték ki, amely szigetelőként funkcionál a vízáramlással szemben. A silón belül a hulladékot függőleges aknában helyezik el, melyeket utólag betonnal töltenek ki. A kisebb védelmet igénylő alacsonyabb aktivitású hulladékokat 160 m hosszú sziklakamrákban helyezik el. A tároló jelenlegi kapacitása 60 000 m³. További 30 000 m³ kapacitást alakítanak ki majd a második fázisban, a harmadik szakaszban pedig a leszerelési hulladék elhelyezéséhez szükséges további 100 000 m³ tárolóteret építik ki.

Több ország tervezi – Franciaország pedig már meg is valósította – hogy a *nagyon kis aktivitású* hulladékokat külön tárolóban helyezi el. A közeljövőben egyre nagyobb számban leszerelésre kerülő atomerőművek hulladékkezelési stratégiájának fontos eleme lehet ez a megoldás. Ezen hulladékok aktivitástartalma ugyan magasabb, mint a „közönséges hulladék”-ká nyilvánítás határértéke, az úgynevezett felszabadítási szint, ám ezek nem igényelnek olyan robusztus mérnöki megoldásokat, mint általában a kis és közepes aktivitású hulladékok elhelyezése. Mivel az atomerőművek leszereléséből igen nagy mennyiségben keletkezik ilyen nagyon kis aktivitású hulladék, jelentős költségmegtakarítás érhető el ezek szeparált elhelyezésével.

Nagy aktivitású, hosszú életű hulladékok

A nukleáris energiatermelésből eddig keletkezett kiégett fűtőelemek mennyisége körülbelül 250 000 t nehézfém. Az előrejelzések szerint 2010-re ez az érték eléri a 300 000 t-t, ebből több, mint 2000 t lesz a plutónium. A jelenleg tárolt kiégett fűtőelemek mennyisége körülbelül 20-szorosra a ma rendelkezésre álló újrafeldolgozási kapacitásnak. Figyelembe véve, hogy nagy aktivitású radioaktív hulladék végleges elhelyezése 2010 előtt egyetlen ország-

2. ábra. A nagy aktivitású hulladék mélygeológiai elhelyezésének svéd koncepciója



ban sem várható, a következő években minden felhasználónak a hosszú idejű átmeneti tárolásra kell berendezkednie.

A kiégett nukleáris fűtőelemek teljes körű kezelésének jelenleg négy stratégiája létezik. A *nyílt üzemanyagciklus* során a kiégett fűtőelemeket feldolgozás nélkül (de megfelelően előkészítve) véglegesen elhelyezik egy erre a célra kialakított mélygeológiai tárolóban. A *zárt üzemanyagciklus* stratégiája szerint a kiégett nukleáris üzemanyag hasadóképes komponenseit (az uránt és a plutóniumot), nyersanyagként újra felhasználják fűtőanyag gyártásához. Ehhez az elhasznált fűtőelemeket kémiai fel kell dolgozni, idegen szóval reprocessálni kell. Ez után is maradnak vissza nagy aktivitású, hosszú élettartamú hulladékok, ezeket üvegbe ágyazzák, majd pedig véglegesen elhelyezik geológiai tárolóban. A *továbbfejlesztett zárt üzemanyagciklus* néven ismert stratégia szerint a kiégett fűtőanyagot újra feldolgozzák, és a keletkező termékeket szétválasztási és átalakítási (transzmutációs) eljárásnak vetik alá, melynek során a nagyon hosszú élettartamú komponenseket (a transzurán elemeket) rövidebb életűvé alakítják át. Ezáltal a hulladékok izolálásához szükséges idő jelentősen csökkenthető. A transzmutáció megvalósításához azonban olyan drága nagyberendezések (pl. protongyorsító) kellene, amelyeket csak a legfejlettebb országok tudnak megépíteni. A fejlesztés hosszú évtizedekig is eltarthat, és még sikeres megvalósítás esetén is szükség lesz a maradék anyagok végleges elhelyezését lehetővé tevő mélygeológiai tárolókra. A negyedik lehetséges cselekvési irány, a *késleltetés stratégiája* szerint a kiégett fűtőelemeket átmeneti tárolóban helyezik el, ahol a tárolás, elméletileg, meghatározatlan ideig fenntartható megfelelő ellenőrzéssel és karbantartással, de ez az elképzelés semmiképpen nem tekinthető végleges megoldásnak.

