

ZRÍNYI MIKLÓS NEMZETVÉDELMI EGYETEM
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar
Katonai Műszaki Doktori Iskola

PhD ÉRTEKEZÉS TERVEZET:

**A HAZAI RADIOAKTÍV HULLADÉKOK ÉS AZ ELHASZNÁLT NUKLEÁRIS FŰTŐANYAG
BIZTONSÁGOS ELHELYEZÉSÉRE VONATKOZÓ NEMZETI POLITIKA
MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGI TUDOMÁNYOS MEGALAPOZÁSA**

Készítette: Lévai Zoltán mk. ezredes

Tudományos témavezető:

Dr. Halász László ny. mk. ezredes
Egyetemi tanár, az MTA Doktora

TARTALOM

| | |
|---|----|
| BEVEZETÉS | 5 |
| I. HULLADÉKKEZELÉSI KONCEPCIÓK | 8 |
| 1. A KONCEPCIÓK MEGHATÁROZÁSA | 8 |
| 1.1. HIGÍTÁS ÉS KIBOCSÁTÁS..... | 10 |
| 1.2. ELZÁRÁS ÉS ELSZIGETELÉS | 10 |
| 1.2.1. A tárolás..... | 10 |
| 1.2.2. Elhelyezés..... | 11 |
| 1.3. KÖVETKEZTETÉSEK..... | 14 |
| 2. A KIÉGETT FŰTŐELEM ÉS A NAGY AKTIVITÁSÚ HULLADÉK KEZELÉSI STRATÉGIÁJÁNAK A LEHETSÉGES ELEMEI | 14 |
| 2.1. AZ ELEMEK MEGHATÁROZÁSA..... | 15 |
| 2.2. KÖZBENSŐ TÁROLÁS | 16 |
| 2.3. TARTÓS TÁROLÁS..... | 16 |
| 2.4. REPROCESSZÁLÁS, ÚJRAHASZNOSÍTÁS..... | 17 |
| 2.5. TOVÁBBFEJLESZTETT REPROCESSZÁLÁS..... | 18 |
| 2.6. GEOLÓGIAI ELHELYEZÉS | 18 |
| 3. A NAGY AKTIVITÁSÚ HULLADÉK, ÉS/ VAGY A KIÉGETT NUKLEÁRIS FŰTŐELEMÉK TIPIKUS KEZELÉSI STRATÉGIÁINAK ÖSSZEHOSONLÍTÁSA | 19 |
| 3.1. A LEHETSÉGES STRATÉGIÁK MEGHATÁROZÁSA..... | 19 |
| 3.2. AZ ÖSSZEHOSONLÍTANDÓ STRATÉGIÁK KIVÁLASZTÁSA | 22 |
| 3.3. ÖSSZEHOSONLÍTÁS | 23 |
| 3.3.1. <i>Etikai szempontok</i> | 23 |
| 3.3.1.1. <i>A biztonsággal és engedélyezéssel összefüggő problémák</i> | 26 |
| 3.3.1.2. <i>Társadalmi és politikai elfogadtatás</i> | 28 |
| 3.3.1.3. <i>Gazdaságosság, finanszírozás és költség-haszonelemzés</i> | 29 |
| 3.3.1.4. <i>Nemzetközi együttműködés</i> | 30 |
| 4. A STRATÉGIÁK ELŐNYEINEK ÉS HÁTRÁNYAINAK ÖSSZEGZÉSE | 31 |
| II. A KÜLÖNBÖZŐ ORSZÁGOK NAGY AKTIVITÁSÚ HULLADÉK ELHELYEZÉSI KONCEPCIÓJÁNAK ÖSSZEHOSONLÍTÓ ELEMZÉSE | 33 |
| 1. HÁROM ALAPVETŐ MEGKÖZELÍTÉSI MÓD | 33 |
| 2. A „DETERMINISTA” MEGKÖZELÍTÉSI MÓD: NÉMETORSZÁG ÉS AZ AMERIKAI EGYESÜLT ÁLLAMOK | 34 |
| 3. A „LEHETŐSÉGEK SZERINTI” MEGKÖZELÍTÉS: FINNORSZÁG, FRANCIAORSZÁG, SVÉDORSZÁG ÉS SVÁJC | 35 |
| 3.1. FINNORSZÁG, SVÉDORSZÁG, SVÁJC: AZ ATOMERŐMŰVEK VEGYES TULAJDONLÁSA..... | 36 |
| 3.2. FRANCIAORSZÁG | 37 |
| 4. VÁRAKOZÓ ÁLLÁSPONT: NAGY-BRITANNIA ÉS HOLLANDIA | 38 |
| 4.1. NAGY-BRITANNIA..... | 38 |
| 4.2. HOLLANDIA | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 5. A NEMZETKÖZI KITEKINTÉS ALAPJÁN KÖZÖS JELLEMZŐK ÉS GONDOLATOK A NEMZETI PROGRAMHOZ | 39 |
|--|-----------|

III. A MAGYARORSZÁGI HELYZETELEMZÉS BEMUTATÁSA.....**42**

1. RADIOAKTÍV HULLADÉKOK ÉS A KIÉGETT NUKLEÁRIS ÜZEMANYAG FORRÁSOLDALÁNAK ÉS TÁROLÁSI LEHETŐSÉGEINEK ELEMZÉSE.....**42**

| | |
|---|----|
| 1.1. TÁROLT ANYAGMENNYISÉGEK ÉS TÁROLÓKAPACITÁSOK..... | 43 |
| 1.2. A RADIOAKTÍV HULLADÉKOK ÉS A KIÉGETT ÜZEMANYAG KELETKEZÉSÉNEK ÜTEME, A TÁROLÁS HELYZETÉNEK VÁRHATÓ ALAKULÁSA..... | 44 |
| 1.2.1. Az atomerőművi eredetű kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok keletkezése és tárolása..... | 44 |
| 1.2.2. Az atomerőművi eredetű nagy aktivitású radioaktív hulladék keletkezése és átmeneti tárolása..... | 45 |
| 1.2.3. A kiégett nukleáris üzemanyag keletkezése és átmeneti tárolása az atomerőműben..... | 46 |
| 1.2.4. A nem atomerőművi eredetű kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok keletkezési üteme és elhelyezése..... | 47 |
| 1.2.5. A nem atomerőművi eredetű kiégett üzemanyag keletkezése és átmeneti tárolása..... | 47 |

2. KIS- ÉS KÖZEPES AKTIVITÁSÚ RADIOAKTÍV HULLADÉKOK VÉGLEGES ELHELYEZÉSE.....**48**

| | |
|--|----|
| 2.1. ELŐZMÉNYEK..... | 48 |
| 2.2. KIS- ÉS KÖZEPES AKTIVITÁSÚ HULLADÉKOK ELHELYEZÉSE PÜSKÖKSZILÁGYON..... | 51 |
| 2.2.1. Stratégiai cél..... | 51 |
| 2.2.2. Javaslat a feladatok ütemezésére..... | 51 |
| 2.3. AZ ATOMERŐMŰVI EREDETŰ KIS- ÉS KÖZEPES AKTIVITÁSÚ RADIOAKTÍV HULLADÉKOK ELHELYEZÉSÉNEK ÁTTEKINTÉSE..... | 52 |
| 2.3.1. Stratégiai cél..... | 52 |
| 2.3.2. Javaslat a feladatok ütemezésére..... | 52 |

3. NAGY AKTIVITÁSÚ RADIOAKTÍV HULLADÉKOK VÉGLEGES ELHELYEZÉSE ÉS A KIÉGETT NUKLEÁRIS ÜZEMANYAG KEZELÉSE.....**53**

| | |
|---|----|
| 3.1. ELŐZMÉNYEK..... | 53 |
| 3.1.1. Nagy aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezése..... | 54 |
| 3.1.2. A kiégett nukleáris üzemanyag kezelése..... | 54 |
| 3.2. STRATÉGIAI CÉL..... | 56 |
| 3.2.1. JAVASLAT A FELADATOK ÜTEMEZÉSÉRE..... | 57 |
| 3.3. FORRÁSADATOK ÉS INFORMÁCIÓK A GAZDASÁGI SZÁMÍTÁSOK ELVÉGZÉSÉHEZ..... | 59 |
| 3.3.1. Atomerőművi kiégett üzemanyag..... | 59 |
| 3.3.2. Egyéb kiégett üzemanyag..... | 60 |
| 3.3.3. Nagy aktivitású hulladék..... | 60 |
| 3.3.4. Összefüggések..... | 61 |
| 3.3.5. Központi Nukleáris Pénzügyi Alap (KNPA)..... | 61 |

4. A KIÉGETT NUKLEÁRIS ÜZEMANYAG ÁTMENETI TÁROLÁSA.....**65**

| | |
|--|----|
| 4.1. ELŐZMÉNYEK..... | 65 |
| 4.2. STRATÉGIAI CÉL..... | 65 |
| 4.2.1. JAVASLAT A FELADATOK ÜTEMEZÉSÉRE..... | 65 |

5. LÉTESÍTMÉNYEK LEBONTÁSA.....**66**

| | |
|--|----|
| 5.1. ELŐZMÉNYEK..... | 66 |
| 5.2. STRATÉGIAI CÉL..... | 67 |
| 5.2.1. JAVASLAT A FELADATOK ÜTEMEZÉSÉRE..... | 67 |

6. A MAGYARORSZÁG SZÁMÁRA SZÓBA JÖHETŐ STRATÉGIÁK AZONOSÍTÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE.....**68**

| | |
|--------------------------------------|----|
| 6.1. A STRATÉGIÁK MEGHATÁROZÁSA..... | 68 |
| 6.2. A STRATÉGIÁK KIÉRTÉKELÉSE..... | 69 |
| 6.2.1. Rövid távú stratégiák..... | 71 |
| 6.2.2. Hosszú távú stratégiák..... | 72 |

| | |
|---|----|
| IV. ÖSSZEGZÉS | 74 |
| 1. KÖVETKEZTETÉSEK | 75 |
| 2. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK | 76 |
| 3. TÁBLÁZATOK | 77 |
| 4. FELHASZNÁLT IRODALOM | 80 |
| 5. BIBLIOGRÁFIA A NEMZETKÖZI KITEKINTÉSHEZ | 83 |
| 6. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK | 85 |

BEVEZETÉS

Magyarországon a nukleáris hulladékkezelés problémája évtizedes múltra visszatekintő, de prognosztizálhatóan évszázadokra kiható kérdéseket vet fel. Természetesen ez a feladat nemcsak hazánkban jelentkezik, hanem mindenhol ahol katonai és polgári nukleáris kísérletek vagy nukleáris energia hasznosítás történik. Vitathatatlan nemzedékünk felelőssége a jövő környezetbiztonságának alakításában. A fenntartható fejlődést és annak ütemét befolyásolja az a nemkívánatos utóhatás, hogy civilizált társadalmunkban a környezetet és ez által az emberi létet is veszélyeztető hulladékok keletkeznek. A hulladékok legifjabb nemzedéke a nukleáris hulladék, mely elhelyezése hosszú távú feladat.

A kutatásom tárgyának aktualitását megítélésem szerint az adja, hogy a nukleáris hulladékok kezelésének nemzeti programját rövid időn belül ki kell dolgozni, mivel a lehetséges alternatívák megvalósítása egy sor társadalmi, műszaki és gazdasági feladatot jelent.

A kutatás időszerűségét indokolja, hogy – nemzeti stratégia hiányában – alternatívát mutat a politikai döntéshozóknak a hazai nukleáris hulladékkezelés lehetőségeiről és sürgető feladatairól. A kutatás módszere az Országos Atomenergia Hivatal, az Országos Atomenergia Bizottság Központi Nukleáris Pénzügyi Alapot kezelő szakbizottságának, a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Társaság kiadmányainak, a vonatkozó hazai és nemzetközi szakirodalom elemző kutató tanulmányozása. Megvizsgáltam a jelentős nukleáris energiát felhasználó országok nukleáris hulladékkezeléssel kapcsolatos jogszabály alkotási és finanszírozási tevékenységét.

