

MELYIK KERT VÉGÉBE?

Radioaktív hulladékok és környezetünk

2. kiadás



Kiadja: Energia Klub Környezetvédelmi Egyesület 2000 példányban

1462 Budapest, Pf. 735

www.energiaklub.hu level@energiaklub.hu

A kiadvány elkészítésében gondos munkájukért illeti köszönet Koritár Zsuzsannát, Sipos Zoltánt,
és mindazokat, akik az első kiadás létrejöttében segítettek.

ISBN 963 218 104 2

Kiadványterv: Fejér Hadúr Péter

A kiadvány az Ökotárs Alapítvány támogatásával készült

Budapest, 2005

TARTALOM

1. BEVEZETŐ	5
2. MIRŐL IS VAN SZÓ?	7
A sugárzás és hatásai	7
3. A RADIOAKTÍV HULLADÉKOK FAJTÁI	9
4. HOL KELETKEZNEK?	11
Bányászat	12
Sárga pogácsa	15
Konverzió, dúsítás, fűtőelem gyártás	16
Az atomerőmű működése	17
Reprocessálás	18
Az atomerőművek leszerelése	18
5. KEZELÉSI LEHETŐSÉGEK ÉS PROBLÉMÁIK	19
Ideiglenes tárolás	20
Kis és közepes aktivitású hulladékok végleges elhelyezése	20
Nagy aktivitású hulladékok	21
Képtelen elképzelések	25
Kezelési technológiák	26
6. FINANSZÍROZÁS	28
Központi Nukleáris Pénzügyi Alap (KNPA)	28
7. A RADIOAKTÍV HULLADÉK ELHELYEZÉS ETIKAI KÉRDÉSEI ÉS TÁRSADALMI MEGÍTÉLÉSE	31
8. RADIOAKTÍV HULLADÉKOK VILÁGSZERTE	35
9. MI A HELYZET A MAGYARORSZÁGI HULLADÉKKAL?	38
Kis és közepes radioaktivitású hulladékok	38
Az első hulladéktároló: Püspökszilágy	38
Egy új tároló tervei – Bataapáti	39
Nagy aktivitású radioaktív hulladékok és kiegészítő fűtőelemek	41
10. MIT HOZ A JÖVŐ?	43
A SZÖVEGBEN SZEREPLŐ FOGALMAK	44
FORRÁSOK	46

I. BEVEZETŐ

Lehullott falevelek, friss zöldegek fel nem használt részei, lenyírt fű: összegyűjtjük őket, a zöld hulladékokat, és elvisszük a kert végébe. De a többi hulladékkal mi lesz? A kommunális, ipari, veszélyes és különösen a radioaktív hulladék melyik kert végébe kerüljön?

Ez a kiadvány egy immár ötven éve aktuális és megoldatlan problémát feszeget. Az atomenergiát ugyanis az emberiség annak idején úgy engedte útjára, hogy az annak során keletkező nagy mennyiségű radioaktivitás felett szemet hunyt, mondván: a hulladék kezelésére majd csak kitalálunk valamit. Ám megnyugtató megoldást találni azóta sem sikerült! Úgy tűnik, az eddig megtermelt szeméttel már együtt kell élnünk. A további problémáktól és költségektől pedig csak úgy kímélhetjük meg magunkat és a következő generációkat, ha nem alkalmazzuk e más tekintetben is veszélyes technológiát.

A hulladék-kérdés máig az egyik legfontosabb és legkérdésesebb tényezője a nukleáris energia termelésnek. Nemcsak az erőműből kikerülő nagy aktivitású kiegészítő fűtőelemek jelentenek gondot – bár kétségkívül ezek a legveszélyesebbek -, hanem a nukleáris üzemanyag-lánc során (a bányászattól a feldolgozáson át az újrafeldolgozásig) keletkező összes hulladék is problémát okoz. A nagy aktivitású hulladékok végleges biztonságos tárolása még sehol a világon nem történt meg, de sok országban az egyéb, kis és közepes aktivitású hulladékok tárolása is megoldatlan maradt. Ennek okai egyrészt a megfelelő tároló helyszín kiválasztásának nehézségeiben (mind földtani, mind társadalmi szempontból), másrészt a finanszírozás hatalmasra rúgó összegében keresendők.

Az atomenergia pártolóiak egyik érve az, hogy amíg a szén-erőművek üzemelése során óriási salakhegyek keletkeznek, addig az atomerőművek csak gyűszűnyi hulladékot hagynak hátra. Ez az érv

egyáltalán nem igaz: Egyrészt e gyűszűnyi hulladék keletkezéséig majd' akkora radioaktív hegyek keletkeznek, mint amiket a szén-erőművek szomszédságában láthatunk, csak ezek nem az atomerőművek, hanem az uránbányák és az üzemanyag előállító gyárak mellett találhatóak. Másrészt, a nukleáris energia ma már nem a szén-erőművekkel versenyez, hanem olyan, sokkal tisztább és modernebb villamos energia termelési módokat alkalmaz, amelyeknek nincs, vagy csak elenyésző a hulladék kibocsátása. Harmadrészt, amennyire kevés a keletkező nagy aktivitású hulladék, annyira nagy veszélyt hordoz magában. A sugárzás ugyanis - többek között - éppen azért veszélyes, mert nem vagyunk képesek érzékelni: nem látjuk, nem halljuk, nincs szaga sem. A radioaktivitás számunkra teljesen észrevétlenül megnövekedhet környezetünkben, és eközben semmilyen ember által észlelhető jel nem mutat jelenlétére.

Jelen kiadványunk mindezen problémákat bővebben tárgyalja, célja, hogy rávilágítsunk a radioaktív hulladék problémájának sokrétűségére, a hulladék termelés és kezelés veszélyeire, illetve ötven éven keresztül megoldatlanságára. Ez a kis füzet egy korábbi kiadás átdolgozása, több információval, frissebb adatokkal, aktuális hírekkel bővítve. Ajánljuk mindazoknak (mint ahogyan eddigi kiadványainkat is), akik szeretnének megismerkedni a témával, akár foglalkozásuk miatt (például tanárok, újságírók), akár mert állást szeretnének foglalni a témában, akár csak azért, mert egyszerűen érdekli őket a téma.



Wilhelm Conrad Röntgen

2. MIRŐL IS VAN SZÓ?

Sokszor hallhatjuk tévében, rádióban, olvashatjuk újságokban és különféle kiadványokban, hogy a nukleáris energiatermelés legveszélyesebb velejárója - és az ellenzők egyik legfőbb indoka - a radioaktív hulladék. Mitől olyan veszélyesek ezek a hulladékok, és miért beszélünk róluk annyit?

Azt mindenki tudja, hogy a radioaktív anyagok, köztük természetesen a hulladékok is, sugároznak, és ezek a sugárzások káros hatással lehetnek az emberre és minden más élőlényre. De pontosan mi is a sugárzás, és milyen károkat okozhat szervezetünkben?

A sugárzás és hatásai

1895-ig az emberiséget csak természetes eredetű sugárterhelés érte. Ekkor fedezte fel Wilhelm Conrad Röntgen a később róla elnevezett sugárzást, amelyet azóta a röntgenképekben mesterségesen is alkalmaznak. A radioaktivitás felfedezésével egy új tudományág is született. A radioaktív izotópok orvosi, ipari felhasználása, illetve a nukleáris energiatermelés gyorsan elterjedt. A kezdeti öröme mellett ugyanakkor hamarosan nyilvánvalóvá vált, hogy a radioaktív sugárzás komoly egészségkárosító hatással járhat.

A természetben előforduló atomok többsége stabil. Vannak azonban olyanok is, amelyekben az atommagok kisebb részecskék, illetve energia kibocsátásával stabilabb állapotba kerülhetnek. Ezt a jelenséget radioaktív bomlásnak nevezük. Ahhoz, hogy stabilabb állapotot érjen el, az atomnak energiát kell leadnia, s ez a folyamat radioaktív sugárzással jár.

A sugárzást bármilyen anyag instabil atomja kibocsáthatja. Jelenleg ötféle ionizáló sugárzást ismerünk, melyek vázlatosan a következőképpen jellemezhetőek:

1. Az alfa-sugárzás során pozitív töltésű hélium atommagok, azaz két protonból és két ne-

utronból álló részecskék hagyják el az instabil atommagot. Nagy méretük és "lomhaságuk" miatt e részecskék hamar lefékeződnek, elnyeli őket a papír, a bőr vagy az üveg. Azonban mivel ezeknek a részecskének a tömege és töltése igen nagy, ezért erősen roncsolják azt a közeget, amibe belépnek.

2. A béta-sugárzást elektronok vagy pozitronok alkotják (ezek az atommag neutronjából, illetve protonjából, és nem az elektronfelhőből szakadnak ki!). A béta-részecskék áthatoló képessége nagyobb az alfa-részecskékénél, de egy fémllemezen már nehezen jutnak át.

3. A gamma-sugárzás nagy energiájú elektromágneses sugárzás. Ez olyankor jön létre, amikor az atommag valamely bomlás során még gerjesztett állapotban marad az, és "felesleges" energiáját gamma fotonok formájában adja le. A gamma-sugárzás olyan nagy energiájú, hogy csak vastag betontömbökkel és ólomlemezekkel lehet útját állni.

4. A neutron-sugárzás e töltéssel nem rendelkező részecskék kibocsátását jelenti. Tömegük az alfa-részecskék tömegének egynegyede. A szabad neutron radioaktív, egy protonná, egy elektronná és egy antineutrínóvá bomlik. Ezek

a részecskék mélyen behatolnak az élő szövetbe és súlyosan roncsolják azt, de szerencsére az ember viszonylag ritkán van kitéve neutronsugárzásnak.

5. A röntgensugarak akkor keletkeznek, amikor fémek felületét nagy energiájú elektronsugarakkal bombázzuk. Hasonlatosak a gamma-sugarakhoz, és úgy is viselkednek.

Előfordulhat, hogy a keletkezett új atommag újabb részecske kibocsátásával még stabilabb állapotba kerülhet, s így úgynevezett bomlási sorok alakulhatnak ki (például az urán-238 izotóp sorozatos bomlások után stabil ólom-206 izotóppá alakul).

A sugárzás e formái mind kihatnak a környezet anyagaira és elektromos töltésű atomokat, vagyis ionokat hoznak létre. Az ionok kiválnak a kémiai kötések közül, vagy újakat hoznak létre, ezáltal sok esetben mobilisabbá válnak, s könnyebben kerülhetnek kapcsolatba az élő szervezettel.

Az egyes anyagokkal, közegekkel kölcsönhatásba lépve a sugárzás elnyelődik, miközben az energia átadódik. Ha ez a részecske vagy hullám áthatol az élő szöveten, károsodásokat okozhat. Az elnyelt energia nagyságával arányos a szövetekben, sejtekben végbemenő változás. A várható károsodások becslésére az elnyelt energiaadagdal (dózissal) arányos mennyiségeket használják. Élőlényeknél azonban a károsító hatást az elnyelt dózison kívül a sugárzás típusa és energiája, valamint a sugárzást ért szervek, szövetek minősége is befolyásolja. Így a károsodás megállapítására nem áll rendelkezésre egységes mérőszám, tekintve az élőlények egyediségét, és eltérő érzékenységét.

A sugárzás, a szervezetbe bejutva a sejteket, szöveteket súlyosan roncsolja, sőt el is pusztíthatja azokat. Hatására rákos megbetegedések, genetikai elváltozások történhetnek, melyek később öröklődhetnek. A szervezetbe többféleképpen juthat be radioaktív anyag: a levegőből a bőrünkre kerülhet, belelegezhetjük, vagy szennyezett élelmiszerrel, illetve ivóvízzel bevihetjük. (Például a csernobili balesetkor a radioaktív jódizotópok a természetett növények felületére kiüledtek. Azokon a területeken, ahol az emberek általában kevés jóddhoz juthattak, a szervezetbe bevitt radioaktív jódizotópok beépültek a pajzsmirigybe, ahol sugárzásuk miatt pajzsmirigy-rákot okoztak.) Ha a szervezetet nagy dózisban érte a sugárzás, akkor egy kezdeti szakasz után - melynek során rosszullet, hányás, fejfájás léphet fel - belső vérzés történik, illetve az idegrendszer is károsodik, majd bekövetkezhet a halál.

(Akit a radioaktivitás és hatásai bővebben érdekel, annak figyelmébe ajánljuk az Energia Klub "Bomlás virágai" - Radioaktivitás és környezetünk című kiadványát.)

3. A RADIOAKTÍV HULLADÉKOK FAJTÁI

A radioaktív anyagokat többféle szempont szerint csoportosíthatjuk. Azért van szükség szétválasztásukra, mert a különböző fajták különbözőképpen viselkednek, más és más tulajdonságokkal rendelkeznek. Tehát miután hulladék válik belőlük, a kezelés, az ideiglenes tárolás, a szállítás, illetve a végleges elhelyezés szempontjából másfajta eljárást igényelnek. Ezeket az anyagokat aktivitásuk, felezési idejük, illetve halmazállapotuk szerint osztályozhatjuk.

A nukleáris energetikában leggyakrabban az aktivitás szerinti csoportosítást használják. Az aktivitás szót a radioaktív bomlás jellemzésére használják, és azt fejezik ki vele, hogy egységnyi időtartam alatt mennyi atommag bomlik el. Mértékegysége a becquerel, jele: Bq. Egy adott anyagnak egy becquerel az aktivitása, ha

abban egy másodperc alatt egy magbomlás megy végbe. A bomlások száma alapján megkülönböztetünk kis, közepes és nagy aktivitású radioaktív hulladékokat.

A radioaktív izotópok másik fontos jellemzője a felezési idő (jele:T), ami azt az időt jelenti,

Kis aktivitású hulladék (Low Level Waste, LLW):

Radioaktivitásuk kisebb, mint 500.000 Bq/kg. A radioaktív hulladékok térfogatának mintegy 70-80 százaléka ilyen jellegű hulladék. Kis aktivitású hulladékok például az erőműben keletkező szennyezett ruhák, kesztyűk, védőfelszerelések, illetve a gyógyászatban használt izotópok, stb.

Közepes aktivitású hulladék (Intermediate Level Waste, ILW):

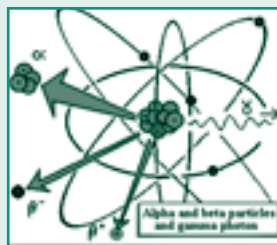
Radioaktív sugárzásuk 500.000-5.000.000 Bq/kg közötti. Esetenként betonpajzs és hűtés nélkül tárolhatók. Ilyenek az atomerőműben tisztításra használt légszűrők, gyanták, stb.

Nagy aktivitású hulladék (High Level Waste, HLW):

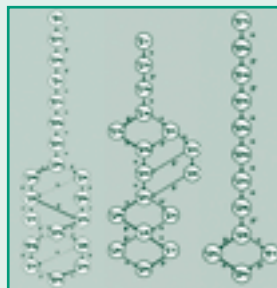
Radioaktivitásuk nagyobb, mint 5.000.000 Bq/kg. Habár a kiégett fűtőelemeket az atomipar külön szokta emlegetni, hulladékként ebbe a legveszélyesebb csoportba tartoznak. Nemcsak erősen sugárzóak, de rendkívül magas hőmérsékletűek is, így végleges elhelyezésük előtt le kell őket hűteni, nehogy öngyulladás menjen végbe. Különválasztásuk pusztán technikai jellegű, jelezvén, hogy egy részük "visszaforogatható", szakszóval reprocessálható. A magyar hatósági előírásoknak sem tárgya ez a legkritikusabb hulladékcsoporthoz, mivel a szabványok keletkezésének idején a kiégett fűtőelemeket az akkori Szovjetunióba szállították vissza, így a hulladékkezelési stratégiákban nem játszottak szerepet. Az 1996-os Atomtörvény is külön kategóriaként foglalkozik a kiégett fűtőelemekkel.