Az elmúlt évtizedekben a szakemberek számos lehetőséget tanulmányoztak a nagy aktivitású hulladékok bioszféra-tól történő hosszú idejű tartós elszigetelésére. A tengerbe süllyesztés, a mélytengeri óceáni talapzatban való elhelyezés, vagy a kontinentális jégsapka alá való hulladéklerakás egyrészt nemzetközi egyezményeket sértene, másrészt nagyon kockázatos, mivel a hulladékok az elhelyezést követően ellenőrizhetetlenül válnak. Az ürbe való kilövés rendkívül drága, és fennáll a visszahullás lehetősége. Mára már széles körű nemzetközi egyetértés alakult ki a hosszú élettartamú radioaktív hulladékok stabil mélygeológiai formációkban való elhelyezésének műszaki előnyeiről. A természetes és műszaki gátak biztosította rendszer révén ez a stratégia megteremti annak lehetőségét, hogy a hulladékokat rendkívül hosszú időre elzárják a bioszféra-tól, illetve, hogy a radioaktív izotópok csak elhanyagolható koncentrációban jelenhessenek meg az emberi környezetben. Ezzel a megoldással a véletlen emberi behatolásból származó kockázat is minimálisra tehető. Ez a végleges elhelyezési megoldás lényegében egy passzív védelem, mely nem igényel további beavatkozást vagy intézményes ellenőrzést. Ez az opció meghagyja a jövő nemzedékeknek azt a lehetőséget, hogy, ha akarják, visszatermeljék a hulladékot. A 2. ábra a mélygeológiai elhelyezés svéd koncepcióját mutatja.

A kiégett fűtőelemek maradék-radioaktivitása – annak biológiai hatása (radiotoxicitása) – a reaktorból való kikapást követően jelentősen csökken, ám közvetlenül végleges geológiai tárolóba helyezésük esetén még nagyon hosszú ideig kell biztosítani a bioszférától való hatékony izolációt. Jó néhány geológiai képződmény több tízmillió éve meglévő stabilitását ismerve a hosszú idejű geológiai elzárás reális célkitűzés. A geológiai elhelyezéshez szükséges tudományos ismeretekben és a technológiában jelentős előrehaladás történt. A tároló létesítési és üzemeltetési technológiája kellően kiforrott ahhoz, hogy a gyakorlatban bevezethető legyen, amint a társadalmi és politikai feltételek ezt lehetővé teszik.

Hulladéktároló mélygeológiai formációba történő telepítésének első lépése a potenciális befogadó átfogó vizsgálata. Ennek leghatékonyabb módszere a mélybeli kőzetkörnyezet helyszíni (in-situ) vizsgálata föld alatti kutatólaboratóriumokban. Ezeket a kutatásokat egyre inkább nemzetközi összefogásban végzik. A kutatólaboratórium rendeltetése a földtani környezet és azon belül a befogadó kőzet részletes megismerése, a földtani és műszaki gátrendszer kölcsönhatásainak vizsgálata, a végleges elhelyezés műszaki megoldásainak optimalizálása és mindezek bemutatása a nyilvánosság számára. Néhány országban (USA, Svédország, Finnország) a mélygeológiai tárolóépítésre vonatkozó döntés közelébe jutottak, ám a legtöbb ország még évtizedekre van a létesítéstől.

Általános vélemény szerint a legnagyobb kihívás a szakemberek számára az, hogy a geológiai elhelyezésbe vetett bizalmat közvetíteni tudják a széles társadalomnak.

A magyarországi helyzet

A Paksi Atomerőműben évente mintegy 400 darab kiégett fűtőelem-kazetta képződik, ami 46,5 tonna nehézfémnek felel meg. A műszaki tervek kidolgozásakor elfogadott koncepció szerint a kiégett üzemanyag-kazettákat, az erőmű pihentető medencéjében eltöltött 3 éves hűtési időtartam után, a Szovjetunió – reprocessálásra – visszavette azzal, hogy az összes feldolgozási végtermék ott maradt. 1989 és 1998 között 2331 db kiégett kazettát szállítottak vissza a volt Szovjetunióba.

Jelenleg a pihentető medencékből eltávolított fűtőanyagkötegeket vasúton átszállítják az atomerőmű közvetlen szomszédságában lévő „Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolójá”-ba (KKÁT). A tároló földfelszíni épület, amelyben a fűtőanyag-kazettákat egyenként, függőleges helyzetű, vastag falú, hermetikusan zárt acélcsövekben helyezik el, ez utóbbiakat azután nitrogéngázzal töltik fel (3. ábra). A csövek betonfalakkal körülvett kamrákban állnak. A kiégett kazetták maradék hőtermelése miatt szükséges hűtést a tárolócsövek közötti természetes légáramlás biztosítja. Az elhasznált fűtőanyagkötegek ebben a létesítményben 50 évig tárolhatók. A KKÁT modulrendszerű, szükség szerint bővíthető. Minden egyes kamramodulja 450 kiégett fűtőanyagköteg befogadására alkalmas. 2006 elején a tárolt mennyiség 3767 darab volt. A KKÁT, bővíthetőségének köszönhetően, az erőmű élet-



3. ábra. Kiégett fűtőelemek átmeneti tárolója Pakson

tartama alatt keletkező valamennyi kiégett üzemanyagköteg befogadására képes lesz.