Kutatómunkám során feldolgoztam a nukleáris hulladékkezelés európai és tengerentúli gyakorlatát bemutató nemzetközi cikkeket, tudományos folyóiratokat, a tárgyban készült tanulmányokat. Áttekintettem és kutattam a hazai nukleáris hulladékkezelés fejlődésének történetét majd nemzetközi kitekintésen keresztül kidolgoztam a nemzeti stratégia egy lehetséges változatát alátámasztó tudományos-műszaki feladatrendszert.

Kutatómunkámban az alábbi kutatási célok megvalósítását tűztem ki magam elé:

1. Bemutatni a veszélyes anyagok kezelési koncepcióit, rendszerbe foglalni a nukleáris hulladékok kezelési stratégiáit;

2. Áttekinteni a fejlett nukleáris programokkal rendelkező országok nukleáris hulladékkezeléssel kapcsolatos stratégiáit, azok jogalkotási és finanszírozási megoldásait, ezekből következtetéseket levonni a hazánkban keletkező radioaktív hulladékok kezelésére vonatkozó nemzeti politika megalapozásához;
3. Vizsgálni a hazai nukleáris hulladékkezelés forrásoldalának és tárolási kapacitásának ellentmondásait, feltárni a fejlesztési igényeket;
4. Összehasonlítani a lehetséges tárolási stratégiákat, azok gazdasági és műszaki kihatásait;
5. Kiválasztani a lehetséges módozatok közül az optimális megoldást és kidolgozni a fejlesztési – nemzeti – program egy lehetséges feladatrendszerét időtávlati megalapozással.

Az értekezés szerteágazó tudományterületeket ölel át, ezért annak felépítését az alábbi rendszerben ítéltm a legkedvezőbbnek.

Az első fejezetben tárgyalom a hulladékkezelési koncepciókat, a kiégett fűtőelem és a nagy aktivitású hulladékkezelési stratégiájának a lehetséges elemeit valamint ezek kezelési stratégiájának összehasonlítását, összegezve azok előnyeit, hátrányait.

A második fejezetben bemutatom a különböző országok nagy aktivitású radioaktív hulladék elhelyezési koncepcióit, melyekből közös jellemzőket és gondolatokat fogalmazok meg a magyar programhoz.

A harmadik fejezetben kutatom a radioaktív hulladékok és a kiégett nukleáris üzemanyag forrásoldalát és tárolási lehetőségeit. Bemutatom a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezési lehetőségeit valamint a nagy aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezési lehetőségét és a kiégett nukleáris üzemanyag kezelését. Ebben a fejezetben áttekintem a Magyarország számára szóba jöhető stratégiákat és értékelem azokat.

A negyedik fejezet tartalmazza az összegzést, a következtetéseket, az új tudományos eredmények felsorolását, a táblázatokat, az ábrákat, a hivatkozott irodalmakat, a publikációs jegyzéket és a felhasznált irodalom bemutatását.

A tanulmányban található alapvető fogalmak:

- Radioaktív hulladék: az atomtörvény 2. § m) pontja szerint további felhasználásra már nem kerülő olyan radioaktív anyag, amely sugárvédelmi jellemzők alapján nem kezelhető közönséges hulladékként.
- Kiégett üzemanyag: az atomtörvény 2. § l) pontja szerint atomreaktorban hasznosított nukleáris üzemanyag, amely – az atomreaktoron kívüli – újrahasznosíthatósága miatt nem minősül hulladéknak.

A radioaktív hulladékok besorolása az MSZ 14344/1-1989. 2.3. pontja alapján történik, melyet az **1. sz. táblázat** tartalmaz. Ebben a dokumentumban a nagy aktivitású és/vagy hosszú élettartamú radioaktív hulladékokat nagy aktivitású hulladéknak nevezzük.

A radioaktív hulladékot biztonságosan, gazdaságosan, környezetbarát módon, és a társadalom számára elfogadhatóan kell kezelni. A kezelés szempontjából azonban nem mindegy, hogy milyen aktivitású hulladék biztonságos elhelyezéséről, tárolásáról kell gondoskodni.

Kis és közepes aktivitású radioaktív hulladéknak minősül az a radioaktív hulladék, amelyben a hőfejlődés az elhelyezés (és tárolás) során elhanyagolható. Nagy aktivitású az a radioaktív hulladék, amelynek hőtermelését a tárolás és elhelyezés tervezése és üzemeltetése során figyelembe kell venni.

A kiégett fűtőelemek és a nagy aktivitású hulladék legfontosabb jellemzője, hogy igen hosszú időtartamon keresztül kell az emberektől és a környezettől elszigetelve tartani. Közelítőleg 100.000 évre tehető az az időtartam, amely alatt a kiégett fűtőelem radiotoxicitása arra a szintre csökken, ahol eredetileg a kibányászott természetes uránérc volt, amelyből a fűtőelem készült. A szóban forgó anyagok izolációs időtartamának meghatározásában ez egy igen fontos időtávlat. Mindez problémát jelent, mind a műszaki feltételek biztosításában, mind a társadalmi elfogadtatásban.

A radioaktív hulladékkezelés hosszú távú módszereinek fejlesztése minden nukleáris programmal rendelkező országban szükséges. A probléma nagysága – amelyet a radioaktív hulladék mennyiségével, a hulladék aktivitás-tartalmával, a fizikai és kémiai formák milyenségével fejezhetünk ki – az adott ország polgári és katonai nukleáris programjának méreteitől függ. Nagyobb a probléma azokban az országokban, ahol számottevő polgári és katonai nukleáris program zajlik, vagy ilyen programmal rendelkeztek. Ezek az országok: az Egyesült Államok, a volt Szovjetunió, Franciaország és az Egyesült Királyság. Mindezekben az országokban a probléma egyik eleme a már meglévő hulladék, különösen az, amelyik a negyvenes, ötvenes, hatvanas években és a hetvenes évek elején tervezett létesítményekből és folyamatokból származik, amikor még sokkal kevesebb figyelmet fordítottak a hosszú távú hulladékkezelésre, mint a legutóbbi időkben. A probléma másik fontos összetevője a „várható” hulladék, vagyis az, amelyik a jelenleg üzemelő erőművek működéséből és felszámolásából keletkezik (továbbá az, amelyik várhatóan a most épülő erőművekből, vagy azokból az erőművekből származik, melyek építésére döntés született).

A radioaktív hulladék biztonságos elhelyezése a tudományos és műszaki tényezők széles skálájának figyelembe vételét követeli meg. Az említett tényezők a

bioszférát befolyásoló potenciális hatásokhoz kapcsolódnak, továbbá azokhoz az alapvető etikai elvekhez, amelyek a társadalom elvárásait tükrözik. Ebből következően, a nagy aktivitású hulladék, és a kiégett nukleáris fűtőelemek kezelési stratégiájának kiválasztása nem kizárólag műszaki, vagy gazdasági kérdés, hanem ezeken túlmenően, etikai megítélés, politikai, és társadalmi elfogadás kérdése is, továbbá annak eldöntése, hogy mit kell tennünk most, és mit halaszthatunk egy későbbi időpontra.

Amikor a hulladékkezelés alternatíváit értékelik, különböző kritériumok és témakörök választhatók, attól függően, hogy mely döntéshozók, vagy érdekelt felek vesznek részt a folyamatban. Ebben a tanulmányban olyan megoldások után kutattam, amelyek egy további igényes elemzés alapját képezhetik, s amelyekből egy magyar program lehetséges forgatókönyvei kivetíthetők.

Amint a lehetséges forgatókönyveket azonosítottuk, össze lehet állítani azokat a tevékenységeket, amelyekkel a stratégiákat műszaki, gazdasági és társadalmi szempontok szerint részletesen ki lehet értékelni. Ezután javaslatot teszek az említett kiértékelés végrehajtásának szervezeti sémájára. A stratégiák kiértékelésének időtartamát hat évre becsültem. Ez alapján kidolgoztam egy lehetséges alternatívát a munkaprogram ütemezésére.

I. HULLADÉKKEZELÉSI KONCEPCIÓK

1. A KONCEPCIÓK MEGHATÁROZÁSA

Az elmúlt közel három évtized során – amióta világszerte a nagyobb kutatási és fejlesztési programok megindultak – a radioaktív hulladékok problémakörének megoldására sokféle kezelési eljárást és elhelyezési koncepciót javasoltak. A jelen tanulmányban a „koncepció” kifejezés a hulladék kezelésének végleges (utolsó) lépésére vonatkozik.

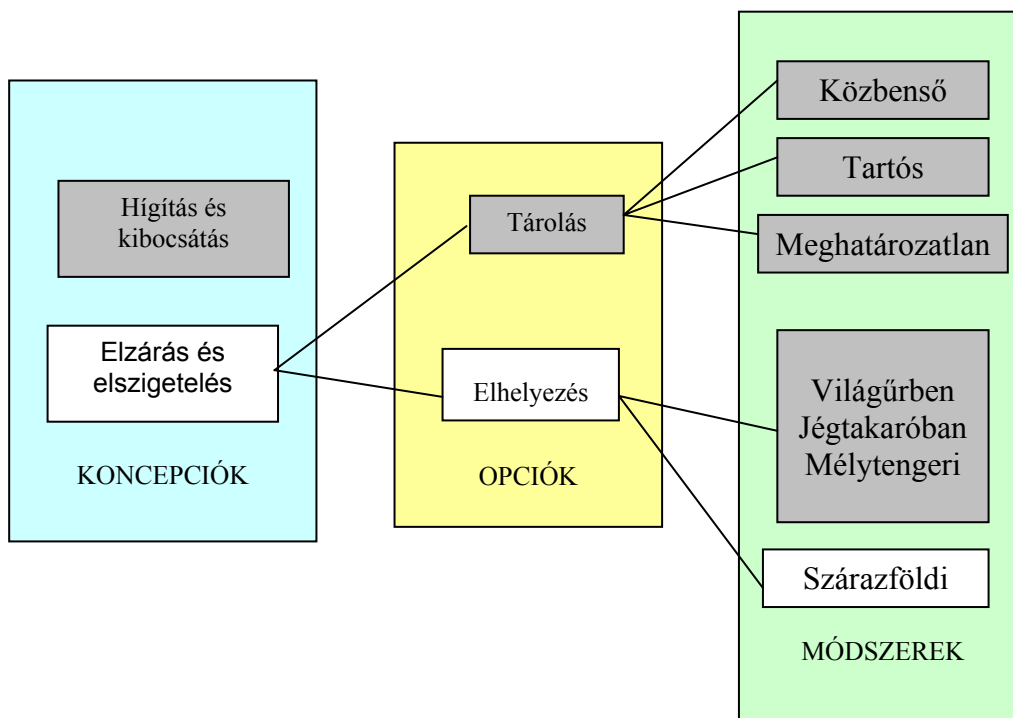
Számos koncepciót komolyabban csak a nagy aktivitású hulladék (üvegbe ágyazott, újrafeldolgozási hulladék) és a kiégett nukleáris fűtőelemek vonatkozásában dolgoztak ki. Kezdetben a K + F tevékenység csak ezekre az anyagokra összpontosult, mivel úgy érezték, hogy ezek kezelése a legnehezebb, és ha sikerül a nagy aktivitású hulladék tartós kezelési megoldásait kifejleszteni, sorra kerülhetnek a hosszú élettartamú hulladékok is. Ekkor ismerték fel, hogy a közepes aktivitású hulladékok sokfélesége és nagyobb mennyisége sajátos problémákat hoz magával, és számos olyan koncepció, amelyik megfelel a nagy aktivitású hulladékok esetében, nem alkalmazható a közepes aktivitású hulladékoknál.