Nagy aktivitású hulladék válik még például a reaktortartályból az atomerőmű leállítása után.

Radioaktív bomlások (alfa, béta, gamma)



Az urán-238, urán-235 és tórium-232 izotópok bomlási sora



amely alatt a radioaktív atommagok száma a felére csökken. Ez az idő pár másodperctől (pl. Cs-137: $T=8,4$ s) akár több milliárd évig is tarthat (pl. U-238: $T=4,5$ mrd év). Ahhoz, hogy egy radionuklidot végleg veszélytelennek ítéljünk, a felezési idő húszszorosának kell eltelnie, hiszen ekkor már csak az aktivitás egy-milliomod része van jelen ($1/2^{20}$). Rövid felezési idejű az izotóp, ha 30 napon belül mennyisége a felére csökken, közepes felezési idejűek a 30 nap és 30 év között feleződő izotópok, és hosszú felezési időről beszélünk, ha mindez több mint 30 év alatt játszódik le.

A halmazállapot a hulladék kezelésének és szállításának módját, illetve a környezetbe való kikerülésének lehetőségét befolyásolja. A folyékony radioaktív hulladékokat - amikor éppen nem a tengerbe vagy a folyóba eresztik - a végleges elhelyezés előtt általában kikristályosítják, ezáltal az anyag szilárdvá válik. Erre azért van szükség, mert folyékony állapotban a hulladék



Ideiglenesen hordókban tárolt folyékony radioaktív hulladékok

sokkal mobilisabb, a tárolókon megtalálva a legkisebb repedést könnyebben belekerülhet a talajba, felszín alatti vízbe, ahonnan közvetve

az emberek által fogyasztott növényekbe és az ivóvízbe juthat. A radioaktív bomlás során gázfázisú termékek is keletkeznek, amelyek a mikro-repedéseken keresztül szabadulnak ki a környezetbe. Ilyen elem például a radon, mely az urán bomlási sorában található, és amelyről ismeretes, hogy a talajon keresztül átszivárogva, majd zárt térbe - például pincékbe - jutva felhalmozódik.

A radioaktív hulladékok végleges elhelyezésénél mindhárom szempontot (aktivitás, felezési idő, halmazállapot) figyelembe kell venni, és ezeket összevetve kell a hatósági kategóriákat, az elhelyezés szerinti besorolást felállítani. Hiszen előfordulhat, hogy egy közepes aktivitású

hulladék hosszú felezési idejű izotópokat tartalmaz, vagy egy nagy aktivitású hulladék közepes felezési idejűt. Ahány ország, annyiféle szabályozás létezik. A magyar szabvány csak annyit ír elő, hogy a végleges elhelyezést szolgáló telephelyre és a tárolás módjára vonatkozó követelmé-

nyeket az illetékes hatóság határozza meg és radioaktív hulladéknak is csak az számít, amit a hatóság annak nyilvánít. . .

4. HOL KELETKEZNEK?

Radioaktív hulladékok nemcsak az energiatermelés során képződnek, bár kétségkívül zömük onnan származik (és kiadványunk nagyobb része is velük foglalkozik). A nukleáris fegyverkezés (hadászati célú atomreaktorok, atomfegyver-gyártás, nukleáris robbanófejek leszerelése, atom-tengeralattjárók, atomkísérletek és atomrobbantások) folyamán is nagy mennyiségű sugárzó anyag keletkezik. Sok esetben olyan formában, amit már nem lehet összegyűjteni és kezelni, ezzel terhelve a környezetet: például felszíni kísérleti atomrobbantásokkor a robbanással nagy mennyiségű radioaktív anyag, por kerül a légkörbe, majd ülepszik ki a felszínre. Ez történt a Bikini-szigeten is, ahol a negyvenes évek közepétől az ötvenes évek végéig végeztek kísérleti atomrobbantásokat Ennek eredményeképp a sugárzás szintje annyira megnövekedett a szigeten, hogy az időközben kitelepített lakosságot azután sem engedték vissza a szigetre, miután a robbantásokat megszüntették.

Az úgynevezett békés célú alkalmazások között az energiatermelés mellett radioaktív hulladékok keletkeznek kutatóreaktorokban, ipari, illetve mezőgazdasági laborokban, élelmiszer-feldolgozás során, illetve a gyógyászatban: ezek között az alig szennyezett munkaruháktól a nagy akti-



A Baker nevű vízalatti kísérleti atomrobbantás a Bikini-szigetekenél 1946-ban

vitású fűtőelemekig terjed a skála. A legnagyobb mennyiség azonban az energiatermelés folyamata során képződik. Hogy fogalmunk legyen ennek nagyságrendjéről, képzeljük el a következőt: ha egy vonat vagonjait megtölténénk csak az Egyesült Államokban az üzemanyag-lánc során keletkezett radioaktív hulladékkal (hőzárólag 1 milliárd tonna!), akkor egy olyan hosszú szerelvényt kapnánk, amely körbeéri az Egyenlítőt!

Az atomerőművek működtetéséhez szükséges fűtőelemet az úgynevezett "üzemanyag-lánc" során állítják elő, amely számos veszélyes, ökológiai szempontból kényes folyamatot rejt

magában. A közérdeklődés általában az atomerőművek működésére korlátozódik, az egyéb eljárásokkal többnyire nem foglalkoznak. Jól azelőtt azonban, hogy egy atomerőművet ellátnak fűtőelemmel, radioaktivitás és más mérgező anyagok veszélyeztetik a környezetet és az embereket, és ezt

a nukleáris üzemanyag-lánc során keletkező rengeteg radioaktív hulladék is bizonyítja. Bár az üzemanyag-láncot az atomipar képviselői többnyire körfolyamatként emlegetik ("üzemanyag-ciklus"), mert a fűtőelemek feldolgozása elvileg lehetséges, a gyakorlatban ez még sincs így, hiszen a világon termelődő fűtőelemeknek alig néhány százalékát reprocessálják. Tehát egyáltalán nem termelési körforgásról van szó, hanem zsákutcáról, amelyből ráadásul nincs is visszaút. A következőkben az üzemanyag termelésének egyes szakaszaiban, illetve az atomerőművekben keletkező hulladékokról lesz szó.

Bányászat

Már az első szakaszban, a bányászat során megkezdődik a hulladékok termelése. Mivel az uránérc urántartalma általában 1% körül mozog, rengeteg kőzetet kell kibányászni ahhoz, hogy a megfelelő mennyiségű uránhoz jussanak. Ráadásul a kibányászott ércnek csak a jó minőségű részét - átlagosan egytizedét - szállítják el feldolgozásra, a maradék, az úgynevezett meddő, nagy kupacokban a bányászat helyszínén marad.

A természetben előforduló urán (amely amúgy is csak 1%-nyi mennyiségben képviselteti magát az ércben) döntő többsége 238-as tömegszámú uránizotóp (U-238), és csak 0,7%-ban tartalmazza az atomenergetika szempontjából fontos 235-ös tömegszámú uránizotópot. Ezért a hihetetlenül csekély mennyiségért bányásznak rengeteg



uránércet szerte a Földön, tönkretéve ezzel az ott lakók életkörülményeit, veszélyeztetve a környező természetet és nagy mennyiségű radioaktivitást hozva a felszínre a Föld mélyéből. Az így keletkező, enyhén sugárzó halmok a bányászat helyén okoznak lokális problémát, melynek terheit szintén az ott élők és a nemzeti kormányzatok viselik. A költségek pedig nem az atomenergia árába kerülnek bele...

Az uránércet háromféle módon bányásszák - külszíni fejtésben, mélyművelésű bányákban, illetve lúgozással -, ezek mindegyike veszélyeket hordoz magában.

Ha az urán tartalmú kőzet a felszínhez közeli rétegekben található, akkor alkalmazzák a külszíni fejtést. Mivel azonban ezek a rétegek gyakorlatilag sosem közvetlenül a felszínen helyezkednek el, a talajt, illetve a felső néhány métert, az úgynevezett fedőkőzetet el kell távolítani az ércről. A fedőkőzet a rossz minőségű, feldolgozásra nem szállított érczel együtt a bánya területén lévő meddőhányóba kerül. A meddő - a bányászat hulladéka -, bár alacsony koncentrációban, de tartalmaz radioaktív anyagokat, amelyek, mivel a felszínre kerültek, ki vannak téve az időjárás viszontagságainak. A szél radioaktív port szállít, a csapadék kilúgozza a sugárzó anyagot a kőzetből, ami így bekerül a talajba és a felszín alatti víz-

1977-ben napvilágot látott egy NRC (Nuclear Regulatory Commission - Nukleáris Szabályozó Bizottság az Egyesült Államokban) számára készített jelentés, amely egy eddig súlyosan alábecsült dologra hívja fel a figyelmet: a bányászatból eredő radon-222 kibocsátás a vélt-nél valójában 100.000-szer nagyobb. A jelentés megállapította, hogy egy reaktor egy évnyi üzemanyagához elegendő urán bányászatából adódó radon kibocsátás több száz rákos megbetegedéshez és genetikai elváltozáshoz, valamint halálhoz vezethet.

be, illetve az urán bomlása során radon gáz keletkezik, ami a közelben élő emberekre szintén veszélyes lehet. Régebben a meddő kőzetet gyakran kavicsá örölték, vagy cementet gyártottak belőle, és utak, házak építésére használták. Az ilyen házakban nemcsak az urán miatt emelkedett meg a sugárzás értéke, hanem a keletkező radon miatt is, ami, ha nem szellőztetnek rendszeresen, hajlamos megrekedni a falak között, ahol a lakók belelélegzik.

Mélyművelésű bányákban is termelődik meddő, itt is a rossz minőségű, ám mégis urántartalmú kőzetek kerülnek ki a felszíni meddőhányókba. Ezekre a fent leírtak ugyanúgy érvényesek. A mély bányákban dolgozó

bányászokra fokozottan veszélyes a radon, hiszen ott nem tud a légkörben felhígulni, a vajatokban dolgozók koncentráltan lélegzik be ezt a radioaktív gázt. Az egykori NDK Wismut vállalatának uránbányászai közül 9000 halt meg tüdőrákban 1946 és 1990 között. A rá-

kot 5675 esetben ismerték el foglalkozási ártalomként.

Lúgozással mélyebben fekvő érceket "bányásznak". Ez úgy történik, hogy fúrólukokban lúgozó oldatot (pl. ammónium-karbonátot vagy kénsavat) préselnek az ércet tartalmazó rétegbe, majd a kioldott ércet a felszín alatti vízzel együtt kiszivattyúzzák. Egy közeli medencében a vizet bizonyos mértékig elpáro-

logtatják és - iszap formájában, számos más anyaggal együtt - visszamarad az uránérc. Ennek a módszernek előnye, hogy nem termelődik nagy mennyiségű meddő, ezzel szemben azonban számos hátránya van. A lúgozó oldatot, a kioldott érczel együtt beleke-

rülhet a felszín alatti vízbe, ahol más rétegekbe áramolva akár az ivóvízbázist is elszennyezheti. Ezenkívül a lúgozás előtti állapotok már soha nem állíthatók vissza, megijósíthatatlan, hogy a folyamat milyen kárt tesz az ércet tartalmazó rétegben és annak vízében. A lúgozás



Uránérc



Felhalmozott meddő egy thüringiai bányában



Külszíni uránbánya Franciaországban (LeBosc bánya)



A bányászat ellen tüntető őslakosok Jabulukában

Jabiluka Ausztrália északi részén található és az egyik legnagyobb uránlelőhelyként ismeretes. Van azonban ennél pár lényegesen fontosabb tulajdonsága: az ausztrál őslakosok szent helynek tekintik e lápos vidéket és természeti, ökológiai értékei miatt az ENSZ a világörökség részeként ismerte el. Ezek miatt ipari tevékenység folytatása alól kivont terület volt mindeztől. Egy - az atomipar lobbizása következtében - nemrég megszületett nemzetközi döntés értelmében ezt a státuszát elvesztette, szabad utat engedve a bányászati társaságok tevékenységének.

befejeztekor visszamarad az iszap, amiből a felszínen az uránt kinyerték. Ez az iszap szintén hulladék, aminek megfelelő tárolást kellene biztosítani.

Nemcsak a hulladék okoz azonban problémákat az uránbányászat körül. A világon a legjobb minőségű uránt adó bányák, valamint a hulladéknak kiszemelt lerakók telephelyei a lakosság által használt területeken helyezkednek el, így számos helyi konfliktus tűzfészkei.

Sárga pogácsa

A bányából a kinyert ércet elszállítják feldolgozásra, melynek első terméke a sárga pogácsa. Ahhoz azonban, hogy idáig eljussunk, a kibányászott hasznosítható ércet először meg kell őrlölni, majd különböző kémiai folyamatok útján az uránt ki kell nyerni. Ezen szakaszok során is nagy mennyiségű és többfajta hulladék keletkezik.

Az urán kioldásához általában kénsavat használnak, néha valamilyen lúgot. Ezekkel azonban nemcsak az urán oldódik ki a megőrölt ércből, hanem számos más elem is, például molibdén, vanádium, szelén, vas, ólom és arzén. Ebből az elegyből nyerik ki egy második reagens segítségével az uránt, ami már maga a sárga pogácsa. A visszamaradt anyag: nehézfémeket és radioaktív izotópokat tartalmazó iszap, illetve az ebből leülepedett nagyobb szemcséket tartalmazó salak. Az uránon kívüli radioaktív izotópok már az ércben is megtalálhatók, az oldás után pedig belekerülnek az iszapba. Ilyen pl. az urán bomlásából származó tórium-230 és rádium-226 izotóp. Az urán kioldása sosem száz százalékos, így némi kioldatlan urán a visszamaradt anyagban is megtalálható. Mivel az érc urántartalma átlagosan mindössze 1% körüli, ennek kinyerésével a



A bánya közelében első lépésben megőrlik az uránércet

radioaktivitásnak csak mintegy 15%-a távozik el az ércből, így a maradék 85% a hulladék iszapba kerül bele. Ráadásul a kémiai beavatkozások miatt az ebbe a hulladékba került elemek jóval mobilisabbak lesznek, s lerakásuk után könnyebben kerülhetnek a környezetbe.

Az őrlésből és oldásból visszamaradt salakot általában visszazállítják a bánya területére, és ott tárolják - sokszor mindenféle műszaki védelem nélkül. Ezek a salakkupacok a természetes háttérsugárzásnál 20-100-szor nagyobb gamma-sugárzást bocsátanak ki. Emel-



844 ezer tonna salak a franciaországi Bellezane bányában

lett - mint a meddőhányókból is - az urán sorozatos bomlásából radon-222 izotóp keletkezik, melynek bomlástermékei tüdőrákot okozhatnak, és mivel gáz halmazállapotú, könnyen terjed a széllel, potenciális veszélyforrást jelentve a környéken lakóknak. A salakhegyeken megtelepedő alsóbbrendű növények szövetekben felhalmozódhatnak a szennyezőanyagok, melyek így bejuthatnak a táplálékláncba, fenyegetve azok tagjait: madarakat, emlősöket.