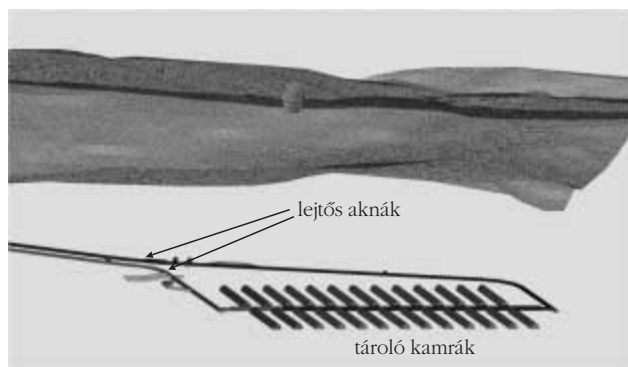
1994-ben kezdődtek kutatások a mecseki uránbánya vágataiból kiindulva a bodai aleurolitnak nevezett agyagkő-formációban (BAF) annak megállapítására, hogy alkalmas-e ez a kőzet a nagy aktivitású és hosszú élettartamú hulladékok elhelyezésére. Az 1998-ban lezárult program biztató eredményei alapján a további kutatások céljából egy mélységi laboratórium létrehozására született javaslat, ez azonban az uránbánya bezárásáról hozott kormánydöntés miatt nem valósult meg.

2004-ben a nagy aktivitású és hosszú élettartamú hulladékok végleges elhelyezésére szolgáló létesítmény telephelyének behatárolását célzó kutatások immár jóváhagyott terv alapján, ugyan források szűkében visszafogottan, de megkezdődtek. A kutatási terv szerint a Nyugat-Mecsekben található agyagkőben elsőként ki kell jelölni, majd meg kell valósítani azt a mélygeológiai kutatólaboratóriumot, amelynek bázisán megkezdődhetnek a tároló létrehozását megelőzően szükséges, több évet igénylő kutatások. A tároló megvalósításának céldátuma 2047.

A püspökszilágyi telephelyen 1976-ban kezdte meg működését a Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló (RHFT) a gyógyászatból, kutatásból, oktatásból és ipari alkalmazásokból származó radioaktív hulladékok elhelyezésére. Az atomerőművi szilárd, kis aktivitású radioaktív hulladékok egy részének elhelyezésére 1990–91-

4. ábra. Az intézményi radioaktív hulladékok végleges tárolója Püspökszilágyban



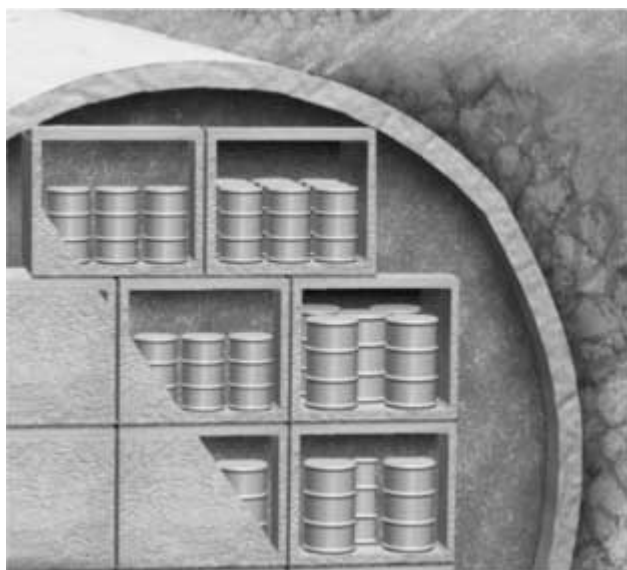


5. ábra. A Bataapátiba tervezett kis és közepes aktivitású hulladéktároló elvi elrendezése

ben a tároló kapacitását 3500 m³-ről 5000 m³-re bővítették. 1998 végén az RHFT szabad tárolási kapacitása 170 m³-re szűkült, de ez a következő években még biztosítja a nem atomerőművi eredetű évi mintegy 10–20 m³ radioaktív hulladék elhelyezését (4. ábra). Jelenleg a telephely fejlesztése folyik azzal a céllal, hogy a tároló még évtizedekig képes legyen feladatát ellátni.