A veszélyes hulladékok kezelésére általában két különböző alapvető koncepció létezik:

- A **hígítás és kibocsátás** általában a háztartási és ipari hulladékokra alkalmazzák. Ez a koncepció, az elzárás és elszigetelés megoldással szemben csak igen kis aktivitású és kis mennyiségű hulladék esetében, és igen szigorú ellenőrzés mellett alkalmazható. Nagy aktivitású hulladék esetében végső megoldásként általában nem életképes.
- A hulladékok **elzárása és elszigetelése** azon alapul, hogy a veszélyes hulladékokat az emberektől és a hozzáférhető környezettől elválasztva tartják. Különböző formákban alkalmazva ezt a koncepciót tekintjük vezérelvnek. Ez az a megoldás, amit világszerte alkalmaznak a radioaktív hulladékokra, annak az alábbi jellemzői miatt: kis térfogat és radioaktív bomlás, és az ebből eredő toxicitás.

Az alábbi ábra azokat a különböző koncepciókat, lehetőségeket és módszereket mutatja, amelyekkel a radioaktív hulladék végleges kezelési megoldásai során foglalkozom.

Hulladékkezelési koncepciók



1. sz. ábra

1.1. HIGÍTÁS ÉS KIBOCSÁTÁS

Kibocsátás alatt azt értjük, hogy a hulladékot szándékosan kiengedik a környezetbe és az olyan mértékben felhígul a levegővel vagy vízzel, hogy nem jelent elfogadhatatlan veszélyt az egyénekre, vagy a népességre. Ez a gyakorlat azon az alapon indokolható, hogy a folyamat eredményeként fellépő sugárterhelés elfogadhatóan alacsony, és semmilyen további kezeléssel nem lehetne úgy csökkenteni a sugárterhelést, hogy az a további költségeket, vagy a tevékenységet végzőkre ható radiológiai terhelést indokolja.

Az említett koncepció, mint az elzárással és elszigeteléssel szemben felvetett alternatíva, a legtöbb radioaktív hulladéktípus esetében általában nem életképes. A kibocsátást gondos ellenőrzés mellett lehet csak végrehajtani, s az szinte minden esetben visszafordíthatatlan műveletnek számít, amely csak korlátozott mennyiségű radioaktív hulladék esetében kerülhet szóba. Ez a koncepció gáznemű, folyékony vagy szilárd radioaktív anyagok szabályozott kibocsátását jelenti a környezetbe, amelyek egy gyakorlati tevékenységből származnak. A nagy aktivitású hulladékok és a kiégett nukleáris fűtőelemek kémiai és radiológiai jellemzői miatt ezekre a radioaktív hulladékokra a hígítás és kibocsátás koncepciója, emberre és környezetre biztonságos hulladékkezelési stratégia gyanánt nem alkalmazható.

1.2. ELZÁRÁS ÉS ELSZIGETELÉS

Ez a koncepció azon alapul, hogy a veszélyes hulladékokat az embertől és a hozzáférhető környezettől elszigetelik és ez a legelterjedtebb megoldás, amelyet a radioaktív hulladékok esetében világszerte figyelembe vesznek. A hulladék elszigetelésére és elzártan tartására két eltérő módszert különböztetünk meg: a tárolást és az elhelyezést.

1.2.1. A tárolás

Koncepcionális szempontból a tárolás nem jelent végleges megoldást, bár a hulladékok elszigetelésére és elzárására ez is egy lehetőség. Három lehetőséget különböztetünk meg:

- Közbenső tárolás

Ez a módszer, a meghatározásból következően ideiglenes intézkedés, amely azon alapul, hogy a kiégett fűtőelemet, vagy a nagy aktivitású hulladékot olyan létesítményben tartjuk, amely biztosítja elzárt állapotát. Az ilyen típusú létesítmények biztonságának és védelmének fenntartásához felügyelet, karbantartás és intézményes ellenőrzés szükséges.

A kiégett fűtőelem bizonyos idejű átmeneti tárolása lehetővé teszi a radioaktivitás lebomlását és a hőfejlődés csökkenését, aminek szükséges voltát, vagy előnyeit minden országban felismerték.

- Tartós tárolás

A „tartós” kifejezés az ilyen típusú hulladék kezelésére vonatkozó végső döntés elodázását, későbbi időpontra való kitolását jelenti. Ebből következően a tartós tárolást úgy kell tekinteni, mint a fűtőelem közvetlen ellenőrzés alatt tartását, mindaddig az időpontig, amíg az elhelyezés módjáról véglegesen döntenek.

- Meghatározatlan ideig tartó tárolás

A „meghatározatlan ideig” kifejezés azt az elképzelést foglalja magában, hogy a hulladékot az ilyen típusú létesítményben úgy tároljuk, hogy nem vizsgáljuk, mikor vesszük vissza azt onnan. A meghatározatlan ideig tartó tárolás nem tekinthető az elhelyezés valódi alternatívájának, ezért a további megfontolásainkból kizárjuk.

1.2.2. Elhelyezés

Az elhelyezést, végső megoldásnak tekintjük. Több különböző elhelyezési módot vizsgálnak, vezetnek be, vagy jelenleg fejlesztenek, hogy a radioaktív hulladékokkal összefüggő problémákat véglegesen megoldják, nevezetesen:

- Elhelyezés a világűrben: az űrrepülő technológiával és rakétákkal;
- Elhelyezés jéggrétegekben: beolvasztás a jégbe, lehorgonyozott elhelyezés és tárolás;
- Mélytengeri elhelyezés: elhelyezés az óceánban, a kontinentális pajzsok lemenő zónáiban, és tengerfenéki elhelyezés (szabadeséses behatoló szerkezetek és elhelyezés fűrt lyukakban);
- Szárazföldi elhelyezési: hidraulikus törés (hidrafrakk eljárások) és helyszínen történő, egytömögű becementezés, felszíni vagy felszín-közeli végleges tárolók, geológiai elhelyezés.

Az eddig megvalósított, vagy a jelenleg fejlesztés alatt lévő radioaktív hulladék elhelyezők fő típusai a szárazföldi elhelyezésen alapulnak – beleértve a felszín-közeli elhelyezőket, a kis mélységű árkokban, vagy felszín alatti kamrákban való elhelyezést, és a geológiai tárolókat. Hosszú éveken keresztül fontolgattak más elhelyezési módszereket is, ezen belül a tengeri (a tengerfenéken, vagy a tengerfenék alatti) elhelyezést, továbbá a jégtakarókban, és a világűrben való elhelyezést. Jelenleg ez utóbbiak közül egyik módszert sem használnak, nem

tekintik ezeket használható végleges hulladékkezelési megoldásnak, különböző műszaki, politikai vagy társadalmi ellenvetések miatt. Némelyik ilyen elképzelés nemzetközi szerződésekkel is ellentétes.

- Elhelyezés a világűrben

Néhány évtizeddel ezelőtt azt képzelték, hogy ez lesz a végleges eltávolítási módszer. A valóságban azonban ez az alternatíva nem valósítható meg tudományos, műszaki és gazdasági tényezők miatt. Ezek közé tartozik a terhek világűrbe emelésének energia-szükséglete, a kilövés esetleges kudarca és annak következményei, valamint a biztonság és a költség közti arány. A módszer abból állna, hogy űrrepülő technológiával és rakétákkal a hulladékot kilőnék a világűrbe, rendkívüli figyelmet fordítva a biztonságra és elkerülve azt, hogy hibás indítás esetén radioaktív anyag kibocsátás lépjen fel. A hulladék Föld-körüli, vagy Nap-körüli pályára állítása nem volna elegendő. Ezek a világűrbeli pályák megváltoznak a hulladék összetevőinek élettartamánál rövidebb időn belül, tehát az ilyen pályákra helyezett hulladékcsoomag várhatóan visszatérne a Földre. A másik lehetőség, hogy a Napba küldjék fel, ami viszont nagyobb rakétákat igényel, ebből következően az elhelyezendő hulladék egységnyi tömegére rendkívül nagy költség jutna.¹

- Elhelyezés jégrétegben

Ez a megoldás műszakilag bonyolult és a folyamatos jégmozgás miatt nehéz előre jelezni, hogy ennek a módszernek mi lenne a végső kimenetele. Többféle módszer gondolatával foglalkoztak, pl.: fúrópadozatok és beolvasztás a jégbe, lehorgonyzás, jégre felépített létesítmények. Az Antarktiszra vonatkozó fennálló egyezmények tiltják ennek a módszernek alkalmazását, ezért nem is készítettek részletes tanulmányokat.²

- Mélytengeri elhelyezés

A mélytengeri üledékekben való elhelyezést végleges eltávolítási módnak tekintették, mely egyúttal a geológiai elhelyezés egy változata. Egy időszakban nagy nemzetközi érdeklődés mutatkozott ezen módszer iránt, és annak ellenére, hogy van bizonyos biztonsági előnye, politikai okokból a fejlesztéseket nem vitték tovább. A módszer lényege az, hogy a hulladékot betokozzák és az a saját súlyánál fogva mintegy 50 m mélyre besüllyed a kb. 4.000 m tengermélységben elhelyezkedő tengerfenéki üledékbe. Egy másik megoldás szerint a hulladékot csomagolásba zárva a tengerfenéki mély fúrt lyukakba süllyesztenék. A műszaki nehézségeken túlmenően egy alapvető problémát kell kiemelni: mindehhez nemzetközi egyezmény megkötésére lenne szükség.

¹ National Research Council. National Academy of Sciences. Disposition of High-Level Waste and Spent Nuclear Fuel. The Continuing Societal and Technical Challenges. 2001.

² IAEA Bulletin. Waste Solutions. An Expanding International Legal Regime. 2000.

- Szárazföldi elhelyezés

Az elhelyező rendszer kialakítása, több tényező mellett, a hulladék jellemzőitől is függ. Több alternatíva is rendelkezésre áll, elsősorban az elhelyezendő hulladék típusától függően.

Felszíni és felszín-közeli elhelyezés, amelynek alapvető technológiáit, az árkokban, dombokban, alagutakban, betonbunkerekben vagy kamrákban való elhelyezést számos országban bevezették és alkalmazzák. Az ilyen elhelyező rendszerek (végső tárolók) a kis- és közepes aktivitású hulladékok lerakásánál az elzárásra és elszigetelésre megfelelnek.

A hidrafrakk eljárás és a helyszínen való becementezés azt jelenti, hogy a folyékony hulladékokat (amelyhez esetleg lassan szilárdító adalékot, pl. cementet kevernek) porózus rétegekbe injektálják. Ezt az elhelyezési módot ma is alkalmazzák néhány országban, a kis- és közepes aktivitású hulladékokra, korlátozott mértékben. Néhány országban azonban kezeletlen, sokkal nagyobb aktivitású hulladékot helyeztek el ilyen módon a negyvenes és ötvenes években, többnyire nukleáris fegyverkezési programok kapcsán. A rendelkezésre álló igen hiányos információk szerint ezt a gyakorlatot ma már nem folytatják^{3,4}.

A radioaktív hulladékok szárazföldi mélygeológiai formációkban való elhelyezése régebben is és most is az „élenjáró elképzelés” volt⁵. Számos országban ez az egyetlen lehetőség, amelyet egyáltalán vizsgálnak és számon tartanak. Túlnyomórészt ezt a megoldást részesítik előnyben különösen a hosszú élettartamú hulladék esetében. A módszert a geológiai és hidrogeológiai viszonyok több millió évre előre látható stabilitására alapozzák.

A legutóbbi években a hulladékkezelési programok elsősorban a mély földalatti elhelyezőkben történő hosszú élettartamú hulladékok lerakásának műszaki szempontjaira összpontosítottak. Az egyik elért eredmény az, hogy egyetértés alakult ki a szakértők között, hogy megfelelően azonosítani és minősíteni lehet a telephelyeket, továbbá, hogy a geológiai tárolókat úgy lehet kialakítani, hogy a népességre semmilyen rövid távú káros hatás ne lépjen fel az elhelyezés következményeként, és elfogadható szintű biztonság tartható a távoli jövőbe nyúló időtartamra is, a hatósági követelmények időtartamára, sőt azon túl is.^{6,7} Abban is egyetértés alakult ki a szakértők között, hogy a jelen generáció, amelyik a termelt

³ The Geological Disposal of Nuclear Waste. Neil A. Chapman and Ian G. McKinley. John Wiley & Sons

⁴ IAEA (1983b). Disposal of radioactive grouts into hydraulically fractured shale, Tech. Rpt. Series No. 323, International Atomic Energy Agency, Vienna.