A salaktárolók az erózióknak is ki vannak téve. A csapadék a talajba, a felszíni és felszín alatti vizekbe mossa a radioaktív anyagokat, és a szél nemcsak a radont, hanem az erodált sugárzó salakszemcséket is széthordja. A németországi Wismut uránbányájában lévő salakhegyekből a viharok sokszor sötét radioaktív porfelhőket fújnak a közeli falvak fölé. A viharok után a településekről gyűjtött porminták nagy mennyiségben tartalmaztak arzént és rádium izotópokat.



Uránbányászatból visszamaradt radioaktív salak a Colorado-folyó mellett (Utah).

A leszivárgó csapadék jelenleg is szennyezi a folyót, amely 18 millió kaliforniainak szolgáltat ivóvizet.

Konverzió, dúsítás, fűtőelem gyártás

A sárga pogácsa még nem használható üzemanyagként, a benne lévő uránt először más kémiai formába kell hozni. Ezt a folyamatot hívják konverzióknak, melynek során a sárga pogácsa uránvegyületeit gáznemű urán-hexafluoriddá (UF_6) alakítják át. Az UF_6 előállítása-
kor arra kell vigyázni, hogy ne legyen magas a levegő páratartalma, hiszen a vegyület erősen reaktív, és a levegő víztartalmával reagálva a bőrre és a tüdőre egyaránt veszélyes erősen maró fluorsavat (HF) és a mérgező uranil-fluoridot (UO_2F_2) hozza létre.

A konverzió utáni lépés a dúsítás. Az átalakított urán körülbelül 70-90 százalékban kétféle izotópból áll: az urán-235-ösből illetve az urán-238-asból. Az atomreaktorokban üzemanyagként az U-235 izotópra van szükség, mert ez képes legkönnyebben a maghasadásra. Mivel a sárga pogácsa csak 0,7% U-235 izotópot tartalmaz, fel kell dúsítani, hozzávetőleg 4-5 százalékra, hogy hatékonyabb legyen az energiatermelés az atomerőművekben. A dúsított uránt azután kis kapszulákba, majd rudakba töltik, ezekből lesznek a fűtőelemek.

A dúsítás során keletkező hulladék - ami hétszer több az előállított és felhasználható dúsított uránnál - az úgynevezett szegényített urán, amely elsősorban U-238 izotópból áll. Ennek nagy részét a dúsítóüzemek udvarán acélhengerekben tárolják. Az USA-ban egyedül 560 ezer tonna szegényített urán halmozódott fel 1993 óta és jelenleg 55 ezer hengerben tárolják őket. A szabad levegőn a hengerek korrodálódnak, így gyakran meg kell őket vizsgálni, hiszen a korrodált részek hamar megrepednek, kihaladnak.

A szegényített urán kisebb részét polgári célokra használják fel. Régen zománccfestékek, porcelán

Az elmúlt években a balkáni háború kapcsán sokat hallhattunk a szegényített urán katonai felhasználásáról. Nagy sűrűsége és súlya miatt vált kedvelt alapanyaggá, hiszen e tulajdonságai révén a lövedékek rendkívül jól célratarthatók. A probléma csak az, hogy a becsapódás következtében a lövedékek millió apró darabra, szinte porszemcsékre esnek szét. Ezek a szemcsék nemcsak a levegőbe jutnak, hanem a talajba és a felszín alatti vízbe is, ezzel lehetőséget teremtve arra, hogy az urán belekerüljön az ivóvízbe, illetve a növények felhalmozzák. Így az ember szervezetébe jutva az urán beépül a csontokba és más szövetekbe, illetve nehézfémként lerakódik a tüdőben, és alfa-sugárzó lévén közvetlenül roncsolja a sejteket.

és üveg színezőanyagként használták. Újabban acél-ötvözet anyagaként és néhány folyamatban katalizátorként alkalmazzák. Az urán fémekben való alkalmazásához apró uránrészekre van szükség. Ez azért probléma, mert a kis urándarabok hajlamosak a spontán égésre és már sok balesetet okoztak. Mivel az urán nagy sűrűségű, nehéz anyag, ellensúlynak, nehezeknek is használják. Az első Boeing 747-es repülőgépekben hasznosították így a szegényített uránt.

Az atomerőmű működése

Ekkor keletkezik a legtöbb féle és fajta hulladék, mind az aktivitásukat, mind az izotópok felezési idejét, mind halmazállapotukat tekintve.

Az atomerőművi kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok több helyről származnak. Egyik csoportjuk a technológiai folyamatok során (pl. tisztítás) keletkezik. Az erőműben minden radioaktív anyaggal szennyezett berendezést bizonyos időközönként ellenőriznek, és szükség esetén tisztítanak. Ezek során a légszűrők, a tisztításra használt gyanták is elszennyeződnek, hulladékká válnak. Egy másik csoportot az elhasznált ruhák, védőeszközök, szerszámok, alkatrészek képezik.

A nagy aktivitású hulladékokat elsősorban a kiégett fűtőelemek jelentik. Bár összterfogatuk kisebb mint a többi hulladéké, a radioaktivitás 95%-át tartalmazza, így igen körültekintő bánásmódot igényel. Már a friss fűtőelem is sugárzó anyagot tartalmaz, de a reaktorokban lejátszódó maghasadás miatt újabb veszélyes radioaktív izotópok termelődnek (pl. plutónium, cézium és stroncium), így radioaktivitása folyamatosan nő. Mikor eltávolítják a reaktorból, a fűtőelem körülbelül egymilliószor jobban radioaktív, mint amikor bekerült.



Fűtőelem-köteg

Acélhengerekben tárolt szegényített urán



Reprocessálás

Ez az idegen szó annyit tesz: újrafeldolgozás. A világon a kiégett fűtőelemek igen kis részét feldolgozó üzemekbe szállítják ahol friss fűtőelemeket készítenek belőlük. Ez azt jelenti, hogy a még el nem hasadt urán-235 izotópokat (és a plutóniumot) kivonják az elhasznált fűtőelemekből, és ezekből újat gyártanak.

A folyamat során a fűtőelemeket - tárolócsövekkel együtt - forró salétromsavba teszik, ahol a csövek tartalma néhány óra alatt feloldódik. Ezt az oldatot egy centrifugába töltik, azért, hogy a szilárd részeket (pl. csődarabok) a folyadékból eltávolítsák. A visszamaradt anyag salétromsav, mely oldott uránt, plutóniumot és más, az urán maghasadásából származó radioaktív izotópokat tartalmaz. Ezt az oldatot egy kóktélkeverőhöz hasonló berendezésben összerázzák, ennek eredményeképpen szétválasztják az uránt és a plutóniumot - melyeket később párologtatás útján, por formájában nyernek ki - az egyéb oldott anyagoktól.

Az eljárás során nagy mennyiségű folyékony radioaktív hulladék marad vissza, melyet ugyanolyan nagy aktivitásúként kell kezelni, mint a kiégett fűtőelemeket. A folyékony hulladékot tárolása előtt megszilárdítják, hogy a környezetbe való kikerülésének kisebb esélye legyen.



A Windscale-2 erőmű leszerelése



Feldolgozó üzem Japánban

Az atomerőművek leszerelése

A 21. század első felében a jelenlegi trendek szerint a most működő atomerőművek leállnak, és leszerelésre várva fogják hirdetni egy technológia bukását. Ezek a létesítmények azonban még így is nagy mennyiségű radioaktív anyagot rejtnek magukban. Első körben kiszerezhető belőlük minden olyan berendezés, amely nem, vagy csak enyhébben szennyezett. A blokkok primer köre, a reaktorokkal közvetlenül kapcsolatban álló berendezések - némely reaktor esetében a szekunder kör is - viszont erősen szennyezettek, nagy aktivitásúak. Maga a reaktor pedig sok évig hűtésre szorul, annak érdekében, hogy a leszerelést - speciális felszerelésekkel és munkavédelmi óvintézkedések biztosítása mellett - megkezdhessék. A "pihentetés" ideje mai ismereteink szerint 70 évre tehető. Ez idő alatt kell megoldani a reaktorok őrzését, hiszen védő felszerelés nélkül, saját egészsége érdekében senki sem közelítheti meg a szennyezett zónát. Ennek is jelentős anyagi vonzata van, nem beszélve az ezután jelentkező még ismeretlen szerelési és tárolási költségekről. (A nukleáris ipar a mai napig is csak becslésekre hagyatkozik a majdan felmerülő költségek tekintetében.) Egy atomerőmű leszerelésekor legalább még egyszer annyi hulladék keletkezik, mint amennyit működése során termel. Teljes, úgynevezett "zöldmezős" leszerelés - ami azt jelenti, hogy a berendezéseket kiszerték, a reaktorok épületét lebontották és helyén ma üres telek áll - még sehol a világon nem történt meg. Vannak leállított erőművek szerte a világon, ám ezek még legfeljebb csak a pihentetés stádiumában tartanak, tehát még állnak a reaktorépületek. Éppen ezért lehetetlen megjósolni azokat a majdan felmerülő költségeket, amelyeknek fedezniük kell a berendezések kiszerezését, az épületek lebontását és a hulladékok kezelését, illetve elhelyezését.

5. KEZELÉSI LEHETŐSÉGEK ÉS PROBLÉMÁIK

Az előző fejezeteket olvasván érthetővé válik, miért van szükség arra, hogy a radioaktív hulladékokat komolyan vegyük. A sugárzás emberi és biológiai környezetre való súlyos hatása megkövetelné, hogy a lehető legtökéletesebb módszert alkalmazzuk a radioaktív hulladékok "hatástalanításához". Sajnos azonban, mint az alábbiakban látni fogjuk, ilyen módszer nem létezik.

A radioaktív hulladékok kezelésére többféle javaslat született már, ám ezek közül egyik sem nyújt teljes biztonságot, és legtöbbjük nem is alkalmazható. A kezelési módszer kiválasztásánál először is azt kell figyelembe venni, hogy milyen természetű radioaktív hulladékról van szó. A kis és közepes aktivitású hulladékoknál a felszíni vagy felszín alatti tárolást részesítik előnyben. A nagy aktivitású - jóval problémásabb - hulladékok esetében más, néha kissé extrém megoldások is szóba kerülnek, az igazság azonban az, hogy végleges megoldásként eddig még egyiket sem alkalmazták. 1992-ben a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) közzétett egy listát a különböző országok magas aktivitású nukleáris hulladékainak kezelési projektjeiről, amiből az derül ki, hogy nincs egyetlen olyan ország sem, amely példaként szolgálhatna, nevezetesen, hogy megtalálta a probléma megoldását.

A radioaktív hulladékok problémája nem csak abban rejlik, hogy mennyire, hanem hogy mennyi ideig sugárzóak. A kis és közepes aktivitású hulladékok általában rövid, illetve közepes felezési idejű izotópokat tartalmaznak, tehát rövidebb ideig veszélyesebbek, mint a nagy aktivitású, zömmel hosszú felezési idejű izotó-

pokat tartalmazó hulladékok. A felezési idő azonban még nem mondja meg, hogy egy anyag mennyi ideig sugároz. Abból ugyanis csak azt tudhatjuk meg, hogy mennyi idő alatt bomlik el egy egységnyi radioaktív anyagnak a fele. Ahhoz, hogy a radioaktív hulladék sugárzási szintje az elfogadható alá csökkenjen, általában húszszoros felezési időnek kell eltelnie. Ezt hívjuk veszélyességi időnek. A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok esetében ez 600 év körül van, a nagy aktivitású hulladékoknál azonban több százézer évre rúg. Bonyolítja a dolgot, hogy egy adott radioaktív hulladék (akár egy szűrő vagy kesztyű a paksi atomerőműből) többféle izotóppal szennyezett. Mindegyik másképp viselkedik: különböző ideig sugároznak, különböző mértékben, és a sugárzás fajtája (alfa, béta vagy gamma) sem minden esetben azonos.

Az sem mindegy, hogy folyékony vagy szilárd hulladékról van szó. A folyékony radioaktív hulladékokat először mindenképpen kezelni kell, méghozzá szilárd formába kell hozni, hogy biztonságosabb legyen a tárolása (a folyékony hulladékok ugyanis könnyebben elszivárognak, elpárolognak, esetenként reaktívabbak mint a szilárdak).

Habár jelenleg csak 31 ország üzemeltet

Az elmúlt fél évszázad óta úgy termeljük a nukleáris hulladékot, hogy semmilyen használható ötletünk nincs arra nézve, mit kezdjünk vele.

atomerőművet a világon, ennél többnek kell megoldania a radioaktív hulladék elhelyezésének ügyét. Ez két alapvető ténynek köszönhető: a Szovjetunió és más kelet-európai országok felbomlásával és új határok keletkezésével elválasztódott egymástól a hulladék és annak keletkezési helye, másrészt - mint tudjuk - orvosi és ipari forrásokból is származik nukleáris hulladék, nem beszélve a hadászati atomkísérletekről, melyek nemcsak azokban az országokban történnek, amelyeket a közvélemény atom-nagyhatalmakként ismer.

Ideiglenes tárolás

A radioaktív hulladékok kezelésének megoldatlanságát mutatja az is, hogy a világon az ideiglenes tárolók terjedtek el. Ezekben addig pihennek a radioaktív hulladékok, amíg valamilyen végleges megoldás nem születik - a nagy aktivitású hulladékok esetében ez feltehetően még elég sok időt fog igénybe venni.

Ezeknek az anyagoknak az ideiglenes tárolása is bonyolultabb, mint a kisebb aktivitásúaké. Itt nem csak a nagy sugárzásra kell odafigyelni, hanem arra is, hogy a fűtőelem, miután kiég, még rengeteg hőtermel. Ezért, miután kikerülnek a reaktorból, a fűtőelemeket néhány évig egy úgynevezett pihentető medencében helyezik el az atomerőmű területén, ahol vízzel hűtik őket. Ezután kiemelik és egy száraztárolóba rakják, ahol már csak levegőhűtést alkalmaznak.

Magyarországon a kiégett fűtőelemeket a Pak-

si Atomerőmű területén lévő Kieégett Kazetták Átmeneti Tárolójában (KKÁT) tárolják, a tervek szerint 50 évig. Ezután kerülne a végleges helyére, amely azonban Magyarországon még nem létezik, kutatások is alig történtek ennek érdekében.

Kis és közepes aktivitású hulladékok végleges elhelyezése

A világon végleges tárolók még csak kis és közepes aktivitású hulladékok számára épültek. Ezek legelterjedtebb elhelyezési módja a felszín közeli vagy felszín alatti tárolókba "temetés", általában azokban a konténerekben, amelyekben szállítják. Lehetséges lenne azon-

ban a felszíni elhelyezés is. Ez utóbbinak számos előnye van az előbbivel szemben. Először is kevésbé költséges, hiszen jóval kevesebb kutatást és építési munkálatokat igényel. A felszíni lerakók esetében a radioaktív hulladék kivételre kerül-

het, ha a külső körülmények úgy kívánják (mondjuk jobb helyet találnak nekik; az idők során kitalálnak valamilyen módszert, amivel a hulladékok veszélyességét csökkenteni lehet; vagy ha egyszerűen megrongálódik a tárolóedény, könnyebb rajta javításokat végezni). Ugyancsak előnye a felszíni lerakónak, hogy szem előtt van, könnyebb a körülötte lejátszódó folyamatokat figyelemmel kísérni (tehát a szennyezés környezetbe való kikerülését), és az utókor sem feledkezhet meg róluk. Habár

pont ez utóbbi miatt sokkal inkább ki vannak téve illetéktelen kezeknek, ami ellen csak a folyamatos őrzéssel lehet védekezni. Ám ez mégsem nagyon fenyegeti a kis és közepes aktivitású hulladékok tárolóját. Az ugyanis, mint már korábban leírtuk, elsősorban szennyezett műszereket, berendezéseket, ruhákat tartalmaz, így sugárzó nyersanyagként nem használhatók fel (ellentétben a kiégett fűtőelemekkel).