Az atomerőmű üzemeltetése következtében a tervezett 30 éves üzemidő végéig körülbelül 13000 m³ kis és közepes aktivitású hulladék keletkezik. Ehhez adódik a leszerelési hulladék 17000 m³ mennyisége, ezért összességében 30000 m³ bruttó tárolótér kialakítására kell felkészülni. Magyarországon 1993 óta folyik az atomerőműből származó kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésére szolgáló tároló telephelyének kutatása. Először egész Magyarország területét, második lépésként egyes kiválasztott területeket vontak a szakirodalmi, adattári vizsgálatok körébe. Csak mintegy tucatnyi geológiai objektum kapta meg a szükséges társadalmi támogatást a több száz lehetséges célterületből. Négy perspektivikus területet vizsgáltak meg terepi kutatással. A vizsgálatok alapján a Bataapáti közeli gránit bizonyult a legalkalmasabbnak. Az Országgyűlés 2005 novemberében elfogadta a tároló létesítését előkészítő tevékenység megkezdésé-

6. ábra. A Bataapáti-i tároló belső terének elrendezése



hez szükséges előzetes, elvi hozzájárulásról szóló határozatot azt követően, hogy Bataapáti lakosai, 90%-os támogatási arányban, beleegyeztek abba, hogy lakóhelyük közelében tároló épüljön.

A végső kutatási fázis gerincét két párhuzamos lejtakna kialakítása, és az innen lefolytatott vizsgálatok jelentik (5. és 6. ábra). A tárolóra vonatkozó előzetes környezeti hatástanulmány nemrégiben elkészült, így a tároló engedélyeztetésének első lépése megtehető. Amennyiben a szükséges erőforrások rendelkezésre állnak, akkor a tároló legkorábban 2008 végén fogadni tudja az első szállítmányt a paksi atomerőműből.

Záró gondolatok

A radioaktív hulladékok végső elhelyezése jelenleg létező probléma, és valószínűleg a jövőben is az marad, amíg csak az emberi civilizáció létezik még akkor is, ha a technológiai fejlődés átvezeti az emberiséget a fúziós korszakba. Annak ellenére jelentős a félelem és az ellenérzés a témával kapcsolatban, hogy nem ez az a kérdés, amely miatt az emberiségnek hosszú távon leginkább aggódnia kellene. A radioaktív hulladékok végleges elhelyezése nem olyan feladat, amelyet egyszer s mindenkorra meg lehet oldani, hanem inkább egy hosszú problémásor megoldásának kezdete, amely átnyúlik legalábbis a következő évszázadokba. A feladat természeténél fogva nem oldható meg egyszerre úgy, hogy többé ne merüljön fel.

Nem képzelhető el az atomenergia, a nukleáris medicina és a nukleáris ipar más ágazatai által nyújtott előnyök igénybevétele anélkül, hogy ne oldanánk meg a hulladékok végleges elhelyezésének kérdését. Azt is tudomásul kell venni, hogy mára már jelentős mennyiségű nukleáris hulladék halmozódott fel a világban. A jelenleg meglévő, illetve a rövid és középtávon keletkező hulladékmennyiség a korábban meghozott döntések következménye. Ma már túl késő úgy határozni, hogy kevesebb, vagy akár semennyi hulladékunk ne legyen. Következésképpen előbb-utóbb gondoskodni kell a radioaktív hulladékok biztonságos tárolásáról és elhelyezéséről.

Általánosan elfogadott nézet, hogy a hosszú távú hulladékkezelésnek *etikai, társadalmi és politikai* dimenziói vannak. A hosszú távú kezelési stratégiák elfogadását, így a geológiai tárolót is, csak társadalmi és kormányzati szinten lehet elérni, az érdekelt szervezetekkel való konzultációk után, a közvélemény tekintetbe vételével. A geológiai tárolók létesítéséig elvezető hosszú, lépésenkénti folyamat időt és alkalmat hagy a társadalmi támogatás bázisának szélesítésére, és az egyéb alternatívák kiértékelésére.

Nemzetközi szinten egyre inkább tudatossá válnak a hulladékkezelés szélesebb összefüggései. A nemzetközi testületekben és azokon kívül zajló viták nyilvánvalóvá tették, hogy figyelmet kell szentelni olyan kérdéseknek is, mint a *fenntarthatóság*, amely az energiatermelés és -felhasználás, valamint a hulladékkezelés és -kezelés komplex vizsgálatát teszi szükségessé.