⁵ National Research Council. The Disposal of Radioactive Waste on Land. Washington, D.C. National Academy Press. 1957

⁶ OECD/NEA. Strategic Areas in Radioactive Waste Management. 1999.

⁷ OECD/NEA. The Environmental and Ethical Basis of Geologic Disposal. A collective Opinion of the NEA Radioactive Waste Management Committee. 1995.

nukleáris energia hasznát élvezte, a következő generációkat el kell lássa a hulladék tartós elhelyezésének eszközeivel.⁸

Megerősödött a szakértők bizalma a geológiai elhelyezési lehetőség rövid- és hosszú távú biztonságában, az egyes országok szintjén, ahol számos műszaki és engedélyezési tanulmány, szemle és biztonsági értékelés készült a mélygeológiai tároló rendszerekről. Ez a megállapítás azonban nem feltétlenül igaz a nem szakmai csoportokra, amelyek magatartása korántsem ilyen kedvező. Sok hulladék elhelyezési fejlesztési program került súlyos társadalmi kritika alá és néhány említésre méltó kivételtől eltekintve (mint amilyen a WIPP geológiai tároló), sok telephely fejlesztési program szenved késedelmet.

1.3. KÖVETKEZTETÉSEK

A legtöbb olyan ország, ahol atomerőművekben villamos energiát termelnek, az üzemanyagciklus lezárása irányába halad. Radioaktív hulladékkezelési programjaik a mélygeológiai tároló létesítményekben történő hosszú élettartamú hulladékok elhelyezését célozzák, ami az egyetlen alkalmazható szárazföldi eljárás. Csak így biztosítható a hosszú élettartamú hulladékok elszigetelése az emberi környezettől. Ezt a megközelítési módot jelentős viták és tárgyalások után választották ki, miután úgy találták, hogy sem a tengerben, sem a geológiai pajzsok peremén, sem mély fúrólukokban, sőt még a világűrben tervezett elhelyezés sem alkalmas, akár a költségek, akár a kockázatok szempontjából, vagy a gyakorlatban nem valósítható meg, politikai, vagy jogi korlátok miatt. A hulladékkezelési programokon belül most elsősorban arról kell vitának folynia, hogy mikor és hol történjen az elhelyezés, semmint azon, hogy valóban a mély geológiai tároló-e a legkedvezőbb megoldás.

2. A KIÉGETT FŰTŐELEM ÉS A NAGY AKTIVITÁSÚ HULLADÉK KEZELÉSI STRATÉGIÁJÁNAK A LEHETSÉGES ELEMEI

Annak ellenére, hogy a hulladék-elhelyezéssel foglalkozó szakmai közösség bízik a mélygeológiai elhelyezés lehetőségében, változatlanul a hulladékkezelésért felelős szakmai közösségre nehezedik az a nyomás, hogy megkeresse és értékelje a lehetséges megoldásokat.

⁸ IAEA Safety Series No. 111-F. The Principles of Radioactive Waste Management. A Publication within the RADWASS Programme. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1995.

2.1. AZ ELEMÉK MEGHATÁROZÁSA

A kiégett fűtőelem és a nagy aktivitású hulladék kezelésére szolgáló általános program számos elemből tevődik össze, amelyek különböző módokon kombinálhatók, így alakítva ki azt az utat, amely a végleges elhelyezéshez vezet.⁹

- Közbenső és tartós tárolás

Rövid távon a nagy aktivitású hulladék és a kiégett nukleáris fűtőelemek tároló létesítményekben tarthatók. Ezzel lehetővé válik azok aktivitásának lebomlása a megfelelő szintig, amivel megkönnyíthetők a későbbi kezelési műveletek (ez az ideiglenes, vagy közbenső tárolás), másfelől átmeneti megoldásként szolgál, amíg a következő lépésekről döntés születik (tartós tárolás).

- Reprocessálás, újrahasznosítás

Arra is van lehetőségünk, hogy megváltoztassuk a hulladék összetételét. A kiégett fűtőelemek uránt és plutóniumot tartalmaznak, amelyek új fűtőanyagban felhasználhatók. Ezeket az elemeket leválasztva és újra felhasználva, a kiégett fűtőelem nyersanyaga egyúttal jobban hasznosítható, mivel a fűtőelem hosszú távú toxicitása csökken, ugyanis a plutónium új fűtőanyagként fogy el. Ez a szétválasztási folyamat (a reprocessálás) nagy és bonyolult üzemeket igényel.

- Továbbfejlesztett reprocessálás

Tovább bonyolódik a szituáció, ha azt a lehetőséget fontolgatjuk, hogy valamilyen jövőbeli, úgy technológia lehetővé teszi még több nuklid felhasználását. Az egyik ilyen potenciális technológia, ahol még igen sok fejlesztésre van szükség, a transzmutáció. Ennek célja, hogy a hosszú élettartamú radionuklidokat stabil elemmé, vagy rövid élettartamú izotóppá változtassa, ugyanakkor ebből energiát is nyerjen vissza. Így, mind a reprocessálás, mind a transzmutáció megváltoztatja a kiégett fűtőanyagok összetételét és tulajdonságait, ezért a hulladékkezelés lehetséges lépéseiként kell azokat számon tartanunk. Tekintettel arra, hogy milyen messzire jutunk el a reprocessálás, az újra felhasználás és a transzmutáció révén, végül mindig marad valamennyi hulladék, amellyel foglalkoznunk kell, mind a közeli jövőben, mind hosszú távon.

⁹ OECD/NEA Actinide Separation Chemistry in Nuclear Waste Streams and Materials Paris, December 1997

- Elhelyezés

Hosszú távon az egyetlen valós megoldás – mai perspektívánkból tekintve – a hulladék elhelyezése, olyan közegben, amely elég hosszú időtartamon keresztül stabil marad (mélygeológiai vagy geológiai elhelyezés).

A végleges eltávolítás, amellyel egyszer, s mindenkorra megszabadulunk a hulladékoktól, pl. oly módon, hogy kilőjük a világűrbe, gyakorlatilag nemcsak irreális, de a sikertelenség olyan katasztrófa kockázatát jelenti, amelyet kijavítani sem lehet.

A felsorolt elemek bármelyikét is választanánk ki, hogy a végleges stratégiát kialakítsuk, mindig szükség lesz a kiégett fűtőelemek vagy a nagy aktivitású hulladék szállítására a geológiai elhelyezést megelőzően.

2.2. KÖZBENSŐ TÁROLÁS

A hulladék tárolása olyan elzárási és elszigetelési lehetőséget jelent, amelyik abban különbözik az elhelyezéstől, hogy szándékunkban áll valamilyen későbbi időpontban hozzáférni a hulladékhoz, hogy azt visszanyerjük, kezeljük. A kiégett üzemanyaggal kapcsolatos tevékenységek a kezdeti időszakban mindig tartalmazznak műszaki okok miatt tárolást. Ebben a periódusban csökken a fűtőelem radioaktivitása és hőtermelése, ami megkönnyíti a későbbi kezelést.

Ez idő szerint mind száraz, mind vízű átmeneti tárolókra adtak már ki engedélyeket és ezek számos országban üzemelnek. A tárolás igen kicsi biztonsági kockázattal jár mindaddig, amíg az ellenőrzése hatékony. Ha valamilyen okból elmarad az ellenőrzés és a felügyelet, megnőhet az olyan események kockázata, amelyek súlyos következményekkel járhatnak. Ilyen események lehetnek például a hűtés kiesése vagy a tárolt nukleáris anyag törvénytelen felhasználása.

2.3. TARTÓS TÁROLÁS

A tartós tárolás kapcsán a legtöbb probléma a hosszú élettartamú hulladékokkal kapcsolatban merül fel. Ezeket a hulladékokat hosszabb ideig kell tárolni, amíg egy, vagy több hosszú távú hulladékkezelési lehetőség megvalósul. A felszíni tároló rendszerek tervezett élettartama néhány évtized és nem évszázadok, s ezek folyamatos felügyeletet, karbantartást igényelnek, és egyes rendszereiket időnként esetleg cserélni is kell.

Habár általában elismerik, hogy a hulladékokra nézve a tárolás csak átmeneti intézkedés, sok országban folyik a vita arról, vajon nem vall-e rövidlátásra, ha az azonnali végleges geológiai tárolás stratégiáját választják. A késleltetett tárolás helyett a hosszú távú, vagy éppen meghatározatlan határidejű felszíni tárolást azok

szorgalmazzák, akik elvetnék a végső geológiai tárolást, mint nem kellően bizonyított és nem kellően kifejlesztett megoldást és akik a következő generációknak szabad kezet akarnak biztosítani a hulladékkezelés jobb módszereinek kidolgozására, igen hosszú időtávlatban. A meghatározatlan idejű felszíni tárolás nem sok K + F tevékenység tárgya, és a nagyobb nukleáris programmal rendelkező országok egyike sem választotta a határozatlan végpontú tárolást, mint követendő alapelvet.

2.4. REPROCESSZÁLÁS, ÚJRAHASZNOSÍTÁS

Ez a kifejezés arra a gyakorlatra utal, hogy a kiégett fűtőelemet újra feldolgozzák, kivonják belőle a plutóniumot, urániumot, valamint a nem kívánatos hasadási termékeket és aktinidákat. A plutónium, mint fűtőanyag újra felhasználható. Az urán is újra felhasználható fűtőelemként, vagy feldolgozható más alkalmazásokra, de sok esetben hulladéknak tekintik, mivel a hasadóképes U-235 izotóp nagy részét kiégették belőle. A hasadási termékeket és a visszamaradó aktinidákat, amelyek a használt fűtőelemnek csak igen kicsiny hányadát jelentik, az elhelyezéshez megfelelő közegbe, pl. üvegbe ágyazzák.

A reprocesszálassal leválasztott uránt és plutóniumot MOX¹ fűtőelemen használják fel, amely urán és plutónium-oxid keverékéből áll. Könnyűvízes reaktorokban a MOX fűtőelemet két, vagy három fűtőelem ciklusban is fel lehet használni. /MOX: Mixed OXide fuel = kevert oxid fűtőanyag /

Ezután a plutónium izotóp-összetétele a további felhasználásra alkalmatlanná válik, mert rontja a reaktor biztonsági jellemzőit.

Annak ellenére, hogy a reprocesszálas megváltoztatja az adott hulladékforma jellemzőit, a kiégett fűtőelem reprocesszálása nem csökkenti a geológiai tároló iránti igényt.

Ezen túlmenően, a szükséges tároló mérete és létesítési költsége számottevően nem változik.

A fűtőelem reprocesszálására vonatkozó döntést különböző szempontok mérlegelésével lehet meghozni. Ilyenek pl. a fűtőelem ciklus lezárási módjainak költségvizsgálata, a hazai fűtőelem források rendelkezésre állásának elemzése, annak igénye, hogy az uránium forrásokból ki akarjuk-e aknázni az összes kinyerhető energiát, vagy, hogy mekkora a kiégett fűtőelemek átmeneti tárolási kapacitás igénye. Vizsgálandó, hogy mekkora a visszanyert urán és plutónium energiájának értéke, ha az új fűtőelem gyártásánál nyersanyagként használjuk fel azokat. Ebből látható, hogy az energiatermelő reaktorokból származó fűtőelem újrafeldolgozásának kérdése nem kizárólag hulladékkezelési kérdés.

2.5. TOVÁBBFEJLESZTETT REPROCESSZÁLÁS

A szétválasztás és transzmutálás technológiáját arra szánták a szakemberek, hogy a nukleáris hulladékban csökkentsék az aktinidák és a hosszú élettartamú hasadási termékek mennyiségét. A nukleáris hulladék transzmutációs kezeléséhez először a felhasznált fűtőelemet reprocesszálni kell, majd a hulladékáramot kell megosztani, hogy leválasszák azokat az izotópfajtákat, amelyeket nukleáris módszerekkel transzmutálni lehet.¹⁰

A transzmutáció egy összefoglaló kifejezés, amely magában foglalja az „elégetést”, vagyis ebben az értelmezésben a hasadási termékekké történő átalakítást és a neutron-befogással elérhető átalakítást, amely során másik sugárzó izotóp, vagy stabil elem képződik.