A felszín alatt elhelyezett hulladék újra kivételére egy bizonyos idő elteltével nincs lehetőség, mivel a vizsgálati idő elteltével örökre bezárják a befogadó üreget. Sok fejtörést okoz annak a problémának a megoldása is, hogy a hulladék ottlétéről hogyan hagyjanak a messzi utókorra figyelmeztetést. A kis- és közepes aktivitású hulladékokra előírt 600 éves biztonsági időtartam - történelmi tanulmányaink alapján is - igen hosszú időnek tűnik. Azóta értékesek lettek olyan ércek is, amiket akkor még nem bányásztak.

Ismerjük Mátyás király Corvináit, de a készítésük óta eltelt közel 600 év alatt nem mindegyik maradt ránk épségben. Így lehet, hogy ennyi idő alatt bizonyos dokumentumok eltűnnek, elektronikus adatok vesznek el, tehát az információ, hogy azon a bizonyos helyen radioaktív hulladékokat helyeztek el, néhány száz év során egyszerűen megsemmisül.

Azokban az országokban, ahol csupán ipari és orvosi alkalmazása van a radioaktív izotópoknak, csak kis mennyiségű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésével kell foglalkozni, mivel a nagy aktivitású hulladékok kizárólag atomerőművek működtetése, fűtő-

elemek feldolgozása, illetve atomfegyverek gyártása során keletkeznek.

A kis aktivitású hulladékok tárolásának ügye számos más kérdést is felvet. A természetben fellelhető radioaktív anyagok ugyanis a hulladékosztályozásban nehezen besorolhatók. A természetben előforduló radioizotópok bányászat, olaj- és gázkitermelés maradáiként kerülnek elő. Néhány országban kis aktivitású hulladékként kezelik őket, míg másokban egyáltalán nem sorolják be őket. Hasonló a probléma az alacsony sugársintű anyagokkal is, amelyek például az ábányameddők területén találhatóak. Ezek nagyon nagy mennyiségekben fordulhatnak elő - gyakorlatilag hegyek -, de nem tekinthetők kis aktivitású hulladéknak, viszont egyszerű ipari hulladéknak sem. Ezért találhatjuk azt a legtöbb helyen a világon, hogy a meddő kezeletlenül áll a bányaterületén, mindenféle védelem nélkül.



Kisaktivitású radioaktív hulladék tároló

Nagy aktivitású hulladékok

A nagy aktivitású hulladékok esetében bonyolultabb a helyzet, hiszen nemcsak hogy jobban, de lényegesen hosszabb ideig is sugároznak. Ez a tény jóval nehezebbé teszi a megfelelő kezelési módszer kiválasztását. Annak ellenére, hogy itt is a felszín alatti, mely geológiai képződményekben való elhelyezést tartják a legmegfelelőbbnek, még sehol a világon nem készült el, és került használatba ilyen tároló. A nukleáris technológiát használó országok többségének olyan hatályos törvényei vannak, amelyek kimondják: nemzetközi felelősséget vállalnak azért, hogy saját radioaktív hulladékaikat a határaikon belül helyezték



Száraztároló kiégett fűtőelemek számára (Gentyly-2 atomerőmű, Quebec, Kanada)

el. A legtöbb ország épp az ezen előírásoknak való megfelelés érdekében tervezi geológiai tárolóhelyek létesítését. A tervek eddig különböző megvalósulási szintet értek el, ám egyik sem jutott még túl a helyszín kijelölésén, a legtöbb esetben pedig még odáig sem. A folyamatban az USA jár az élen a konkrét tárolóhelyek koordinátáinak kijelölésével (Yucca-hegység, Nevada). E helyszín jelenleg kutatás alatt áll, de a konkrét terveknek erős ellenzéke van.

Minden radioaktív hulladéktároló tervezésekor az a cél, hogy minimalizálják, illetve lehetetlenné tegyék a hulladék bioszférával, illetve vízzel való érintkezésének lehetőségét. Az előbbire nyilvánvalóan azért van szükség, hogy a sugárzás ne okozzon kárt az élő kör-

nyezetben, a víztől pedig azért kell távol tartani, hogy a sugárzó anyagok a vízben oldódva ne váljanak mobilissá, és a felszín alatti vízzel együtt áramolva ne kerüljenek be az ivóvizekbe, esetleg a felszíni vizekbe. Ezt egyrészt műszaki gátakkal (a hulladék csomagolásával, a tároló szigetelésével, hézagainak térkitöltésével), másrészt természetes gátakkal (így felszín alatti víztől való nagyobb távolsággal, a tároló vizet kevésbé vezető rétegben, illetve tektonikailag inaktív, vagyis földrengésmentes területen való kialakításával) próbálják kiküszöbölni. Ezeknek a feltételeknek elméletileg három típusú kőzet felel meg: a kristályos kőzetek (pl. gránit), az agyagos formációk és a sókőzetek. A hulladéktárolás céljára legmegfelelőbbnek tartott kőzetek országonként változnak, érdekes módon annak függvényében, hogy az adott országban mely típusú kőzet található. A Skandináv országokban a gránitra esküsznek, mivel ott sok a gránit. Belgiumban nincs gránit, így az ottani "kedvenc" az agyag. A németek szerint a legjobb sóban tárolni. Valójában erre vonatkozó tudományosan megalapozott nézet nem létezik. Általában az a jó, ami helyben van és olcsó.

Mindegyik kőzet használatának vannak előnyei és hátrányai. A kristályos kőzetek például jók abból a szempontból, hogy sokszor tektonikailag szilárd alapokon helyezkednek el, stabilak, és a víz is kevésbé tudja átjárni őket. Ez azonban nem mindig van így (Magyarország esetében sem), a kristályos kőzetek is gyakran kerülhetnek tektonikailag aktív zónába, ilyenkor megrepednek, ami rontja a vízállóságukat és a szivárgásmentességüket. Az agyagos kőzet előnye a kis vízvezető-képesség, de a különböző agyagoknak nagyon eltérőek lehetnek a tulajdonságaik. Nyomás alatt például egyes agyagfajták könnyen repednek, szabad utat engedve a víz áramlásá-

nak. A só egyik előnye az, hogy képlékeny, így a benne keletkező repedések önmaguktól "összefonak", valamint könnyű bányászni. Veszélyt jelenthet azonban az, hogy a só, mivel nagyon könnyű kristály, gyakran a körülötte lévő kőzetek fölé emelkedik. Ezáltal a tároló is a felszín közelébe kerül, és mivel a só nemcsak könnyű, de puha kőzet is, könnyen erodálódik, így már nem nyújt védelmet a tároló számára. Mindezeket túl a só az emberek számára fontos nyersanyag, nem lehet tudni, hogy néhány évszázad múlva nem kezdenek-e majd épp azon a helyen bányászni, ahová elődeik a radioaktív hulladékot temették.

Habár jelenleg ez a legelfogadottabb módszer, a geológiai képződményekbe való temetéssel több probléma is adódik, elsősorban abból a két tényből kifolyólag, hogy a nagy aktivitású hulladékok rendkívüli mértékben és hosszú ideig sugároznak. Így nemcsak a megfelelő elszigetelés problémáját kell megoldani, hanem azt is, hogy ez a szigetelés elég hosszú ideig kitarson. Márpedig ez szinte lehetetlen, hiszen a nagy aktivitású hulladékok esetében nem tíz vagy száz, esetleg ezer évekről beszélünk, hanem több százézeréről. Ilyen távlatokban igen nehéz tervezni. Nem tudjuk, hogy a tárolóedény, annak anyaga, szerkezete mennyire áll ellen az idő vasfogának, a fűtőelemekből érkező folyamatos erős sugárzásnak és az idők során keletkező egyéb külső hatásoknak. Nem tudjuk, hogy a felszín alatti víz szintje hogyan fog változni az évek során: valóban olyan mélységben marad-e, mint a tároló létesítésekor volt (valószínűleg nem). És nem tudjuk azt sem, hogy az a geológiai formáció, amibe a hulladékot temették, mennyire marad stabil ennyi idő alatt (hiszen az, hogy eddig stabil volt, nem jelenti azt, hogy a jövőben is az marad). Ha a tároló helyét egy folyamatosan kiemelkedő területre tervezik - mint ahogy a Me-

cesk is az -, akkor a fokozott erózió miatt, ami a kiemelkedő területekre jellemző, a tároló könnyen a felszín közelébe kerül. Képzeliük csak el, hogy ha a kiemelkedés mértéke 1 cm/év, akkor a terület 100.000 év alatt 1 kilométerrel lesz magasabb!

A telephelyre alkalmas képződmények kiválasztásánál számos helyen úgynevezett föld alatti laboratóriumokat létesítettek, melyekben több éven, esetleg évtizedeken át tanulmányozták a tároló kőzet biztonsági szempontból fontos tulajdonságait. A nagy aktivitású hulladékok több százézer évre előirányzott tárolási idejét nézve még ez is igen rövid mérési időtartam, a fő kifogás tehát ezekkel a kutatásokkal kapcsolatban az, hogy néhány évtizedes mérések eredményeit nem lehet százézer évekre előre vetíteni.

A mélygeológiai formációba való temetés azt is jelenti, hogy a hulladék a tároló lezárása után már nem hozzáférhető (ha esetleg valami probléma adódik vele, nem lehet máshová helyezni), valamint azt is, hogy igen nehéz a környezetre gyakorolt hatásait monitorozni, figyelemmel kísélni. És végül említettük már az információátadás problémáját: ki tudja, meddig tudjuk megőrizni az utódok tudatában azt, hogy pontosan hova és milyen mélyre ástuk szemetünket.

Ha egy ország mélységi radioaktív hulladéktárolót akar létesíteni, akkor elsősorban a geológiai vizsgálatokra kell (kellene) alapoznia döntését. Ez azonban nem mindig van így, hiszen a politikai megfontolások sokszor sokkal nagyobb szerepet játszanak.

Néhány országban felvetődik az a probléma is, hogy kis méretű, vagy nem megfelelő adottságai miatt nincs lehetőségük geológiai tárolóhely kialakítására. Japán, Hollandia és Bulgária is e sorba tartozik. Ez a probléma, kiegészülve a hatalmas pénzügyi teherrel, amely a független nem-



Repedezett kristályos kőzet (Mirror Lake, New Hampshire)



Sódóm (Verde Valley, Arizona)

zeti tárolók kialakításával jár, nemzetközi avagy regionális tárolók létrehozására szóló ajánlatte-
lekhez vezetett. Bár ez a megoldás nem csök-
kenti a nagy hulladéktermelők kötelezettségét
saját elhelyezési módszerek kidolgozására - mint
az USA, Oroszország, Franciaország, Németor-
szág és Nagy-Britannia eseté-

ben -, egyesek szerint ideális megoldás lenne a kelet-európai és a volt Szovjetunió országai számára. E felfogás szerint egyetlen közös helyen könnyebb megoldani a tárolást, és a tárolási költségeket is meg lehetne osztani az egyes országok között. Ez a technológia egyide-
jűleg világszerte lecsökkentené a hosszú távú ellenőrzésre szoruló helyszínek számát. Az ilyen jellegű kooperatív projektekkel járó politikai bonyodalmak azonban a megegyezést pusztán elvi szintre szorították. Ez alól egyetlen kivétel a Pangea cég ajánlata nemzetközi lerakóhely létesítésére Ausztráliában. Ám az ausztrál kormány elutasítja a tárgyalásokat, mivel törvényeik alapján tilos a nukleáris hulladékok importja. Hozzá kell tenni, hogy ebben nagy szerepe volt az ausztrál zöld szervezeteknek és az őslakosok érdekvédelmi csoportja-
nak is.

Oroszország tervei között is szerepel egy regi-
onális hulladéklerakó lehetősége: az Atomügyi
Minisztérium (Minatom) tervei szerint a közép-
szibériai Krasznojarszk térségében 2020-ra
megépül egy monumentális tároló (itt egyéb-
ként létezik már egy kisebb), amely sokezer



**A Minatom épülete
Moszkvában**

tonnányi nukleáris hulladék befogadására lenne képes - természetesen külföldről is. Habár az ott uralkodó állapotok eleve megkérdőjelezik egy központi hulladéklerakó lehetőségét, és a szállítások is csak tovább fokoznák az üzem szennyező és veszélyes voltát, a Minatom abban hisz, hogy a jövőben Oroszország a krasznojarszki térség lehet a nukleáris hulladék-feldolgozás és -elhelyezés fellegvára.

Ez azonban az EU országait tekintve valószínűleg nehézségekbe fog ütközni, mivel az orosz tárolók és újrafeldolgozó üzemek nem felelnek meg az EU kívánalmainak. Egyébként az EU szabályozása mostanáig úgy szól, hogy a biztonságos elhelyezést a kiszállítónak a célországban is szavatolnia kell. A nukleáris iparnak egyéb próbálkozásai is vannak a politikai megfontolásból létesítendő tárolókat illetően. Lehetőségként felmerült lerakóhelyek létesítése a már sugárszennyezett - pél-

dául atomfegyver-kísérletekre használt - területeken; ilyen lehetne a Nevada állambeli Yucca-hegység az Egyesült Államokban. (A Yucca-hegység a Nevadai Atomkísérleti Telep területén található, ahol az Egyesült Államok és Nagy-Britannia összesen 948 föld alatti és feletti kísérleti atomrobbantást hajtott végre.)

Egy lehetséges lerakóhely keresésekor szempontként szerepelhet továbbá az adott régió magas munkanélküliségi rátája. Ez volt a helyzet a tervezett Wackersdorf-i (Bajorország) újrafeldolgozó telepítésének tervezésekor is. Németországban itt a legalacsonyabbak a jövedelmek, a munkanélküliség pedig a legmagasabb. A svájci nukleáris hulladék-lerakó projekt szintén olyan régiót célozott meg (Wellenberg), ahol meglehetősen alacsonyak a jövedelmek.

Újabb szempont lehet, hogy országhatár közelében létesítsenek telephelyet. E stratégia egyik ékes példája Gorleben, ami utólag nagyon ostoba hozzáállást tükröz, mivel a volt

kelet-német határ most az ország közepén húzódik. A spanyolországi Salamancára a portugál határ közelsége miatt esett a választás.

Végül pedig létezik a késleltetett megoldás lehetősége, amelyet Nagy-Britanniában alkalmaznak. A hivatalos politika olvasata közérthetően így hangzik: "Igen, sajnos ezt a problémát jelenleg nem tudjuk megoldani, de a tudomány fejlődik, várjuk meg, hátha történik valami az elkövetkezendő ötven évben. Az unokáinknak esetleg lesznek jó ötleteik..."

Képtelen elképzelések

A nagy aktivitású hulladékokat illetően nem csak szárazföldi geológiai képződmények merültek fel lehetséges tárolóként. Egyes elgondolások szerint a tenger mélye éppen a megfelelő hely a fűtőelemek számára - ez azonban inkább csak a "szem elől való eltüntetés" stratégiájának tűnik, a problémát nem orvosolja.