Ha a nukleáris fűtőelemet újrafelhasználás céljából reprocesszálják és ha néhány hosszú élettartamú radionuklid transzmutálása hatékonyan beilleszthető a fűtőelem ciklusba, esetleg megéri a szétválasztást és transzmutálást végrehajtani. A geológiai tároló iránti igény azonban ezután is fennmarad, a többi hosszú élettartamú nuklid számára.

Így tehát a jelenlegi perspektíva szerint a nukleáris fűtőelem feldolgozási hulladék és más, hosszú élettartamú radionuklidokkal szennyezett anyagok elhelyezésére szükség lesz, tekintet nélkül arra, hogy reprocesszálunk-e, és sikerül-e olyan gyakorlati technológiákat kifejleszteni, amelyekkel a hosszú élettartamú radioaktív hulladék komponenseket elválaszthatjuk és transzmutálhatjuk.

Jelenleg úgy tűnik, hogy az elválasztási és transzmutációs technológia megvalósítása csökkenthetné a hulladékkezelés elhelyezés előtti kockázatait és a hulladéktárolók fizikai tönkremenetelével, pl. az emberi behatolással járó kockázatokat. Ezt azonban általában nem tekintjük jelenleg az üzemanyagciklus lezárás rövidtávon megvalósítható megoldásának, sem pedig egy olyan módszernek, amelynek révén törölhető lenne a mélygeológiai tároló létesítmények iránti igény, ahol a mai műveletekből származó hosszú élettartamú hulladék elhelyezése a cél.

2.6. GEOLÓGIAI ELHELYEZÉS

A nagy aktivitású és hosszú élettartamú hulladék és a kiegészített üzemanyag kezelési stratégiájának mindig ez az utolsó eleme. A geológiai elhelyezés választása

¹⁰ OECD/NEA Status and Assessment Report on Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation. NEA/PTS/DOC (98)6. OECD-NEA Paris, November 1998. Final Report of the Expert Group on Actinide, Fission Product Partitioning and Transmutation.

egyaránt megköveteli a robosztus műszaki alapokat és a társadalom megértését és elfogadó készségét, amit ezen elkötelezettség mellett tanúsít.¹¹

Minden olyan országban, ahol fennáll a radioaktív hulladék iránti felelősség, ki kell dolgozni egy módszert a mélységi geológiai elhelyezésre, vagy a saját országon belül, vagy azon kívüli térségben, amit más országokkal együtt kell kifejleszteni.

Az elmúlt évtizedben számos kezdeményezés indult, vagy magánereiből, vagy nemzetközi szervezetek szintjén, azzal a céllal, hogy megvizsgálják a regionális vagy nemzetközi tárolók lehetőségét, amelyek egynél több ország hulladékát fogadnák be. Nyilvánvaló, hogy az ilyen közös projektek mellett erős gazdasági és műszaki érvek szólnak, de pillanatnyilag a társadalom és a politika szintjén erős az ellenérzés.

3. A NAGY AKTIVITÁSÚ HULLADÉK, ÉS/ VAGY A KIÉGETT NUKLEÁRIS FŰTŐELEMÉK TIPIKUS KEZELÉSI STRATÉGIÁINAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Az előző fejezetben azokat az elemeket vizsgáltam, amelyek kombinációjával kialakíthatjuk a kiválasztott stratégiát. Mielőtt a legáltalánosabb stratégiákat kiválasztanánk, érdemes rámutatni, hogy mi is az a stratégia, ahogy a fogalmat ebben a tanulmányban használom.

A stratégia határozza meg, hogy milyen úton érjük el a kezelési program célját, a különböző elemek kombinációja révén.

A jelen fejezetben kvalitatív módon a tipikus stratégiákat hasonlítom össze, azaz a kiégett nukleáris fűtőelemek és a nagy aktivitású hulladékok nemzetközi szinten alkalmazott legrealisabb és legjellemzőbb kezelési módjait.

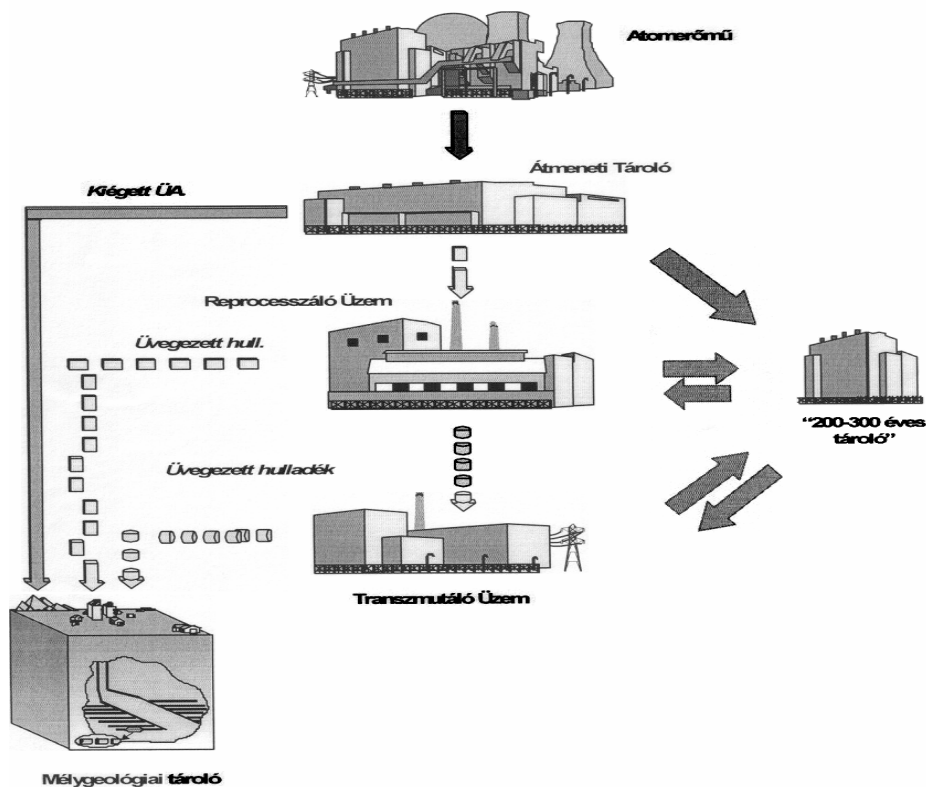
3.1. A LEHETSÉGES STRATÉGIÁK MEGHATÁROZÁSA

A fent leírt összes hulladékkezelési elemek vagy módszerek potenciálisan alkalmazásra kerülhetnek egy átfogó hulladékkezelési stratégiában, amely végső soron a tényleges elhelyezéshez vezet. Ha ezeket az elemeket kombináljuk, a kiégett nukleáris fűtőelemek és nagy aktivitású hulladék kezelésére különböző stratégiák körvonalazódnak. Érdemes hangsúlyozni, hogy nemcsak a nukleáris üzemanyag ciklusokból származhat hulladék, hanem az ipar különböző ágazataiban, az egészségügyben és a kutatásban a radioizotópok alkalmazásából is.

¹¹ OECD/NEA. Geological Disposal of Radioactive Waste. Review of Developments in the Last Decade. 1999

Amint azt a 2. sz. ábra mutatja, négy tipikus stratégia alakítható ki (vagyis az atomerőművekből származó kiegészített nukleáris fűtőelemek és a nagy aktivitású hulladék kezelésének négy módja van):

Az elhasznált nukleáris fűtőanyag kezelési stratégiái



2.sz. ábra

- Nyílt üzemanyag ciklus

Ez az eljárás azt jelenti, hogy a kiegészített fűtőelemet, vagy a radioaktív hulladékot véglegesen elhelyezik egy létesítményben, az újabb visszanyerés szándéka nélkül. Ez a radioaktív hulladék kezelésének végpontját jelenti.¹²

Ebben a stratégiában a kondicionált kiegészített fűtőelemet (konténerbe zárva) egy mély geológiai tárolóban helyezik el. A geológiai közeg, amelynek feladata, hogy befogadja a tárolót, a különböző országokban meglévő geológiai körülmények szerint változik. Egy ilyen mélygeológiai tároló addig lesz nyitva, amíg a hulladék lerakása folyik, azaz akár évtizedeken keresztül,

¹² SKB. Technical Report TR-01-03. Integrated account of method site selection and programme prior to the site investigation phase. December 2000

majd ezután azt felügyelni kell. A felügyeletet, ha kívánatos, hosszabb időtartamra is ki lehet terjeszteni. A tároló hosszú távú biztonsága azonban nem függ az ellenőrzésektől és a karbantartástól.

Habár egyelőre nincs ilyen szándék, az elhelyezésre kialakított tárolóból vissza lehet szedni a hulladékot, vagy a kiégett fűtőelemet. A hozzáférhetőség, mint igény azonban tudatosan beilleszthető a lerakó terveibe. Ugyanakkor a hozzáférhetőség tervezési szinten való biztosítását el lehet odázni olyan intézkedésekkel, amelyek korlátozzák a hulladékhoz való hozzáférést, pl. visszatömedékelés, vagy a vágatok lezárása. A hozzáférhetőség azt a lehetőséget jelenti, hogy a hulladék elhelyezés folyamatát visszafordítjuk.

- Hagyományos, zárt üzemanyag ciklus

A kiégett nukleáris üzemanyag hasadóképes anyagokat tartalmaz, főleg uránt és plutóniumot, amelyeket nyersanyagként fel lehet használni új fűtőanyag gyártásához. A reprocessálás az ilyen anyagok – kiégett fűtőelemből történő – kinyerésére irányuló nukleáris folyamat. A visszamaradó anyagok között szerepelnek hasadási- és felaktiválási termékek, és ezek adják a nagy aktivitású, hosszú élettartamú hulladékokat is.¹³

Ebben a kezelési stratégiában a kiégett fűtőelemet – bizonyos időtartamú, átmeneti tároló létesítményben tartás után – reprocessálják és a reprocessálásból eredő nagy aktivitású hulladékot mély geológiai tárolóban helyezik el. A kiégett fűtőelemek reprocessálása után a geológiai tárolóban történő elhelyezésre vonatkozó döntést későbbre lehet halasztani, ami a keletkezett nagy aktivitású folyékony hulladék, vagy a kezelt, üvegbe ágyazott hulladék tárolásának meghosszabbítására vezet. A reprocessálás más hosszú élettartamú hulladék keletkezését is eredményezi, amelyet hasonló módon kell elhelyezni.

- Továbbfejlesztett, zárt üzemanyag ciklus

A transzmutáció eredményeként a hosszú élettartamú radionuklidokból több rövid élettartamú termék keletkezik a nukleáris reakciók során. Ezek végrehajtásához a hosszú élettartamú radionuklidokat intenzív neutron besugárzásnak kell alávetni. A folyamat energiát termel, amely felhasználható, pl. villamos energia termelésére. A hatékony transzmutáció előfeltétele, hogy a kiégett fűtőelemben lévő anyagokat el lehessen választani, ami viszont a reprocessálási technológia további fejlesztését

¹³ Publicación técnica de ENRESA 04/2001. „Considerations on possible Spent Fuel and High Level Waste Management Options”. 2001.

igényli. Ennek segítségével választhatók el a transzmutálható anyagok a hagyományos reprocessálás nagy aktivitású hulladékot tartalmazó oldatából. Az elkülönítési művelet jelenleg laboratóriumi és félüzemi fejlesztés állapotában van.

Ebben a stratégiában a kiégett fűtőanyagot bizonyos idejű átmeneti tárolás után reprocessálják és a keletkező termékeket szétválasztási és transzmutációs eljárásnak vetik alá, amelynek során a minor aktinidákat és a hosszú felezési idejű hasadási termékeket átalakítják. Ezt követi az elhelyezés a mély geológiai tárolóban, ahol a nagy aktivitású hulladékot és a kiégett fűtőelemből készített besugárzási tárgyakat helyezik el. A hulladék transzmutációja után a geológiai elhelyezésre vonatkozó döntést későbbre lehet halasztani, ami a keletkezett szétválasztási és transzmutációs maradékok tartós tárolására vezet.

- A késleltetés stratégiája

A tárolás során a kiégett fűtőelemet vagy radioaktív hulladékot valamilyen létesítményben helyezik el, azzal a szándékkal, hogy onnan visszanyerik. Mindehhez megfelelő elszigetelést és ellenőrzést biztosítanak.

E kezdeti tárolási szakasz, műszaki okokból mindig része a kiégett fűtőelem kezelésének. A radioaktivitás és a kiégett fűtőanyag hőtermelése folyamatosan csökken ebben az időszakban, megkönnyítve a további kezelést.

A tárolás elméletileg határozatlan ideig fenntartható, megfelelő karbantartással, bár ez az elképzelés irreális és ebből következően úgy kell tekintenünk, hogy mindössze közvetlen ellenőrzés alatt kívánják tartani a fűtőanyagot, amíg végleges döntés születik valamilyen előzetes, vagy végleges elhelyezési módszerről. A fenti elvek alapján a tárolást időben meg lehet hosszabbítani, vagy ugyanazokban a létesítményekben, vagy más helyeken.

3.2. AZ ÖSSZEHASONLÍTANDÓ STRATÉGIÁK KIVÁLASZTÁSA

Az előző fejezetnek megfelelően, négy általános stratégia létezik:

- A nyílt üzemanyag ciklus;
- A hagyományos zárt üzemanyag ciklus;
- A továbbfejlesztett zárt üzemanyag ciklus;
- A késleltetés stratégiája.

Az összehasonlító elemzés megkönnyítése érdekében a reprocesszási, valamint a szétválasztási és transzmutációs alternatívákat összevontam. Jó lehetőséget kínál az összevonáshoz az a körülmény, hogy a reprocesszási szükséges feltétel ahhoz, hogy a szétválasztást és transzmutálást elvégezzék.

3.3. ÖSSZEHASONLÍTÁS

A kiválasztott három hulladékkezelési változat értékelése során kritikusan és minőségileg vizsgálom azokat az alapvető szempontokat, amelyeket a hulladékkezelési stratégia kiválasztásakor figyelembe kell venni. Nem szándékoztam mindenre kiterjedő listát összeállítani, de legalább a minimális alapokat rögzíteni kívántam, amelyek irányt adhatnak és amelyek alapján elkészíthető a magyarországi program lehetséges forgatókönyveinek részletes elemzése.

A kiválasztott három hulladékkezelési stratégia összehasonlítását a mellette és ellen szóló érvek elemzésével végeztem, illetve rámutattam a kiválasztott stratégia következményeire, az egyes értékelési szempontok alapján. Ezek a szempontok: etikai kérdések, tudományos és műszaki megvalósíthatóság, a biztonsággal és az engedélyezéssel kapcsolatos problémák, társadalmi és politikai elfogadtatás, a finanszírozás és a költség–haszon elemzés, a megvalósítás időzítése és ütemterve, valamint a nemzetközi együttműködés.

3.3.1. *Etikai szempontok*

Mivel radioaktív hulladékok már most is léteznek, múltbeli vagy jelenlegi tevékenységek következményeként, a hulladékkezelés témájával szembe kell néznünk, tekintet nélkül a nukleáris energia jövőjére. A cél a hulladékok olyan kezelése, hogy a jövőben várható következmények mind biztonsági, mind etikai szempontból elfogadható szinten kezelhetőek legyenek.

A jelenlegi környezetvédelmi politikák egyre inkább a hosszú távú következményekhez kapcsolódó globális jellegű kérdéskört vizsgálják. Ebben az összefüggésben az egyre jobban kibontakozó környezeti tudatosság, az igen erős etikai gondolkodás megjelenésével együtt, a morálisan korrekt emberi magatartás fontosságát mutatja. Ez a tendencia játszik közre azon társadalmi gondolkodásban, amely együtt kezeli a műszaki és etikai megfontolásokat annak érdekében, hogy az ipari fejlődésből származó legtöbb hasznot nyerje, és a lehető legkevesebb legyen a káros hatása, mind most, mind pedig a jövőben.

A hosszú távon potenciális veszélyt jelentő hulladékkezelési tevékenységek során az érdeklődés az etikai témák két kérdéskörére összpontosul:

- Felelősség. A radioaktív hulladékokkal kapcsolatos tevékenységek célja, hogy az emberi egészséget és a környezetet megvédve gondoskodjon a radioaktív hulladék kezeléséről most és a jövőben is anélkül, hogy méltánytalan terheket hárítana a jövő generációkra, továbbá, hogy meghagyja saját választási lehetőségeiket. Ebből következően a hulladéktermelők felelősséggel tartoznak és ezért pénzügyi forrásokat kell biztosítaniuk ezen anyagoknak olyan módon való kezelésére, amely nem jelent indokolatlan terheket a jövő nemzedékekre.

| Nyílt üzemanyag ciklus | Továbbfejlesztett zárt üzemanyag ciklus | Késleltetés |
|---|--|---|
| <p>A jövő generációk számára „komplett” megoldást nyújt.</p> <p>Kisméretű folyamatos felügyeletet igényel és karbantartást. Ezért a jövő generációknak nem kell semmilyen intézkedést tenniük az egészségük és környezetük védelmére.</p> <p>Az a generáció viseli a pénzügyi és politikai terheket, amelyik a hulladék keletkezéséhez vezető tevékenység hasznát élvezte.</p> <p>Előfordulhat, hogy a jövő generációkat kizárja abból a lehetőségből, hogy valamilyen – előre nem látott okból – újra hozzáférjenek a hulladékhoz.</p> | <p>Ez egy további lépés a fűtőelem-ciklus lezárásában, amelyet a jövő generációknak kell kidolgozniuk és végrehajtaniuk.</p> <p>Csökkenti az előre nem látható események elméletileg lehetséges jövőbeli következményeit.</p> <p>Ez esetben is szükséges mély geológiai tároló létesítése.</p> | <p>A társadalom egészsége és védelme érdekében elvárás, hogy a jövő generációk biztosítsák a létesítmények folyamatos felügyeletét és fenntartását.</p> <p>A védelmet a társadalmi körülményekből eredő hosszú távú kockázatok veszélyeztethetik.</p> <p>Több évtizedet biztosít a végleges elhelyezési módszerek további kifejlesztésére és a tervek megváltoztatásának vizsgálatára (lehetővé teszi a lépésenkénti megvalósítást).</p> <p>Nem zárja ki azt a lehetőséget, hogy a jövő generációk további műveleteket hajtsanak végre a hulladékkal. A döntés elhalasztása nem vet véget a nagyaktivitású hulladékokkal kapcsolatos konfliktusoknak.</p> |

- Fenntarthatóság. Etikai parancsként fogalmazódik meg, hogy gondoskodjunk a jövő generációkról, és úgy járunk el, hogy – amennyire csak lehet – megőrizzük lehetőségeiket arra, hogy a Föld erőforrásainak hasznát vegyék. Az emberi egészségért és a környezetért érzett aggodalmat jól illusztrálja az egyre fejlődő világunkban a „fenntartható fejlődés” koncepciója. Ezt a koncepciót így fogalmazták meg: „a jelen igényeket úgy kell kielégíteni, hogy ne veszélyeztessük a jövő generációkat saját szükségleteik kielégítésében”.

| Nyílt üzemanyag ciklus | Továbbfejlesztett zárt üzemanyag ciklus | Késleltetés |
|--|--|---|
| <p>A jelenlegi generáció nem hagy hátra valós tevékenységekkel járó felelősséget a következő generációkra.</p> <p>Jelentős mennyiségű enyhén dúsított urán és plutónium vész el a közvetlen elhelyezés során, amikor is nem számolnak a hulladékok esetleges visszatermelésével.</p> <p>Fokozatos – lépésenkénti – megközelítésmódot lehet megvalósítani, amikor is a jövő generációknak lehetőséget hagyunk arra, hogy eltérő kezelési stratégiákat valósítsanak, ha erre igényük lesz.</p> <p>A mélygeológiai tárolók helye érintheti a nyersanyagok, mélységi vizek és mezőgazdasági területek jövőbeli kiaknázását, illetve hasznosítását.</p> | <p>Megfelel az erőforrások megőrzésére, a természeti erőforrások kiaknázásával kapcsolatos és a környezet hosszú távú védelmére vonatkozó társadalmi elvárásoknak.</p> <p>Az új technológiák kifejlesztése javíthatja a nukleáris fűtőanyag-tartalékok felhasználási lehetőségeit.</p> <p>Hatékonyabb lehet az energiaforrások kiaknázása (elsősorban a Pu és az U) a gyorszaporító reaktorokban és a gyorsítóval kombinált rendszerekben.</p> | <p>Nem etikus, mivel a valós tennivalók felelősségét a jövő generációkra hagyja.</p> <p>A jövő generációk – ha úgy döntenek – gazdasági érdekekből ismét hozzáférhetnek a kiégett nukleáris fűtőanyaghoz, ily módon további kezelési opció lehetősége marad meg.</p> <p>A jelen generációk „egyenlő esélyeket” biztosítanak a következő generációknak, ők pedig hasonlóan a még későbbieknek.</p> <p>A megmaradó hasadó anyagot továbbra is felügyelni kell.</p> <p>Legnagyobb hiányossága abból ered, hogy a jövő társadalmait stabilnak tételezi fel.</p> |

3.3.1.1. A biztonsággal és engedélyezéssel összefüggő problémák

A radioaktív hulladékkezelés célja annak biztosítása, hogy a kiégett fűtőelem és radioaktív hulladékkal való tevékenység minden szakaszában az egyén, a társadalom és a környezet kellő védelmet kapjon az ionizáló sugárzás káros hatásaival szemben, most és a jövőben egyaránt és világszerte magas színvonalú biztonságot érjen el és tartson fenn a hulladékkezelési tevékenységben.

Világos, hogy bármilyen koncepciót választunk a nagy aktivitású hulladék kezelésére, annak hosszú távon biztonságosnak kell lennie, mind a létesítő, mind a hatóság megítélése szerint. A biztonságot demonstrálni kell a létesítő szervezetek, a hatósági testületek, a szélesebb műszaki társadalom, a politikai döntéshozók és az általános közvélemény számára is.

Különösen fontos, hogy a meggyőző érvek beépüljenek ezeknek a csoportoknak a gondolkodásába és növelni lehessen az adott rendszer koncepciójának biztonságába vetett bizalmat, megvilágítva az elkerülhetetlenül fennálló bizonytalanságokat is. Ezen túlmenően, be kell látnunk, hogy a radioaktív hulladékkezelés hosszú távú biztonságát érintő döntések mindig valamilyen bizonytalansággal terheltek.

A radioaktív hulladékkezelés létesítményeit mindig több lépésben fejlesztik és engedélyezik és a döntéshozatalban számos szervezet és csoport is részt vesz. A létesítő szervezet és a tevékenységet ellenőrző hatóság műszaki szakemberei és vezetői felelősségi körébe tartozó döntések többnyire olyan műszaki érveken alapulnak, amelyek a javasolt koncepció megvalósíthatóságát és a hosszú távú biztonságot igazolják.

A kiégett fűtőelemek és a radioaktív hulladék kezelés műveleteinek engedélyezési rendszeréhez meg kell teremteni a szükséges törvényi és hatósági keretet. Ezen keretnek kell biztosítania, hogy az engedély olyan módszeres biztonsági értékelésen és környezetvédelmi vizsgálaton alapuljon, ami a jelzett veszélyek mértékének megfelel.

- Radionuklid készlet.