Az egyik megoldás szerint a radioaktív hulladékot "egyszerűen" a mélytengeri üledékben helyeznék el. Ez azonban nemcsak meglehetősen költséges és fizikailag nehezen kivitelezhető módszer, de veszélyes is. Egyrészt már a tároló kialakítása is nehézségekbe ütközhet, hiszen több száz illetve ezer méter nagynyomású vízoszlop alatt kellene dolgozni, és a konténereket is úgy kellene kialakítani, hogy ezt a nagy nyomást évezredekig kibírják. Tovább nehezítené a helyzetet, hogy a tengerfenéki üledékben olyan mélyre kellene fújni, ahová a tenger vize már nem jut le, nehogy érintkezésbe lépjen az erősen sugárzó hulladékokkal. Ha sikerülne is egy ilyen tároló létrehozása, a radioaktív anyag szállítása és mélybe juttatása akkor is újabb rizikófaktor lenne. A Föld országai közül Kína fontolgatta, hogy a tengerbe dobják a hulladékot, de a Londoni Hulladéklerakási Egyezmény ezt a megoldást megtiltotta, mint ahogyan azt is, hogy mélytengeri tárolókat hozzanak létre.

A krasznojarszki földalatti nukleáris feldolgozót és lerakót - amely a legnagyobb a világon - az elképzelhető legrimitívabb eljárással Sztálin közvetlen parancsára 1950-ben kezdte el "ásni" 65 ezer Gulag-lakó. A nukleáris labirintus 250-300 m mélyen van a föld felszíne alatt, s korábban három plutónium előállító reaktor és egy reprocesszáló üzem működött benne. A reaktorok közül kettőt 1992-ben leállítottak. Nem messze a földalatti komplexumtól 1985-ben üzembe helyeztek egy újabb reprocesszáló üzemet. Ehhez tartozik egy kis és közepes aktivitású hulladékokat befogadó tároló is. Krasznojarszk története is számos balesettel, ökológiai katasztrófával bővelkedik.



Krasznojarszk, Oroszország



A yucca-hegységi tervezett lerakóhely

A másik elgondolás, ha lehet, még merészebb. Eszerint a kiegészített fűtőelemeket nem pusztán a tengerfenék üledékében helyeznék el, hanem az úgynevezett szubdukciós zónákban. Ezek azok a helyek, ahol az óceáni lemez egy másik óceáni, vagy egy kontinentális lemezzel találkozik, majd alábukik. Úgy gondolták, a tektonikus erők majd maguk alá gyűrik a nukleáris szemetet, ami aztán elvegyül a magma olvasztó bugyrában. Ez azonban az előző megoldásnál ismertetteken kívül egyéb veszélyeket is hordoz magában. Egyrészt a szubdukciós zónák tektonikailag igen aktív területek, itt a kőzetek össze-vissza tömre és gyűrődnek, ezért nem lennének alkalmasak egy stabil tárolóhely kialakítására. Másrészt ezeken a helyeken mélytengeri árkok alakulnak ki (tehát az áthidalandó vízoszlop is jóval magasabb), ahol előszere-



Szubdukciós zóna*

* (Continental crust: kontinentális kéreg; magma generation: magma képződés; oceanic crust: óceáni kéreg; oceanic plate: óceáni lemez; sea level: tengerszint; trench: árok; volcano: vulkán)

sugárzó anyag tonnái szóródnának szét a levegőben, és borítanák be a környezetet.

Femerült még a sarki jégsapkákba való elhelyezés is. E koncepció szerint a fűtőelemek által termelt hő megolvastaná a jeget, így a hulladék folyamatosan süllyedne bele a jégsapkába, mígnem egy-egy olyan mélyre kerülne, ahol már nem veszélyeztetni környezetét. Figyelembe véve azonban a jelenkori éghajlatváltozást, a jégsapkák kiterjedésének folyamatos csökkenését, beláthatjuk, hogy ez az elhelyezés mód is meglehetősen kockázatos, előfordulhat, hogy a viszonylagos közeljövőben a sugárzó anyag belekerülne a tengerbe (ne feledjük, hogy a kiegészített fűtőelemek több százezer évig is radioaktívak maradnak!).

Kezelési technológiák

A nagy aktivitású hulladékok kezelésekor nem csak a végleges elhelyezés kérdését kell megvizsgálni, hanem más módszereket is. Ilyenek a konkrét technikai kezelések. Egyike ezeknek a kiegészített fűtőelemek reprocesszálása, azaz újrafeldolgozása, melyet Oroszországon kívül többek között Franciaország, Japán és Nagy-Britannia is alkalmaz. Ez az eljárás azonban - mint már az előző fejezetben is említettük - csak tovább növeli a környezeti problémákat, mivel a reprocesszálás során újabb nagy mennyiségű nagy aktivitású radioaktív hulladék termelődik, és így semmivel sem juttat előbbre a probléma megoldásában. Továbbá az újrafeldolgozás során a plutóniumot is kinyerik az elhasznált fűtőelemekből, ennek nagy részét később a nukleáris fegyverek gyártásánál használják fel, és ezzel igazoltan tovább növelik a radioaktív hulladékok tömegét. Arról nem is be-

szérlve, hogy mind a franciaországi Le Hague, mind a nagy-britanniai Sellafield reprocesszáló üzem nagy mennyiségű sugárzó folyékony hulladékot bocsát ki a tengerbe.

A nagy aktivitású hulladékok kezelésének egy újabb elméleti módja az erre szakosodott tudósok szerint az úgynevezett transzmutáció. Habár ezen eljárást tanulmányozzák az USA-ban, Japánban és Franciaországban, még mindig igen csak hihetetlennek és kivitelezhetetlennek tűnik. A technológia lényege és célja, hogy a hosszú felezési idejű radioaktív izotópokat neutron besugárással rövid élettartamúvá változtassák. A folyamat azonban még a reprocesszálásnál is bonyolultabb. A kiindulás éppen maga a reprocesszálásból visszamaradt sugárzó anyag - tehát a transzmutáció első lépése a nem kevésbé összetett újrafeldolgozás -, és ez legalább hatféle radionuklidot tartalmaz. Ezeket a radionuklidokat szét



Synroc minta

kell egymástól választani (ez az úgynevezett particionálás) és minden egyes radionukliddal külön kell foglalkozni, mert mindegyik átalakítása speciális radiokémiai alfolymatot igényel (a transzmutáció folyamatán többször is végig kell menni, hogy a különféle izotópokat egyesével átalakítsák). Tehát ez nem csak hogy bonyolult, de mindeztől kezdve kivitelezhetetlen módszer is, ugyanis a gyakorlatban még egyszer sem sikerült alkalmazni. Továbbá ahhoz, hogy ne legyen szükség geológiai elhelyezésre (amiért végülis az egészet kitalálták), a transzmutációnak legalább 99%-ban teljesnek kell lennie. Ha nem az, akkor maradnak olyan radioaktív izotópokat tartalmazó hulladékaink, amelyekkel más módon kell megbirkóznunk. Hozzá tartozik a dologhoz, hogy minden radiokémiai alfolymat során másodlagos

hulladék keletkezik, ami veszélyes anyagokat tartalmaz, ezért kezelést igényel.

A gyakorlati megvalósítást azonban nem csak a technológia kiforratlansága akadályozza, hanem a hozzá kapcsolódó hatalmas költségek is. Ugyancsak akadály annak a kérdésnek a megválaszolatlansága és politikai súlya, hogy vajon melyik ország területén épüljön fel a transzmutálásra képes reaktor (arra ugyanis már rájöttek, hogy gazdaságilag mindössze egyetlen egyet éri meg építeni az egész világon). Mindehhez hozzá tartozik, hogy e megoldás esetén újfent kis és közepes aktivitású hulladék keletkezik nagy mennyiségben, de ha az eljárás nem teljes (tehát nem foglalkoznak az összes radionuklid átalakításával), akkor nagy aktivitású hulladék is visszamarad, amivel kapcsolatban felmerül a régi kérdés: "hova tegyük?".

Egy Ausztráliában kifejlesztett hulladék rögzítési technológia márkaneve a Synroc. Lényegében abból áll, hogy összekeverik a hulladékot egy ásványi oldattal, mely megköti a radionuklidokat az anyag kristályaiban (hasonlít a vitrifikációhoz, azaz üvegesítéshez, amit a reprocesszálás során keletkező radioaktív folyadékok szilárdításakor alkalmaznak). Habár a módszer eredményességét kereskedelmi mennyiségben még nem sikerült bizonyítani, az USA-ban további teszteleseknek vetik alá. Bizonyosra vehető, hogy önmagában az eljárás nem jelent megoldást, de talán más módszerekkel együtt növelhetné a biztonságot.

Legújabbban a biológiai lebontás lehetőségét is kutatják: olyan, sugárással szemben ellenálló baktériumokat vizsgálnak, amelyek bizonyos radionuklidokat átalakítanak kevésbé veszélyes, vagy rövidebb felezési idejű izotóppá.

6. FINANSZÍROZÁS

Az atomerőművekben keletkezett radioaktív hulladékok kezelésének finanszírozása minden nukleáris energiát előállító országban kérdéses, mert igazán nagy költségeket csak hosszú idő elteltével okoz, s ennek fedezetét még az üzemeltetés során kell(ene) megteremteni. A dolog azért is problémás, mert egy nukleáris létesítmény üzembe állításakor, vagy akár még a működése alatt is, szinte lehetetlen meghatározni azt a pontos összeget, amely majdan a hulladékok kezelésekor felmerülő tényleges költségeket hivatott fedezni. Ez jelenleg különösen a nagy aktivitású hulladékok esetében igaz, hiszen a világon még sehol nem épült ezek végleges elhelyezésére szolgáló lerakóhely, így még semmilyen példa vagy tapasztalat nem áll rendelkezésre arra nézvést, hogy ez vajon mennyibe is fog kerülni.

Az USA-beli Yucca-hegységben (Nevada) tervezik megépíteni a világ első nagy aktivitású hulladék lerakóját. Annak ellenére, hogy még rengeteg vita van körülötte és a helyszín a földtani szakértők szerint nem alkalmas ilyen célra, a projektek eddig 7 milliárd dollárt (közel 1300 milliárd forint) költöttek! Egyes becslések szerint, ha megépül a tároló, a végösszeg el fogja érni a 60-100 milliárd dollárt.

A nyugat-európai és észak-amerikai engedélyezési megállapodások szerint egy atomerőmű működtetőjének vagy tulajdonosának egy meghatározott összeget folyamatosan félre kell tennie a nukleáris létesítmény felszámolásának és a hulladék elhelyezésének céljára. Az alapok nagysága és gazdasági függetlenségének mértéke azonban változó. Még azokban a rendszerekben is, ahol már a kezdetektől világos felszámolási stratégiát igényeltek, előfordulhat, hogy az alacsonyabb termelési kapacitás vagy a tervezettnél rövidebb élettartam miatt nem lehet a felszámolás teljes költségét fedezni az előzetesen kiszámított bevételekből és az annak megfelelő befizetésekből. Azon túl, hogy a nukleáris alapok sem nyújta-

nak megnyugtató megoldást, problémát jelent az is, hogy számos országban - köztük Magyarországon - már az erőmű beindításától kezdve nem tettek félre alapot a felszámolásra és a hulladék-elhelyezésre, sőt, vannak országok, ahol még most sem képeznek ilyeneket. Legfőbb ideje tehát, hogy minden nukleáris energiát alkalmazó országban elkezdődjön az alapok képzése - ez némileg közelebb vinné az atomenergia árát a valósághoz, habár számos más körülmény is torzítja azt -, különben a költségek nagy részét a jövő nemzedékeknek kell majd előteremtenie.

A nukleáris alapok rossz készülségi szintje vagy nem megléte nem szolgáltatja érvet az atomipar azon törekvésére, hogy reaktorait az eredetileg tervezett élettartamnál tovább működtesse, vagy hogy még rossz biztonsági mutatóik esetén se állítsák le őket.

Központi Nukleáris Pénzügyi Alap (KNPA)

Magyarországon az Atomtörvény VI. fejezetének értelmében 1998. január 1-jei hatállyal létrehozták a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapot (KNPA) - 16 évvel az első reaktor beindítása után! -, amelyet az atomenergiát alkal-

mazó létesítmények befizetései tartanak fenn (a bevételek közel 95%-a a Paksi Atomerőműtől származik). Az Alap célja a radioaktív hulladékok végleges elhelyezésének, a kiégett fűtőelemek ideiglenes tárolásának és végső elhelyezésének, valamint a nukleáris létesítmények végleges leállításának, leszerelésének, majd végső elhelyezésének finanszírozása. A nukleáris létesítmények üzemeltetőinek tehát a tényleges üzemidő alatt kell felhalmozni a pénzeszközöket a fenti költségek fedezésére. Az éves befizetések mértékét a költségvetési törvényben a Parlament határozza meg. A radioaktív hulladékot előállító egyéb létesítmények (kórházak, laboratóriumok) esetenként szintén fizetnek hulladékaik elhelyezéséért.

A KNPA pénzeszközeit a kincstár egységes számlán, elkülönítetten tartja nyilván, értékállóságát a kormány garantálja - azaz évente a jegybanki alapkamat előző évi átlagával számított összeggel növeli. Azt azonban fontos megjegyezni, hogy ezen a számlán a pénz csak virtuálisan létezik (úgy, mint egy hagyományos bankszámlán), és nem gyűlik össze egy óriási

malacperselyben. Azaz, ezt a pénzt az Állam használja, és csak annyit ad belőle a Radioaktív Hulladékkezelőnek, amennyire abban az évben szükség van (egyebek mellett kutatásokra, vagy az RHK működtetésére). Ebből következik, hogy akkor jönnek majd a gondok csak igazán, amikor a nagy költségek jelentkeznek. Ez pedig az üzemidő lejártá után, a nagyaktivitású hulladékok elhelyezésére szolgáló lerakó megépítésekor és üzemeltetésekor, valamint az atomerőmű leszerelésekor történik meg. Ekkor az Államnak egyszerre igen nagy összeget kell majd erre a célra kiutálnia - elvileg a KNPA számlájáról, de gyakorlatilag majd az akkori költségvetésből. Kérdés, hogy rendelkezésre áll-e majd a megfelelő időben ekkora pénzügyi összeg.

1998 és 2004 között (hét év alatt) hozzávetőleg 65 milliárd forint gyűlt össze az Alapban (ez az addigi bevételek és kiadások különbségét jelenti, amely a további évek feladatainak finanszírozására felhasználható összeg). Egy 1993-ban elkészített, majd 1997-ben módosított előtanulmány szerint a paksi atomerőmű le-

A Paksi Atomerőmű leszerelési előtanulmánya

	Azonnali leszerelés	Bontás, reaktor elzárás, őrzés, leszerelés			Csak a nem nukleáris részek bontása, őrzés, leszerelés
		őrzés 50 évig	őrzés 70 évig	őrzés 100 évig	
A leszerelés időtartama	22 év	69,5 év	89,5 év	119,5 év	89 év
Bontási költség a radioaktív hulladékok elhelyezése és a KKÁT bontása nélkül (Ft)	118,8 milliárd	119,1 milliárd	118,9 milliárd	119,5 milliárd	135,4 milliárd
Kis- és közepes aktivitású hulladék elhelyezési költsége (Ft)	11,6 milliárd	11,7 milliárd	11,7 milliárd	11,7 milliárd	6,1 milliárd
Nagy aktivitású hulladék elhelyezési költsége (Ft)	111,7 milliárd	57,6 milliárd	35 milliárd	32,7 milliárd	37 milliárd
A KKÁT felszámolási költsége (Ft)	4,6 milliárd	4,6 milliárd	4,6 milliárd	4,6 milliárd	4,6 milliárd
Összes költség (Ft)	246,7 milliárd	193 milliárd	170,2 milliárd	168,5 milliárd	183,1 milliárd

szerelési és a leszerelés hulladékainak elhelyezési költségei legalább 170, de akár 240 milliárd forint - attól függően, hogy melyik leszerelési stratégiát alkalmazzák (ld. táblázat) -, és ez nem foglalja magában a működése során keletkező hulladékok kezelését/elhelyezését, a kiégett fűtőelemek ideiglenes és végleges tárolását, illetve ezen tárolóhelységek üzemeltetését. Könnyen kiszámítható, hogy ennyi pénz az eredetileg tervezett üzemidő lejártáig (2017) nem fog összegyűlni.

És egy még meglehetősen rossz adat az Országos Atomenergia Hivataltól: ha minden várható költséget figyelembe veszünk, amelyet a KNPA-nak kell finanszíroznia (kutatási, létesítési, üzemeltetési, lebontási és egyéb költségek), akkor az üzemidő végéig 840 milliárd(!) forintnak kellene összegyűlnie az Alapban (2003. évi bázisáron számolva). Ez azt jelenti, hogy az Alap fennállásának kezdete és az üzemidő lejáta közötti húsz év alatt a Paksi Atomerőműnek évente 42 milliárd forintot kellene befizetnie az Alapba. Ezzel szemben az elmúlt években átlagosan mindössze évi 14 milliárd forintot fizettek be.

Az a tény, hogy a befizetések összege nem lesz elegendő a kiadások finanszírozására újabb - nyíltan ki nem mondott - okot fog szolgáltatni az atompártiak számára, hogy az erőmű létezését meghosszabbítsák. Pedig a megoldás az lenne, hogy olyan évenként befizetendő összeget állapítsanak meg az atomerőmű számára, amely elegendő lenne az üzemidő lejártakor az összes felmerülő költségek kezelésére. Ebben az esetben - hiszen ezek a költségek beleépülnének az atomenergia árába - máris realisabb képet mutatna az ár, és az erőmű sem reklámozhatná úgy magát, mint a magyarországi legolcsóbb energia előállítója.



Nukleáris hulladék lerakók ellen szerte a világban tüntetnek (USA, Dél-Korea)



7. A RADIOAKTÍV HULLADÉK ELHELYEZÉS ETIKAI KÉRDÉSEI ÉS TÁRSADALMI MEGÍTÉLÉSE

Abban, hogy a nukleáris energia a társadalom élénk tiltakozását váltotta ki, többek között nagy szerepet játszott a 19-20. században végbement technológiai fejlődés. Ennek eredményeképpen a kockázat eddig ismeretlen, új dimenziói kerültek előtérbe, amely már társadalmi szinten is témává lépett elő. Az 1950-es és az azt követő évek társadalmában alapvető fordulatot hozott az atomenergia és más ökológiai veszélyek felbukkanása (így például a géntechnológia). Az eddig - mind társadalmi, mind gazdasági szinten - fő értéknek tekintett biztonságot új, ismeretlen veszélyek, és az ebből fakadó bizonytalanság váltottak fel. Hiroshima, Nagaszaki, Csernobil még ma is élénken foglalkoztatja az emberek fantáziáját, s hatása a tiltakozó mozgalmak történetében jól kimutatható.

Csak olaj a tűzre, hogy gyakran a szakértők között is kialakultak véleménykülönbségek. Az érintettekben egyre gyakrabban merült fel a kérdés: hol húzódik a tudomány határa?

Másrészről az emberek könnyen hajlanak az atomerőművek elfogadására, mert az valamit termel, javakhoz (elektromos áramhoz) juttatja őket, ezenkívül behatárolt időtartamról van csak szó, harminc, rosszabb esetben negyven, esetleg ötven évről.

A radioaktív hulladéktelepek ügye azonban már merőben más. Először is a hulladék, az tulajdonképpen szemét. Negatív érzések kapcsolódnak hozzá, senkinek nem kell, nincs rá szükség. Ezen kívül rendkívüli mértékben és elképesztően hosszú ideig veszélyes. Kis és közepes aktivitású hulladékok esetében ez évszázadokat jelent, míg nagy aktivitásúaknál százezer éveket, mely idő alatt ez az anyag folyamatosan radioaktív és mindenképpen veszélyt jelent. Egy legújabb Uniós felmérés szerint az európai lakosok háromnegyedét aggasztja a nukleáris hulladékok ügye.

Éppen ezért több etikai, illetve társadalmi kér-

dés is megfogalmazódik a radioaktív hulladékok elhelyezését illetően.

Először is a klasszikus "Hová tegyük?" kérdés merül fel, amelyre nem kizárólag a terület geológiai adottságai és a műszaki megoldások fognak felelni. Egy demokratikus társadalomban figyelembe kell venni az érintett lakosság véleményét is. Nukleáris hulladék lerakó tervezésekor a kutatók gyakran ütköznek az úgynevezett NIMBY hozzáállásba (NIMBY: "Not In My Back Yard!", azaz "Ne az én kertembe!"). Ez azt jelenti, hogy az emberek nem akarnak ilyen jellegű létesítményt a lakóhelyük közelébe (ami, valljuk be, érthető). Ebből is látható, hogy annak ellenére, hogy a világon még sokan egyetértenek az atomerőművek működésével, valójában nem gondolnak bele a következményeibe, és ha a saját bőrükön kell megtapasztalniuk azokat, akkor rájönnek, hogy az egész nem csak az atomerőművek működéséről szól.

Van úgy, hogy az elhelyezésre irányuló kutatások már egy eleve elmaradott régiót tűznek ki célpontul. Itt pénzbeli juttatásokkal, a munka-

nélküliség csökkentésével lehet a lakosságot "rábeszélni" arra, hogy a lerakóhely azon a területen épüljön meg. Sőt, olyan extrém eset is előfordult - az USA-ban, a Yucca-hegységi tároló esetében -, hogy a lerakót egy őslakosok által birtokolt területre tervezték. A Yucca-hegység egy bennszülött törzs területén húzódik végig, akik úgy tartják, hogy egy 19. századi szerződés értelmében a lerakónak szánt föld az ő birtokuk, s így senki másnak nincs joga fölötte rendelkezni. Bár több atomlobbista állítja, hogy a törzs tagjai egyetértenek a tárolóhely létesítésével, el lehet gondolkodni rajta, hogy ha ez igaz is, vajon mennyire volt nehéz ezt az elmaradott, sok tekintetben még mindig elnyomott és szegény csoportot "meggyőzni" arról, hogy ez a helyes megoldás. Könnyű belátni, hogy ez sem az erkölcsileg elfogadható kategóriába tartozik.

Az etikátlanság netovábbja, amikor olyan helyre terveznek nukleáris hulladéklerakót, amely a szakértők szerint sok szempontból igen veszélyes, ám a döntéshozásban résztvevők, akik egyáltalán nem szakemberek, mégis megszavazzák a hulladékátaló létesítését. Ez szintén a már említett USA-beli Yucca-hegység esetében történt, ahová kiégett fűtőelemeket akarnak véglegesen elhelyezni. A terület földtanilag igen instabil, nem kevesebb, mint 33 törésvonal fut rajta végig. Vulkanai kúpok is színesítik a régió geológiáját, melyeknek az elmúlt 20 000 év alatt voltak aktív periódusai - ez az idő csak egy része annak a több százezer évnél, ameddig a nagyaktivitású radioaktív hulladékok, azaz a kiégett fűtőelemek sugároznak. A tudósok arra is bizonyítékot találtak, hogy a felszín alatti víz az elmúlt években többször is megemelkedett és elérte a tárolásra kijelölt mélységet. Ha ez csak egyszer történe meg azalatt az idő alatt, amíg a hulladék ott pihen, nemcsak a környék ivóvízbázisát szennyez-

né el, hanem egy idő után a radioaktív víz elérné a felszínt, ahol elpárologva nagy veszélynek tenné ki a nyugati országrészben élő lakosságot. Mindezek a tények sem tántorították vissza a honatyákat, különösen G. W. Bush elnököt, hogy áldását adja a lerakóhely megépülésére. Szerencsére ezt a határozatot Nevada állam és több környezetvédelmi és társadalmi szervezet bírósági úton megtámadta, és nagy fölényrel meg is nyerték az ügyet. Persze ez sajnos még nem téríti el a nukleáris ipart terve véghezviteltől, most a megvalósításhoz újabb utakat keres. További dilemmát okozhat a jövő nemzedékek érintettsége. Bár a radioaktív anyagok jelenlétének következményeit ők is viselik (sőt, lehet, hogy jobban, mint mi), még sincs semmilyen beleszólásuk abba, hogy mi legyen a hulladékkal, milyen technikai megoldásokat alkalmazunk, eltemessük-e, s ha igen, akkor hová. Már többször szóltunk arról a problémáról, hogy az információ átadását sem könnyű, sőt, szinte lehetetlen megoldani több száz (kis és közepes aktivitású hulladékok esetében), különösen több százezer évig (nagy aktivitású hulladékoknál), így utódaink többszörös veszélynek vannak kitéve. Komoly kétségeket vet fel a más országban való hulladék elhelyezés kérdése is. Van-e jogunk ahhoz, hogy a saját szemetünktől megszabadulva más országok népeit veszélyeztessük, esetenként csak azért, mert az az ország rá van szorulva az elhelyezésért kapott pénzre. Egy regionális - több ország hulladékát befogadó - tároló helyszínének kiválasztása minden esetben olyan aránytalan mérlegelés eredménye lenne, amely nem biztonsági, hanem kizárólag politikai és gazdasági szempontokat venne figyelembe. Egyetlenegy atomenergiát előállító és használó országnak sincs joga ahhoz, hogy pusztán a technológia előnyeiben részesüljön, és ne kelljen szembenéznie a negatív következményeivel,



sőt, egy másik ország lakosait kényszerítse ebbe a helyzetbe. Hozzá tartozik, hogy az esetleges befogadó országban a döntést általában nem azok hozzák - és nem is azok profitálnak belőle -, akik a tervezett lerakó környékén élnek. Nemcsak a hulladék elhelyezése, hanem a szállítása kapcsán is merülnek fel problémák. Ha a lerakóhely (vagy újra-feldolgozó üzem) történetesen egy másik országban van, az erősen sugárzó hulladékot igen kockázatos több országon keresztül szállítani. Vajon mit éreznénk, ha egy ál-



talunk megtermelt radioaktív hulladékot szállító tehervonat balesetet szenvedne, esetleg terroristámadás érné egy olyan országban, aminek semmi köze nincs az atomenergiához? Vagy épp fordítva: a mi országunkon csak áthaladó szállítmánnyal történe baleset? Semmiképpen nem kényszeríthetünk bele egy, esetleg több országot olyan helyzetbe, amiből neki csak kára származhat, haszna nem.

A hulladéktárolásra vonatkozó széleskörű társadalmi konszenzus elérése érdekében tett próbálkozások tapasztalatai vegyesek. Németországban az egyeztető tárgyalások azért jutottak zsákutcába, mert nincs kialakult elképzelés arról, hogy tulajdonképpen kinek is kellene kivel, milyen módon és mely kérdésekben konszenzusra jutnia. Az atomenergiához való eltérő hozzáállás is problémát jelent a hulladékkal kapcsolatos megegyezés elérésében. Számos országban a nukleáris hulladék tárolásának helyére és mikéntjére vonatkozó döntés nyomán rövid időn belül nyilvános vita alakult ki az atomenergia használatának létjogosultságáról. Néhány esetben ez a hulladéktárolás ügyének elakadását eredményezte.

Egy fűtőelemeket szállító vonat kisiklott Németországban



Kanadában például egy független bizottságot hoztak létre a hulladékkérdés vizsgálatára, mert új atomreaktorok építésekor a hulladéktároló helyszín kiválasztása és kialakítása igen fontos kérdés. Bárkinek, aki tárolási program, vagy tároló berendezés megvalósítása mellett foglal állást, világos és átgondolt érvekkel kell rendelkeznie az atomenergia egészével kapcsolatban is. Így tehát nyilvánvaló, hogy az atomenergia kérdése szerepet játszik minden, a nukleáris hulladék tárolására vonatkozó kérdésben. Kanadában a már említett bizottság által szervezett társadalmi párbeszéd leginkább azért volt sikeres, mert a vita nem ragadt le egy-egy konkrét helyszínnél.

A társadalom, esetleg egy régió lakosságának meggyőzése érdekében a nukleáris ipar "megfelelnek" ezekről a komoly társadalmi és erkölcsi problémákról. Ők csak a gazdasági és társadalmi előnyökről beszélnek. Amikor azonban ezekkel a kérdésekkel szembe találják magukat, érdemi választ sosem adnak rá. Azért, mert akkor be kellene látniuk, hogy egyetlen út vezet a megoldáshoz: a nukleáris energia alkalmazásának beszüntetése.

8. RADIOAKTÍV HULLADÉKOK VILÁGSZERTÉ

Ebben a fejezetben egy kis kitekintést adunk a világ egyes országainak radioaktív hulladék kezelési programjairól, státuszairól, terveiről. Célunk nem a teljességre való törekvés, hanem az, hogy rálátást adjunk a radioaktív hulladékok helyzetéről a világban arról, hol milyen kezelési módszerrel próbálkoznak.

Kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék tárolóból néhány működik a világon - Európában 7 országban épült ilyen. A legtöbb közülük felszíni vagy felszín közeli létesítmény. Ellenben, mint azt már többször hangsúlyoztuk, a nagy aktivitású radioaktív hulladékok számára még sehol nem találtak megfelelő helyet, ilyen tároló a világon sehol nem létezik. A kiégett fűtőelemeket többnyire az atomerőművek közelében, ideiglenes tárolókban helyezik el, és pihentetik mindaddig, amíg nem születik valamilyen megnyugtató megoldás.

Kelet-Közép-Európa nukleáris technológiát használó államai a kiégett fűtőelemeket az akkori Szovjetunióba küldték tárolásra és újrafel-

dolgozásra a 80-as évek végéig. 1993-ban azonban az orosz parlament által megalkotott új környezetvédelmi törvény értelmében a nagy aktivitású hulladékok importját tiltották. Bár a törvényt azóta ismét megváltoztatták, Bulgárián kívül jelenleg egyik volt szocialista ország sem szállítja vissza kiégett fűtőelemeit. Ezen országok jelenleg pénzügyi és technikai segítséget várnak a nyugati országoktól a probléma megoldására, átmeneti tárolókat építenek az egyre növekvő mennyiségű hulladékok rövid távú elhelyezésére, a végső tárolók kialakítására vonatkozó tervek pedig igencsak kezdeti stádiumban vannak. Sajnálatos módon az atomenergia-iparra előírányzott nemzetközi

1993-ig Magyarország is folyamatosan - 1998-ig pedig időszakosan - az oroszországi Cseljabinszkba szállította vissza kiégett fűtőelemeit (összesen közel 300 tonnát), amelyeket a Majak nevű üzemben dolgoztak fel. Egy, a Paksi Atomerőmű és az orosz Atomügyi Minisztérium (Minatom) között kötött megállapodás szerint ennél több hulladékot is befogadott volna az orosz reprocesszáló, erre azonban nem került sor. 2002. februárjában ugyanis az orosz Legfelsőbb Bíróság törvényellenesnek nyilvánította azt az 1998. évi kormányrendeletet, amely engedélyezte, hogy a Paksi Atomerőmű elhasznált fűtőelemeinek feldolgozása során keletkezett hulladék a feldolgozás helyszínén, az oroszországi Cseljabinszkban maradjon. Ezzel együtt tiltotta azt is, hogy azt a maradék hulladékot, amit a szerződés értelmében Majakban dolgoztak volna még fel, az atomerőmű kiszállítsa.