A biztonsági elemzés korszerű módszerei a veszélyt jelentő szituációknak mind a valószínűségét, mind pedig a súlyosságát vizsgálják az emberekre, a vagyoni értékekre, illetve a környezetre vonatkozó szempontok szerint. Az ilyen elemzést gyakran „kockázat-elemzésnek”, illetve környezetvédelmi hatásvizsgálatnak neveznek. Ebben az értelemben a „kockázat” úgy definiálható, hogy a lehetséges ártalmak meghatározása, az előfordulás valószínűségének és a következmények súlyosságának figyelembevételével.

A kiégett fűtőelemek és a nagy aktivitású hulladék minden értelemben biztonságos kezelési stratégiáinak vizsgálatánál a legnagyobb jelentősége a kibocsátott sugárzás intenzitásának, az intenzitás csökkenési ütemének van, továbbá annak, hogy milyen könnyen lehet az adott anyagot nukleáris fegyverekhez felhasználni (biztonsági fenyegetettség). A kiégett fűtőelem kezelésének célja, hogy az ilyen kockázatot csökkentse, a fűtőanyagot az ember és a környezet számára hozzáférhetetlenné tegye.

- Az atomfegyver elterjedésének veszélye.

Az egyes országok különböző nemzetközi szerződésekkel, mint a nukleáris anyagok elterjedését tiltó megállapodással, az Euratom Szerződéssel és sok más lehetséges, kétoldalú szerződéssel biztosítva vállalják, hogy a nukleáris anyagokat csak békés célokra használják fel. Az atomerőművekben és az átmeneti tárolókban erre kialakított eljárásrendek szabályozzák a kiégett fűtőelemek kezelését. Az összes mérést dokumentálják és mind a NAÜ, mind az Euratom gyakran végez ellenőrzést. Ezeket az ellenőrzéseket megkönnyíti az a tény, hogy a kiégett fűtőelem mindig hozzáférhető a verifikáláshoz és méréshez. A tartályokba zárás (tokozás) után ez nehezebbé válik és más ellenőrzési eljárásokat igényel. Mélységi elhelyezés esetén néhány újabb kérdés merül fel. A NAÜ úgy nyilatkozott, hogy a nukleáris anyagok biztonságos és ellenőrzött tárolását (safeguard) a tároló végleges lezárása és visszatömedékelése után is fenn kell tartani.

- Üzemeltetési biztonság.

Bármilyen radioaktív, vagy nukleáris technikai eljárásrendszer vizsgálatának alapja, hogy a biztonságot a rendszer különböző részeinek működésére nézve kell elemezni (az átmeneti tárolásra, tokozásra, szállításra, a kezelésre vagy mélységi elhelyezésre). Ennek az elemzésnek ki kell térnie mind a normális üzemvitelre, mind a rendkívüli események kockázataira. A rendszert úgy kell megtervezni, hogy a személyzet biztonsága garantált legyen, a sugárterhelés pedig minimális. A vízzel és levegővel a környezetbe irányuló kibocsátást alacsony szinten kell tartani, ugyanígy az egyes műveletek során keletkező radioaktív hulladék mennyiségeket is.

- Hosszú távú biztonság.

Bármilyen koncepció is kerüljön kiválasztásra a nagy aktivitású hulladékok vagy a kiégett nukleáris fűtőelemek keletkezésére, annak hosszú távú biztonságát mindig igazolni kell. A lehetséges változatok bármilyen összehasonlítása csak azonos időskála alapján végezhető el. Különösen fontos kérdés a geológiai tárolók rendszere kapcsán az ilyen létesítmények hosszú távú biztonsága. A mélygeológiai tárolók biztonságát biztonsági

elemzésekkel értékelik, melyben elemzik, hogy az idők folyamán milyen változások várhatók a tárolóban és ezeknek a változásoknak milyen következményei lehetnek a biztonságra nézve.

- Felügyelet és ellenőrzés.

Ez a hulladéktároló telephely vagy létesítmény aktív ellenőrzését jelenti az intézményi ellenőrzés időszakában.

3.3.2. Társadalmi és politikai elfogadtatás

A hulladékkezelési program során hozott döntések a szerinti változnak, hogy milyen csoport felelősségi körébe tartozik: politikusok, a felhasználók, hatóságok vagy a szélesebb társadalom.

A különböző alternatívák értékelését az teszi nehezzé, hogy a projekt élettartama igen hosszú, ami megnehezíti a távoli jövőre vonatkozó történések előrejelzését. Ez különösen a társadalmi hatásokra érvényes, amelyek szintén a jövő generációktól, azok döntéseitől és gyakorlati intézkedéseitől függenek. Másrészt viszont a társadalom magatartásában bekövetkező bármilyen – elsősorban a nukleáris energiatermeléssel kapcsolatos – változás képes az egész társadalmi környezetet befolyásolni, ezen belül különösen a mély geológiai tárolók, a szétválasztás és transzmutáció alternatíváinak elfogadását.

Nagyon fontos a döntéshozatalban a nyitottság és az átláthatóság azért, hogy megnyerhető legyen a közvélemény bizalma.

- Politikai elfogadtatás.

Az egyes országok kormányainak meg kell határozniuk mind a politikájukat körvonalazó alapelveket, amelyek szerint a hulladékot biztonságosan, környezetvédelmi szempontból átgondoltan és költség-hatékonyan kezelik, mind pedig a világos döntéshozatali eljárásrendeket. A politika végrehajtásához a kormánynak kell a szervezeti, pénzügyi és hatósági megoldásokról is gondoskodnia.

- A társadalmi elfogadtatás.

A társadalmi megítélés, a bizalom és az elfogadtatás nem kizárólag a radioaktív hulladékkezelés kérdése, hanem általában a nukleáris energia szélesebb értelemben vett elfogadására vonatkozik. Ebben az esetben a társadalom a nukleáris energiát, mint a jövő vegyes energiaforrásainak egyikét fogadja el.

Az Európai Unió tagországaiban végzett közvélemény-kutatás alapján a megkérdezett emberek majd a fele vélekedett úgy, hogy a nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezése azért késlekedik, mert nem létezik biztonságos megoldás. A megoldás késlekedésének okát a többség a téma politikai népszerűtlenségében látja. (Háttér információ, hogy az EU 15 tagországa közül 9 rendelkezik üzemelő vagy leállított atomerőművi blokkal.)

3.3.3. Gazdaságosság, finanszírozás és költség-haszonelemzés

A radioaktív hulladékkezelés költsége magas, de a termelt villamos energia értékéhez képes – amelynek előállításánál keletkezett – csak néhány százalékot tesz ki. A költségek legnagyobb részét a nagy aktivitású hulladék kezelése emészti fel. A jelenlegi becslések alapján a radioaktív hulladékkezelés összes költségének legnagyobb tétele a nagy aktivitású hulladék tokozása és elhelyezése, akár az üvegezett formájú reprocesszálásból származó hulladék esetében, akár a feldolgozás nélküli kiégett fűtőelemnél. A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék kezelésének költsége ennek tizedrésze.

A legtöbb ország a költségek fedezetét „a szennyező fizet” elv alapján próbálja előteremteni, amelyet ebben az összefüggésben „a hulladéktermelő fizet” formában lehet értelmezni. Ennek az elvnek alkalmazásával azt akarják biztosítani, hogy a nukleáris üzemeltető megfelelő intézkedéseket tegyen a hulladék biztonságos kezelése érdekében és a költségeket a villamos energia árán keresztül azokra hárítják át, akik a hulladékot eredményező villamosenergia-termelés előnyeit élvezik.

A hulladékkezelés finanszírozására több módszer alakul ki. Ilyen módszerek lehetnek a közvetlen hozzájárulás, a hulladékkezelő ügynökségek számára történő befizetések rendszere, kölcsönök folyósítása és a hosszú távú kötelezettségek fedezésére szolgáló pénzalapok létrehozása.

A hulladékkezelés speciális hosszú távú finanszírozási megoldásait azért dolgozzák ki, hogy végső soron biztosítsák a jövő generációk számára azok biztonságát. Így teremtenek ésszerű biztosítékot arra, hogy kellő pénzalap áll majd rendelkezésre a szükséges műszaki és intézményesített tevékenységek végrehajtására úgy, és akkor, amikor arra igény lesz.

A gyakorlatban a finanszírozás módszere országról-országra változik, attól függően, hogy milyen hulladékkezelési stratégiát választottak és hogyan fejlődtek a nukleáris programok. A nagy aktivitású hulladék vagy a kiégett nukleáris fűtőelemek meghosszabbított tárolása, akár 50 évet meghaladó ideig, számottevő többletköltség kihatást nem jelent. Az ilyen tárolók fenntartásának költségei, még

igen hosszú időn keresztül is elég alacsony ahhoz, hogy pénzügyi nehézséget ne okozzanak. A mélygeológiai tárolókban való elhelyezés sem jelent semmilyen súlyos pénzügyi problémát feltéve, hogy a tároló rendelkezésre áll, vagy viszonylag rövid idő alatt létrehozható. Az ilyen tároló ellenőrzési, felügyeleti költsége, akár 100 éves, vagy annál hosszabb időszakokra, szintén kellően alacsony ahhoz, hogy ne okozzon pénzügyi nehézséget.

Ezen túlmenően, a nagy aktivitású hulladék és/vagy a kiégett nukleáris fűtőelemek elhelyezése a tárolás egy hosszabb periódusa után már más kérdéseket vet fel. Az az idő, amely a hulladék keletkezése és végleges elhelyezése között eltelik, túl hosszú ahhoz, hogy a nukleáris üzemeltetők – akik a hulladékokat termelték – közvetlen részvételével lehessen számolni a hulladék mozgatásában és abban, hogy a tároló telephelyeket megépítsék és üzemeltessék. Továbbá, különösen akkor, ha a nukleáris programokat leállítják, még az a lehetőség is fennáll, hogy a felelős szervezetek megszűnnek létezni.

3.3.4. Nemzetközi együttműködés

Az elmúlt évtized során vita folyt, mind a nemzeti programok, mind a nemzetközies szintjén, a radioaktív hulladékkezelési szolgáltatások önellátó, önmagukban elegendő voltáról, illetve a nemzetközi, vagy regionális tárolók kérdéséről. Néhány ország (Finnország, Franciaország vagy Svédország) amelyek világosan kifejtette saját politikáját ebben a tekintetben, törvényben tiltja meg a radioaktív hulladék elhelyezési célból való importját vagy exportját, míg néhány másik ország szívesen látna ilyen együttműködést az elhelyezés megoldásában. Ez a probléma – a nemzetközi szervezetek szintjén – ugyancsak megfontolás tárgyát képezte, pl. a Nemzetközi Atomenergia Ügynökségben vagy az Európai Bizottságban. Vannak magánvállalatok is, amelyek közös projektet kezdeményeztek. Ez történt a Pangea esetében, amelyik 2000 végén megalakította a Nemzetközi Tárolók Érdekeltségi Csoportját (IRIG). Ennek célja, hogy fórumot teremtsen az érdekelt országok vagy szervezetek számára, és ezzel segítse és finanszírozza a nemzetközi tároló koncepciójának kidolgozását.

Lényegében az összes nemzeti hulladékkezelési program érzékeli, hogy az országoknak kell saját elhelyezési problémáikra megoldást javasolni, de ez feltehetőleg inkább a politikai realitások tükröződésének ítéltető, semmint a műszaki, etikai vagy környezeti megfontolásokon alapuló elvnek. A legtöbb, nukleáris programmal rendelkező ország saját tervei megvalósításán dolgozik.

Elvileg nyilvánvalónak tűnik, hogy erős gazdasági és műszaki érvek szólnak az ilyen projektek mellett, különösen azokban az országokban, ahol a nukleáris energetikai program nem nagy méretű. Az ilyen döntések társadalmi-politikai

vonzatai azonban olyan nagyságrendűek, hogy az ilyen megoldások végeredményét nem lehet pontosan előre látni.

A megoldás keresése érthető és műszaki szempontból igen ésszerű, de egyúttal társadalmi-politikai szempontból nagyon érzékeny is.