A hatályos előírások szerint a használt nukleáris fűtőanyag feldolgozása során keletkezett atomhulladékot vissza kell szállítani a származási országba. A törvényi tiltás ellenére a Minatom Paks esetében kilobbizott egy speciális engedélyt, amely kivételként megengedte, hogy a magyar atomhulladék Oroszországban maradjon. A magyar erőmű álláspontja ebben az ügyben az, hogy bármi is az orosz bíróság döntése, nem veszi vissza a feldolgozás után maradt hulladékot, mert egyszerűen nem tudja hová helyezni.

Majak a világ talán legnagyobb nukleáris komplexuma. Az Urál ázsiai részén, Moszkvától 1400 km-re keletre, Cseljabinszkban található. Története gigantikus nukleáris katasztrófa, hatalmas környezetszennyezés és világraszóló közegészségügyi botrány.

A szovjet nukleáris programot Sztálin indította el Hiroshima és Nagaszaki amerikai "sikerén" felbuzdulva. Majak e programnak korai és kulcs része volt. A "Majak Kémiai Kombinát" építése 1945 novemberében kezdődött meg. Az első plutónium előállító reaktor 1948-ban kezdte meg működését, és 1949 augusztusában robbantották fel az első szovjet atombombát - majaki plutónium-tartalommal - Sztálin hetvenedik születésnapja alkalmából.

Innentől fogva Majak lett a szovjet fegyverkezéshez szükséges plutónium előállításának és a használt fűtőelemek újrahasznosításának központja. Ennek egyenes következménye lett, hogy a szovjet tervezésű atomerőműveket működtető és használó országokból - melyek természetesen szovjet fűtőelemeket használtak - a kiégett fűtőelemek visszakerültek a Szovjetunióba.

A cseljabinszki komplexum azóta a nukleáris környezeti katasztrófáról, és az ott élő emberek lecsúszó egészségügyi állapotáról vált hírhedtté.

1949 és 56 között Majakból a folyékony radioaktív hulladékokat egyenesen a Tyecsa folyóba engedték. Több mint 124 ezer ember él a folyó környéki településeken és a fő ivóvízforrásuk erősen radioaktív. A szennyezés idején 350-3500 mSv-nyi sugárterhelés érte őket. (Magyar-

országon az egy főre vetített éves természetes háttérsugárzás és más eredetű sugárterhelés kb. 3 mSv, míg Nagy-Britanniában a Nemzeti Radiológiai Védelmi Testület javaslata alapján a lakosságot nem érheti 1 mSv-nél nagyobb dózis évente és fejenként.) A folyamatos és szándékos szennyezés okozta betegségekben legalább 8000 ember halt meg.

1957 szeptemberében a Majakban történt a világ második legnagyobb nukleáris balesete. Felrobbant egy 300 m³ nagy aktivitású folyékony hulladékkal teli fém tartály, 20 millió curie-nyi radioaktív anyagot spriccelve szét egy negyed magyarországnyi területen, közvetlenül 272 ezer embert érintve (a csernobili baleset során 80 millió curie került a levegőbe).

Újabb katasztrófát okozott az a sugárszennyezés, ami az 1967-es aszálykor keletkezett. Ekkor a Karacsaj-tó, - amelybe 15 éven keresztül óriási mennyiségű (120 millió curie-nyi) folyékony, nagy aktivitású radioaktív hulladékot engedtek bele - kiszáradt, és a viharok az üledéket szanaszét hordták. A radioaktív por újabb negyed magyarországnyi területet szennyezett el, további 41 ezer embert érintve.

A szovjet vezetés az összes katasztrófát, balesetet és eseményt titokban tartotta. A részletekre csak a Gorbacsov-féle "Glasznosztj-politika" elindításakor derült fény, 20-30 évvel a történelem után. A cseljabinszki környezetvédelmi központ adatai szerint az elmúlt négy évtizedben a körzetben nyolcszorosára nőtt a rákos megbetegedések száma.



Két tábla Majaknál: az egyik az áll, hogy ez természetvédelmi terület, a másik erős radioaktív sugárzásra hívja fel a figyelmet

alapok döntő többsége a megemelt szintű biztonsági előírások teljesítését és a jelenleg működő atomerőművek korszerűsítését szolgálja - ami szintén fontos -, de a hulladékok tárolási problémájának megoldását teljesen figyelmen kívül hagyja. Ezt a tényt azzal indokolják, hogy az összes elhelyezendő hulladék mennyisége nem olyan nagy, így ez nemzetközi szinten nem élvez prioritást. Ám azok a nehézségek és kudarcok, melyek a nyugati országokban a probléma megoldási kísérletei során jelentek meg, azt vetítik előre, hogy az új demokratikus kis államok esetében sem lesz ez máshogy.

Oroszországban 2001-ben megváltoztatták a környezetvédelmi törvényt, amely a Minatom erős lobbijának "köszönhetően" ismét megengedi, hogy az Atomügyi Minisztérium megállapodást kössön külföldi kormányokkal a radioaktív hulladék-elhelyezés ügyében. A cél elvileg az, hogy Oroszország a nukleáris hulladékfeldolgozás és a végleges atomtetetők központja legyen. Az újrafeldolgozás Cseljabinszkban, a Majak üzemben már működik, és a Minatom már Pakson is megkezdte a lobbizást, hogy a jövőben Magyarország is igénybe vegye ezt a szolgáltatást. Nem is nagyon kellett megerőltet-

nie magát, ugyanis Magyarország és Oroszország között - az EU csatlakozás előtt három nappal - született egy megállapodás, amely a paksi kiégett fűtőelemek a cseljabinszki Majakba szállításának elvi lehetőségét teremti meg.

Ezt tovább fokozza az is, hogy az oroszországi nukleáris létesítmények a csempészet szempontjából kevésbé biztonságosak, Majakban is többször előfordult ilyen esemény. Mivel az üzemben az újrafeldolgozás során plutónium is termelődik, amely a hadászat értékes alapanyaga, nagy a veszélye annak, hogy a sugárzó anyag illetéktelen kezekbe kerül, jó pénzért terroristák is szert tehetnek rá.

A nagy aktivitású hulladékokkal a világ többi részén is birkóznak. Európában a 17 atomenergiát használó ország közül mindössze kettő - Finnország és Svédország - jutott el odáig, hogy lehetséges helyszínt választott a tároló számára, de leghamarabb ezek is csak 20 év múlva kezdenek meg működésüket. Az USA-beli Yucca-hegységi problémákról már korábban szóltunk. A tároló körüli huza-vona már évek óta tart, rengeteg pénzt öltek a kutatásokba, most mégis kezdenek rájönni, hogy a helyszín talán nem is volt jó választás.

9. MI A HELYZET A MAGYARORSZÁGI HULLADÉKKAL?

Összefoglalóan elmondhatjuk, hogy nem térünk el a világtól: Magyarországon nem működik olyan radioaktív hulladéktároló, amely alkalmas az erőművi hulladékok befogadására. Az egyetlen - püspökszilágyi - tárolót egyéb izotópok (ipari, orvosi, laboratóriumi) elhelyezésére építették, ennek ellenére volt egy időszak amikor Paks is szállított oda hulladékokat.

Kis és közepes radioaktivitású hulladékok

Hazánkban a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok fő forrása a Paksi Atomerőmű. Indulásától 2003 végéig az erőmű 5300 m³ folyékony és 6900 m³ szilárd hulladékot termelt. Ezek egy részét a püspökszilágyi tárolóban, más részét ideiglenes tárolókban Pakson, külön épületben helyezték el.

Az első hulladéktároló: Püspökszilágy

Az erőmű építésénél fontos szempont volt, hogy a Duna mellett épüljön fel, hiszen a hűtéshez sok vízre van szükség. Viszont ez a szabályok szerint kizárta, hogy egy telephelyen legyen az erőmű és a hulladéktároló, mert a tároló nem lehet vízforrások és felszíni vizek közelében. Ekkor vizsgálták először a már üzembe helyezett püspökszilágyi Radioaktív Hulladéktároló és Feldolgozó Telep (RHFT) alkalmasságát, amit eredetileg nem az atomerőműben keletkező radioaktív hulladékok tárolására építettek, hanem ipari, orvosi izotópok számára. Miután

azonban az erőműben nem oldották meg a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok problémáját, "muszáj" volt a püspökszilágyi kapacitást kihasználni. A püspökszilágyi tároló eredetileg 3540 m³ kapacitású volt, amit később 5000 m³-re bővítettek.

Az első alkalmassági vizsgálatot másik kettő követte: 1980-ban és 1983-ban. Mindhárom vizsgálatot elutasító vélemény zárta, a szállítás nehézségeire és a lakosság biztonságára való hivatkozással. Megjegyzendő, hogy a "szállítás nehézségei" csak a kis és közepes aktivitású hulladékok esetében merültek fel, miközben a nagy aktivitású hulladékokat - melyek sokkal nagyobb biztonsági problémák elé állítják a nukleáris ipar - éveken keresztül, több ezer km-re szállították Magyarországról vissza az Urálba.

Az alkalmatlanság kinyilvánításának ellenére 1983 és 1989 között az erőmű 1230 m³ hulladékot szállított Püspökszilágyra. A hulladékok beszállítása 1990-91-ben azonban lakossági tiltakozásra szünetelt. Ebben az időben került sor a tároló bővítésére. A bővítéssel kapcsolatos en-

gedélyezési eljárás során a Magyar Geológiai Szolgálat ismét megkérdőjelezte a telephely alkalmasságát, ezért a továbbiakban a bővítményre csak ideiglenes működési engedélyeket adtak ki. A lakossági tiltakozás megszűnésével 1992 és 96 között további 1270 m³ atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék került Püspökszilágyra. Az RHFT szabad tárolókapacitása 1999 végére 140 m³-re csökkent a folyamatos beszállítások következtében, bár az erőműből 1997-től már nem történt szállítás. Ami az orvosi és egyéb ipari célú alkalmazásokat illeti, évente 10-30 m³ radioaktív hulladék keletkezik, amelyet a püspökszilágyi tárolóban helyeznek el.



Bátaapáti

Egy új tároló tervei - Bátaapáti

A 70-es évek közepétől már látható volt, hogy Püspökszilágy nem alkalmas a Paksról származó hulladék befogadására (típusa és mennyisége miatt), így a probléma megoldására újabb területeken indult meg a kutatás. 1978-ban kezdő-

dött Szilágy, Magyaregregy, Hidas és Bátaapáti térségeinek feltárása.

Ettől kezdve több mint tíz éven át egy meglehetősen bonyolult és hosszadalmas folyamat zajlott. Területeket minősítettek alkalmasnak, majd más hatóság által mégis alkalmatlannak. Különböző szakértők tettek különböző állásfoglalásokat, egyeztető megbeszélések zajlottak és információs társulások alakultak.

A leendő tároló körüli események egyik mérföldköve az ófalui konfliktus volt. A nyolcvanas évek elején alternatívaként felmerült a Feked-Véménd-Ófalu által határolt terület, ahol kutatásokat is kezdtek. Az atomerőmű

munkatársai a rendszerváltás előtt nem fordítottak igazán nagy hangsúlyt a tájékoztatásra, a társadalomhoz fűződő kapcsolatok kialakítására. Az Ófalu ügyében létrejött első találkozáson is csupán a technikai-műszaki helyzetről, a kockázat és a védelem tényeiről beszéltek, holott alapvetően másról volt szó. A tájékoztatás később jött, és nem volt megfelelő. Ófalun ekkor

Magyar Hírlap, 2000. szeptember 12.

Csak sejteni lehet, hogyan sikerült elérni azt, hogy mostanra már csak egy falu tiltakozik Bátaapáti-Üveg-huta térségében a kutatások ellen, amelyek célja a paksi kis- és közepes radioaktivitású hulladékok helyének kijelölése. Legutóbb Véménd lépett vissza, amit néhányan azzal indokolnak, hogy a falut a többi támogató településhez hasonlóan "kilóra" megvették. A vádakat a vérmédi polgármester visszautasítja, mondván: az atomtemetőt ellenző szervezet egyszerűen nem működött.

Véménd képviselő-testülete aláírta a megállapodást, amely alapján nem ellenzik tovább az atomhulladéktárolóval kapcsolatos kutatások folytatását. Ennek fejében idén várhatóan ötmillió forint úgynevezett tájékoztatási összeget is kap a település. A polgármester elmondta: "Mi a továbbiakban nem teszünk mást, mint egyszerűen szemet hunyunk a további kutatások folytatása felett. De nem is volt más választásunk, ugyanis az elmúlt évek bebizonyították: hiába hoztuk létre az atomtemetőt ellenző Kelet-Mecsek és Völgyesség Társulást, a mi ellenkezésünkkel senki sem foglalkozott, a szervezet pedig nem működött".

A polgármester szerint olyannyira nem, hogy még az elnöki posztjáról sem tudott lemondani, mert a társulást képtelen volt teljes létszámban összehívni.

2001. elején látott napvilágot az a tény, hogy a püspökszilágyi tároló körüli felmérésekben a normálisnál magasabb trícium, szén-14 és stroncium-90 radioaktív izotóp koncentrációkat mértek. Mint kiderült, a VITUKI már 1993-ban kimutatta a trícium megemelkedett koncentrációját, és a dolog sürgős kivizsgálását javasolta. 2001-ben a vizsgálatok még mindig nem történtek meg, és mostanában sem hallani az ügyről semmit. Rádásul a hulladéklerakó ideiglenes engedélye 2000 végén lejárt, és akkoriban úgy hírtett, hogy vagy megkapja - a megfelelő biztonsági elemzés után - a végleges üzemelési engedélyt, vagy nem működhet tovább a tároló. A biztonsági elemzés elkészült, ennek ellenére Püspökszilágy csak ideiglenes engedélyt kap, amit újra és újra meg kell hosszabbítani.

már állt a bál. A környező falvak heves kampányba kezdtek a tároló megtorpedózásáért, és - mint tudjuk - sikerrel is jártak.

Ezzel lezárult a magyarországi atomhulladék-történelem egy markáns korszaka. A következő felvonás helyszíne Ófalutól nem messze található, bár közigazgatásilag a szomszédos Tolna megye szélén fekszik Ez a hely Bataapáti.

1993-ban, az újraindított kutatási programnál azonban a vizsgálatot végzők nem óhajtották elkövetni az Ófalu esetében legsúlyosabbnak vélt hibákat. A program egyik fő célkitűzése az volt, hogy a magyar társadalmat minden lehető eszközzel meggyőzzék. Ezért a tervek háromszintű PR-kampánnyal számoltak, amely az általános közvélemény, a speciális csoportok (kormány, média, környezetvédők, stb.), valamint a tároló létesítésére alkalmas területek lakosságának meggyőzését célozta.

Az atomtörvény elfogadásáig - 1996 végéig - gőzerővel folytak a helyszíni fúrások, valamint azok a telephely-specifikus biztonsági értékelések, amelyek alapján meghatározták a szóba jöhető telephelyek pontosabb helyét és paramétereit. 1997 elején az Országos Atomenergia Bizottság a projekt folytatása mellett döntött, Bataapáti-Üveghuta továbbkutatását javasolva, és megjelölt egy tartalék területet Udvarinál (bár itt kutatásokat nem történtek). A kutatást szerződéses megbízás alapján egy konzorcium végezte (és végzi jelenleg is), melynek fő tagjai a Mecsekérc Rt. és a Magyar Állami Földtani Intézet. A Bataapáti helyszín konkrét kutatási területként ekkor vált bizonyossá.

Közben a kutatás második szakaszának (1997-98.) feladata Bataapáti körzetében a telephely kijelölés és az alkalmassági vizsgálatok elvégzése volt. Az 1998 végére elkészült Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) zárójelentésének, a telephelyre vonatkozó előzetes alkalmassági véle-



A Kiegészített Kazetták Átmeneti tárolója kívülről...

ményének a fő következtetése ez volt: "A kijelölt telephely alkalmasnak látszik kis és közepes radioaktivitású erdőművi hulladékok végleges elhelyezésére". Viszont a kutatásokat felügyelő Szakértői Bizottság álláspontja ennél sokkal óvatosabb: "...az értékelés során nem merült fel olyan körülmény, amely...a telephely alkalmaságát bizonyítaná."

A MÁFI végkövetkeztetése 1998. végén kapott nyilvánosságot, mikor is a tájékoztató előadáson kategorikus "alkalmas" minősítést deklaráltak, bár a zárójelentés szerint (MÁFI Zárójelentés, 2. kötet 8. fejezet, 453. oldal. Bp., 1998.): "...az elhelyezés biztonságosabb lenne egy olyan közettömegben, amely geotechnikai szempontból többekévébe egységes és megfelelő paraméterekkel rendelkezik."

A kutatás eredményeit egy, a MÁFI-tól független, geofizikus, szeizmológus, tektonikus és hidrogeológus szakemberekből álló kutatócsoport megkérdőjelezi. Véleményük szerint az 1993 óta folyó és több mint 2 milliárd forintot felemésztő kutatások hiányosak, eredményeik ellentmondásosak, ezért az alapvető geológiai kérdésekre nem adtak hiteles választ. Ilyen körülmények között



... és belülről

nem deklaráható a telephely alkalmassága. Ugyanakkor sürgős feladatként határozták meg egy biztonságosabb és lényegesen kisebb költséggel megvalósítható alternatív tároló megoldását célzó kutatás megindítását. 2001. őszén kezdődött meg a Bataapáti-Üveghuta környéki felszíni kutatások befejező fázisa. A 2004. elején elkészült zárójelentés végkövetkeztetése az volt, hogy az addigi kutatások alapján Bataapáti alkalmas a tároló megépítésére.

A 2005. elején indult felszín alatti kutatások már a tároló pontos helyzetének megállapítását tűzik ki célul. Az RHK Kht. 2004. évi tervei alapján a létesítményt 2008-ban üzembe akarják helyezni.

Nagy aktivitású radioaktív hulladékok és kiegészített fűtőelemek

A paksi atomerőmű kiegészített üzemanyagát a kilencvenes évek végéig a Szovjetunió, illetve Oroszország reprocesszálásra visszafogadta, és a belőlük származó hulladékok náluk maradtak. Az 1993-as orosz környezetvédelmi törvény ellenére egyedi szerződéseknek "kö-



Rákigazolvány Cseljabinszkban



Az erdőmű építéséről kötött 1966-os magyar-szovjet kormányközi egyezmény nem szabályozta a hulladék-kérdést, a jogutód Oroszország pedig az 1993-mas környezetvédelmi törvényében megtiltotta a veszélyes hulladékok importját. Ez alól először Jelcin elnök rendeletei adtak felmentést, majd 1994-ben kormányközi kiegészítő jegyzőkönyv tette lehetővé ugyanezt. Ezt követően évente kellett engedélyeztetni a nukleáris exportot, amit végül 1998-tól végleg leállítottak.

Az Unió csatlakozás előtt három nappal azonban Magyarország és Oroszország külön szerződést kötött, amelynek értelmében a Paksi Atomerőműnek a jövőben is lesz lehetősége a kiegészített fűtőelemek a cseljabinszki Majakba szállítani.



Egy paksi "atomvonat"

szönhetően" Magyarországról az utolsó "atomvonat" 1998-ban indult el Oroszországba. Eddig az időpontig összesen 2331 db kiégett kazettát szállítottak vissza.

A négy blokk kiégett fűtőelemeit kezdetben négy, jelenleg öt évig a reaktorokkal egy fedél alatt, úgynevezett pihentető medencékben tárolták, illetve tárolják, míg a legforróbb, középső részük 140 °C-ra le nem hűl. Innen 1986-tól 1998-ig a cseljabinszki újrafeldolgozóba kerültek, ahonnan már sugárzó anyagot nem szállítottak vissza Magyarországra.

Jelenleg a paksi atomerőmű üzemi területén kb. 6000 db kazettát tárolnak, ebből a Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolójában (KKÁT) mint-

egy 3500 db-ot, pihentető medencékben pedig közel 2500 db-ot. A kazetták száma az eredetileg tervezett üzemidő végéig 11.000-re fog növekedni. A nagy aktivitású hulladékok mennyisége jelenleg kb. 60 m³, mely az ezen célra rendszeresített tárolókban, az erőmű területén helyeztek el.

Mivel a kiégett üzemanyag ideiglenes tárolása még néhány évtizedig az erőmű területén történik, végleges elhelyezésükről ritkán esik szó. Felmerült egy lehetséges helyszín (a mecseki Boda) és képződmény (ez az úgynevezett Bodai Aleurit Formáció), részletes kutatások ez ügyben azonban még nem indultak.

10. MIT HOZ A JÖVŐ?

Ha valaki figyelmesen végigolvasta kiadványunkat - de akkor is, ha csak felületesen végigfutott rajta - rájöhethet, hogy ez az a kérdés, amire jelenleg nincs válasz. A nukleáris hulladékok témája abba a kategóriába tartozik, ami rendkívül nagy mértékben érinti a jövőt és a jövő generációit, mégis ötven éve csak a vállunkat vonogatjuk, és nem tudunk megnyugtató megoldást felmutatni. Vannak, akik olyan erősen atomenergia-pártik, hogy nem hajlandók ezt belátni, és magabiztosan hangoztatják - félrevezetve ezzel a laikus közönséget -, hogy nincs miért agódnunk, mindenre megtaláltuk már a megoldást, hisz lám-lám, vannak országok, ahol már épülnek nukleáris hulladéktárolók. Arról azonban nem beszélnek, hogy ezek milyen áron, mekkora lobbimunka hatására jöttek-jönnek létre, és ami a legfontosabb, milyen következményekkel fognak járni.

Habár a kis- és közepes aktivitású hulladékok ügyében könnyebbnek látszik a helyzet - kisebb a kockázat, kevesebb ideig kell biztonságosan szigetelt helyen tartani a radioaktív hulladékot -, még mindig számos kérdőjel adódik. A nagy aktivitású hulladékok és különösen a kiégett fűtőelemek keményebb diónak tűnnek. Végleges megoldás sehol a világon nincs és még biztató jelek sincsenek arra nézvést, hogy az emberiség a közeljövőben megtalálja a megfelelő technológiát. Marad az eddigi halogató stratégia - ha egyáltalán ezt lehet stratégiának nevezni -: 50 évre viszonylag biztonságosan el tudjuk helyezni a hulladékot átmeneti száraztárolókban, aztán majd vagy újabbakat építünk másik ötven évre, vagy lesz végleges megoldás. De addig is a hulladékok mennyisége folyamatosan nő...

A dolgok mai állása szerint a világon központi átmeneti tárolókban kerül elhelyezésre a hulladékok nagy része a 21. század első negyedében. Ez a legkorábbi időpont, amikor egy végleges geológiai tároló talán megnyithatja kapuit. Eddig az időpontig számos ország tervezi kutatási célú demonstrációs tárolók megépíté-

sét. Amíg ez be nem következik, a helyzet csak romlani fog. Bár a legtöbb ország igen erősen hajlik a geológiai tároló koncepciójára, megfelelő alternatívák hiányában nyitva marad a lehetőség a felszíni száraztárolók előtt is, még legalább egy évszázadra. Ahogy a világ atomerőművei előreszenek, és leszerelésük elengedhetetlenné válik, az elhelyezésre váró atomhulladékok mennyisége ugrásszerűen megnő. Megfelelő tudományos és társadalmi megoldás nélkül a világ atomerőműveket működtető országai egy nagyon komoly és kínos helyzetben találják majd magukat.

A legfőbb cél az, hogy minél kevesebb hulladékot termeljünk. Ezt pedig csak úgy érhetjük el, ha lemondunk az atomenergia alkalmazásáról. Az atomerőműveket minél hamarabb, de legkésőbb eredetileg tervezett üzemidejük végéig be kell zárni. A már eddig megtermelt hulladékot pedig a lehető legbiztonságosabban kell tárolni, úgy hogy egy feltétel mindig teljesüljön: a hozzáférhetőség. Ez azt jelenti, hogy a radioaktív hulladékot folyamatosan figyelni kell, és ha a körülmények úgy kívánják (például megrongálódik a műszaki védelem, új hulla-

dék-kezelési módszert fedeznek fel, vagy a tárolt anyagot valamilyen okból máshová akarják helyezni), akkor lehetőség van a tárolási mód megváltoztatására.

E kézikönyv egy antinukleáris szervezet gondozásában jelent meg. Megítélésünk szerint azonban ez nem változtat tényszerű voltán, hiszen a kiadvány jelentős része a nukleáris ipar tollából származó dokumentumokat ismerteti. A nukleáris hulladékok kérdésének megoldatlansága önmagáért beszél, és leta-

gadhatatlan. Ötven éve létező gond az atomipar, a kormányok és az emberek nyakán.

A zöld mozgalom szerte a világon újra és újra megkérdézi és felelősségre vonja az atomipart és a döntéshozókat: hogyan engedhetik, hogy a probléma megoldatlansága ellenére tovább termelődjön ez a nagy mennyiségű halálos szemét? Így van ez az USA-tól Németországon át Oroszorszáig. Egyetlen módon enyhíthető a gond: ha pontot teszünk a nukleáris energiatermelés végére.

atommagok kisebb részecskék, illetve energia kibocsátásával energetikailag stabilabb állapotba kerülnek

radionuklid: A radioaktív atomok összefoglaló neve

reprocessálás: Ld. újrafeldolgozás

sárga pogácsa: Annak a folyamatnak az eredménye, amikor az uránércet megőrlik, majd különböző kémiai folyamatok útján (például kénsavas kioldás) kinyerik belőle az uránt.

sievert: Ld. dózis.

Synroc: Egy Ausztráliában kifejlesztett hulladékrogzítési technológia márkaneve, mely során összekeverik a radioaktív hulladékot egy ásványi oldattal, mely megköti a radionuklidokat az anyag kristályaiban.

szegényített urán: Az uránérc dúsítása során visszamaradt, legnagyobb részben U-238 izotópból álló hulladék.

szubdukciós zóna: Tektonikailag aktív kőzetlemez-peremek, ahol az óceáni aljzat egy másik óceáni, vagy kontinentális lemez alá bukkol.

transzmutáció: A kiégett fűtőelemek egyfajta elvi, gyakorlatban még nem alkalmazott kezelése, melynek során a hosszú felezési idejű radioaktív izotópokat neutron besugárással rövid élettartamúvá változtatják.

újrafeldolgozás: A besugárzott fűtőelemek anyagának kémiai szétválasztása, amelynek során a kiégett fűtőelemekből elkülönítik a plutóniumot és az urániumot.

üzemanyag-lánc: Az energiatermelés összes állomását magában foglaló folyamat a bányászattól a hulladékkezelésig.

veszélyességi idő: Az az időtartam, mely során a radioaktív hulladék sugárzási szintje az elfogadható határérték alá csökken. A gyakorlatban a húszszoros felezési időt tekintik veszélyességi időnek.

vitrifikáció: Üvegesítés, amit a reprocessálásakor keletkező radioaktív folyadékok szilárdításakor alkalmaznak.

A SZÖVEGBEN SZEREPLŐ FOGALMAK

aktivitás: A radioaktív anyag tulajdonsága, mely az egységnyi időtartam alatt elbomló atommagok számára utal. Mértékegysége a becquerel, jele: Bq. Egy adott anyagnak egy becquerel az aktivitása, ha abban egy másodperc alatt egy magbomlás megy végbe.

alfa-sugárzás: Amikor pozitív töltésű hélium atommagok, azaz két protonból és két neutronból álló részecskék hagyják el az instabil atommagot.

béta-sugárzás: E sugárzás során elektronok vagy pozitronok szakadnak ki az atommag neutronjából, illetve protonjából

curie: Az aktivitás régi mértékegysége. Másodpercenként $3,7 \times 10^{10}$ bomlást jelent, ugyanis ennyi bomlás játszódik le egy másodperc alatt egy gramm rádium-226 izotópban.

dózis: Az egyes anyagokkal, közegekkel kölcsönhatásba lépve a sugárzás elnyelődik, miközben az energia átadódik. Az elnyelt energiaadagot hívjuk dózissnak. Az évi természetes eredetű háttérsugárzás dózisa 1 sievert (Sv).

dúsítás: Az uránérc feldolgozása során a ter-

mészetes uránban igen kis arányban (0,7%) jelen lévő 235-ös uránizotóp koncentrációjának növelése.

felezési idő: Az az időtartam, ami alatt a radioaktív anyag mennyiségének a fele elbomlik.

gamma-sugárzás: Nagy energiájú elektromágneses sugárzás, amely olyankor jön létre, amikor valamelyik (alfa vagy béta) bomlás során még gerjesztett állapotban marad az atommag, és "felesleges" energiáját gamma fotonok formájában adja le.

konverzió: Az üzemanyag-lánc azon állomása, melynek során a sárga pogácsa uránvegyületeit urán-hexafluoriddá (UF_6) vagy urán-dioxidá (UO_2) alakítják át.

meddő: A bányászat során kitermelt és a bánya területén hagyott kőzet, amely nem, vagy csak kis mértékben tartalmaz ércet, és amelynek kinyerése már nem gazdaságos.

particionálás: A kiégett fűtőelemekben lévő radionuklidok szétválasztása (a transzmutáció során alkalmazandó elvi lépés).

radioaktív bomlás: A természetben nem stabil

FORRÁSOK

Atomenergia vagy energiahatékonyság - Válogatás a celakovicei energiakonferencia előadásaiból (1991)

Az Állami Számvevőszék jelentése a Központi Nukleáris Pénzügyi Alap működésének ellenőrzéséről (2001. január)

Az RHK Kht. negyedik közép- és hosszú távú terve a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapból finanszírozandó tevékenységekre (2004. május)

Báldi Tamás: Elemző (Általános) földtan

Derek M. Taylor (2005): The Management of Radioactive Waste in the European Union - Opinions, Situation and Proposal for Changes

European Commission (2002): Europeans and Radioactive Waste (Eurobarometer 56.2)

European Commission (2003): Radioactive Waste Management in the Enlarged European Union (EUR 20653)

Gyorgy, Anna (1980): No Nukes - Everyone's guide to nuclear power; South End Press

Health Effects of Radiation: Dose and Risk

(<http://www.antenna.nl/wise/uranium/rdr.html> - 2004)

Hisham Zerriffi, Annie Makhijani (2000): The Nuclear Alchemy Gamble - An Assessment of Transmutation as a Nuclear Waste Management Strategy (<http://www.ieer.org/reports/transm/index.html>)

Nuclear Power: Shut it down! - An information pack on nuclear power and the alternatives; The Ecologist

Peter Diehl (2004): Uranium Mining and Milling Wastes: An Introduction (<http://www.antenna.nl/wise/uranium/uvwai.html>)

Wendy Oser, Molly Young Brown: A Background Briefing on Radioactive Pollution

World Nuclear Association (www.world-nuclear.org) - International Nuclear Waste Disposal Concepts (2003)

Yucca Mountain, Nevada. Proposed High-Level Radioactive Waste Dump Targeted at Native American Lands (Nuclear Information and Resource Service - <http://www.nirs.org/radwaste/yucca/yuccahome.htm>)