Annak érdekében, hogy a politikai probléma dimenzióját a jelenlegi nemzeti perspektívából kiemeljük, érdemes megemlíteni azt a vitát, amelyik az elmúlt években az Európai Unió keretében zajlott. A Közösség radioaktív hulladékokra vonatkozó tevékenységi terve 1980-ban indult azzal a céllal, hogy az Európai Unió országaiban kialakult helyzetet elemezze és végül arra törekedett, hogy meghatározza a radioaktív hulladékkezelés, az alapelvek, a gyakorlat, a stratégiák és jogszabályok harmonizációjához szükséges tennivalókat. Ezzel a céllal egy stratégiai dokumentumot dolgoztak ki és hagytak jóvá 1994-ben, amely az összes olyan elemet tartalmazta, amit a továbbiakban követni kell, hogy ésszerű harmonizációt érjenek el. Abban a szakaszban az egyik vizsgált elem az egész unió területére vonatkozó ún. önellátás volt. A vita ez időben számos ellenérvet vetett fel, főleg azoknak az országoknak az oldaláról, akik elvetették azt a lehetőséget, hogy más országokból hulladékot importáljanak. Az elvi kérdésen túl az volt a fő érv, hogy ha megengedik közös tároló, vagy tárolók létesítését, ez meghiúsítaná a kidolgozás alatt lévő nemzeti programokat. Az önellátás elemét végül felhívták a kiadott dokumentumban és biztosnak látszik, hogy nem is foglalkoznak ezzel mindaddig, amíg a legmagasabb politikai szinten azt meg nem vitatják.

4. A STRATÉGIÁK ELŐNYEINEK ÉS HÁTRÁNYAINAK ÖSSZEGLÉSE

Az összetevők kiválasztása az általános stratégiához különböző jellegű, mellettük és ellenük szóló érveket tartalmaz, amelyek kvalitatív összegezését az alábbiakban foglalom össze:

- Nyílt üzemanyag ciklus stratégia

| ELŐNYEI | HÁTRÁNYAI |
|---|---|
| - A technológia rendelkezésre áll. | - Az összes hosszú élettartamú radionuklid a hulladékban marad. |
| - Kevés kezelési lépést tartalmaz, kis dózissal terheli a személyzetet. | - Rossz az urán energia-kihasználása. |
| - A távoli jövőben hozzáférhető és javítható. | - Igen hosszú időszakra kell a komplex biztonságot értékelni. |
| - Nagyon kicsi a súlyos következmények kockázata. | - A hasadóképes anyag a távoli jövőben is megmarad. |

- Továbbfejlesztett fűtőelem-ciklus stratégia

| ELŐNYEI | HÁTRÁNYAI |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Az urán energiatartalma sokkal jobban hasznosítható, gyorszaporító reaktorokban és gyorsítóval kombinált rendszerekben. - A hulladékban lévő hosszú élettartamú radionuklidok mennyisége jelentősen csökken. - Csökkenti a hulladék urán és plutónium tartalmát. - Csökkenti a dúsított uránra mutatózó igényt. - Időálló hulladékformát eredményez. - Hosszú távon a radiotoxicitás kisebb, mint a közvetlen elhelyezés esetén. | <ul style="list-style-type: none"> - A technológiája ma még nem áll rendelkezésre és bizonytalan, hogy mikor készül el. - A sok kezelési, technológiai lépés megnöveli a személyzet dózisértékét és a kibocsátás kockázatát. - Tovább növeli a költségeket. - Több hulladéktípus jön létre. - Megnövekszik a nukleáris fegyverek anyagának készítéséhez alkalmas technológia elterjedésének veszélye. - Nem jelent végleges megoldást. |

- Késletelési stratégia

| ELŐNYEI | HÁTRÁNYAI |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - A technológia rendelkezésre áll. - Fenntartható az anyag és a biztonság feletti ellenőrzés. - Rugalmasságot biztosít, bármilyen jövőbeli kezelési mód számára. | <ul style="list-style-type: none"> - A biztonságért viselt felelősséget a következő generációkra terheli. - Aktív ellenőrzést, őrzést és karbantartást igényel. - Érzékeny a társadalmi folyamatokra. - Nem jelent végleges megoldást. |

Mint azt korábban említettem, a szétválasztási és transzmutációs eljárás a fejlesztés korai fázisában van. A munkák nagyobb része elemzési és prototípuskutatói állapotban van. A további fejlesztés lehetőségét értékelve az eljárás jó lehetőséget jelenthet bizonyos jól meghatározott és koncentrált hulladék esetében, de valószínűtlen az eljárás gyakorlati alkalmazása heterogén hulladék kezelésére, ahol a kontamináció szétszóródott. Ezen technika alkalmazása – a széles körű konszenzus alapján – nem fogja helyettesíteni a geológiai elhelyezést. Legjobb esetben az elhelyezendő radionuklid hulladékkészlet kevesebb hosszú élettartamú összetevőt fog tartalmazni.

A fentiek alapján a szétválasztási és transzmutációs eljárás egyfelől irreálisnak tekinthető, másfelől nem ad teljes körű megoldást.

A reprocessálás a szétválasztás és transzmutáció alkalmazásának előfeltételét jelenti, mely manapság költséges eljárás, ami a jelenlegi gyakorlat szerint csak kevés előnyt jelent a hulladékkezelés szempontjából, mivel az eljárás hulladékai, a visszanyert uránium és plutónium is visszakerül abba az országba, ahonnan a kiégett üzemanyag származik. Csak akkor tekinthetjük hasznos anyagnak az uránt és a plutóniumot, ha azok további energiaforrásként szerepelnek. Ellenkező esetben negatív értéket képviselnek, mert, mint hulladék további kezelést igényel.

Az első fejezetben elemeztem és rendszerbe foglaltam a nukleáris hulladékkezelés lehetséges módozatait. A módozatok közül kiválasztottam a lehetséges stratégiákat, majd egyes értékelési szempontok alapján rámutattam azok alkalmazásának következményeire.

Összehasonlító elemzésben vizsgáltam és összegeztem a stratégiák előnyeit és hátrányait, melyekből azt a következtetést vontam le, hogy a Magyarországon keletkező radioaktív hulladékok kezelésére saját nemzetünknek kell megoldást találnia, mely feladatrendszerrel célszerű egy nemzeti programba integrálni, amely figyelembe veszi a különböző nukleáris hulladék típusok összes fajtáit.

A nagy aktivitású radioaktív hulladékok és az elhasznált nukleáris fűtőanyag biztonságos elhelyezését, az élővilágtól történő elszigetelését a szárazföldi, mélygeológiai formációba történő tárolás biztosítja a legeredményesebben.

II. A KÜLÖNBÖZŐ ORSZÁGOK NAGY AKTIVITÁSÚ HULLADÉK ELHELYEZÉSI KONCEPCIÓJÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉSE

(Németország, Egyesült Államok, Finnország, Franciaország, Hollandia, Nagy-Britannia, Svédország és Svájc)

1. HÁROM ALAPVETŐ MEGKÖZELÍTÉSI MÓD

Valamennyi vizsgált ország kisebb vagy nagyobb mértékben tanulmányozta a nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezésének vagy átalakításának lehetséges megoldásait.¹⁴ Ezen tanulmányok alapján – a törvényileg meghatározott, végleges elhelyezésre vonatkozó stratégiák szempontjából – az országokat három csoportra osztom:

¹⁴ Nemzetközi áttekintés a nagy aktivitású radioaktív hulladék és az elhasznált fűtőanyag elhelyezési programokról. Tanulmány ENRESA, 2001.

- Németország és az Egyesült Államok úgy ítéli meg, hogy a mélygeológiai tárolóban való elhelyezés egy alkalmas megoldás és, hogy területükön a földfelszín alatt léteznek e célra megfelelő helyek. A törvénykezésük kimondja, hogy a hulladékokat csak akkor lehet ily módon tárolni, ha már bizonyításra került, hogy a kijelölt helyek teljesítik az erre meghatározott feltételeket. Németországban és az Egyesült Államokban már kijelölték azokat a helyeket, ahol a részletes felmérést el kell végezni. Az Egyesült Államokban folynak a munkálatok, és 2002-re várják a döntési javaslat beterjesztését a hely megfelelősége tárgyában. Németországban a legutóbbi választásokat követően moratóriumot hirdettek a kiválasztott helyszínen folyó kutatásokkal kapcsolatosan, miközben történnek kísérletek a helyszín-kiválasztási folyamat újbóli beindítására és arra, hogy bizonyos, a már elvégzett munkálatokkal kapcsolatos műszaki kérdéseket tisztázzanak.

Az ezen országok által alkalmazott megközelítést „determinista megközelítés”-nek deklarálják.

- Finnország, Franciaország, Svédország és Svájc fenntartják annak a lehetőségét, hogy hulladékaik geológiai formációkban kerüljenek elhelyezésre. Törvénykezésük nem írja elő ezt a fajta megoldást, de megkönnyíti az ilyen irányban végzendő kutatásokat. Mivel nincsenek kijelölt helyszínek, a kutatási feladatokat általában föld alatti laboratóriumokban végzik. Ennek ellenpontjaképpen, nagyszámú törvényt és rendelkezést hoztak a döntéshozatali folyamat és a lakossági részvétel szabályozása érdekében. Ezekben az országokban összességében most zajlik a helyszínek kiválasztás folyamata. Finnország esetében már közel járnak a németországi, illetve az Egyesült Államokbeli helyzethez, vagyis jelentős előrehaladást értek el a megfelelő helyszín kijelölésével és az ottani felmérési munkálatokkal kapcsolatban.
- Hollandia és Nagy Britannia úgy határozott, hogy hulladékait átmeneti jelleggel tárolják anélkül, hogy törvényi úton meghatároznák a végleges megoldásra vonatkozó kutatások irányát. Törvénykezésük szabályozza a felelősségi körök kialakítását, az átmeneti tárolással, illetve az esetleges végleges elhelyezéssel kapcsolatos kezeléseket és finanszírozási lehetőségeket. A végleges megoldás tekintetében mindkét ország várakozó álláspontra helyezkedik.

2. A „DETERMINISTA” MEGKÖZELÍTÉSI MÓD: NÉMETORSZÁG ÉS AZ AMERIKAI EGYESÜLT ÁLLAMOK

A Német Szövetségi Köztársaság és az Egyesült Államok az egyedüli országok, ahol az elhasznált fűtőanyag és a nagy aktivitású hulladék kezelésével kapcsolatos megoldások keresése egyértelműen a mélyen fekvő geológiai formációkban való

elhelyezésre irányul. A törvény világosan kimondja az állam részvételét az ez irányú stratégia megvalósításában. A két eset a következő hasonlóságokat mutatja.

1. A törvényerejű rendelkezés kimondja a nagy aktivitású hulladékok tárolókban való végleges elhelyezésének szükségességét.
2. Mindkét esetben, a végleges elhelyezés a szövetségi állam feladatkörébe tartozik, amely ily módon felelős annak megvalósításáért és a hulladékok tulajdonlásáért azoknak a tárolóba való átszállítását követően.
3. Az Egyesült Államokban és Németországban kijelölték a telephelyeket, jellemzésük megkezdése és megfelelő voltuk igazolása céljából. Az első esetben jelenleg is folynak a munkálatok. Németországban moratóriumot hirdettek a kutatási feladatok folytatására. Időközben megpróbálják kialakítani a tároló elfogadhatóságának kritériumait, figyelemmel néhány, problémát felvető műszaki kérdésre.

A Nevada állambeli Yucca Mountain-t jelölték ki, mint azon valószínű helyet, ahol majd az NWPA 1987-es módosítása értelmében – kialakítják a hulladéktárolót (NWPA 1987. 113. bek. Helyszín felmérése).

Gorleben kijelölése 1980-ban történt meg Alsó-Szászország kormányzatának javaslatára, egy nyilvánvaló nemzeti konszenzus elérését követően. Számos előzetes tanulmány igazolta Németország északi részén olyan területek meglétét, ahol „priori” rendelkezésre állnak megfelelő feltételek a hulladékok tárolására.

4. Az amerikai és a német stratégia a központi tároló létesítmény megvalósításával a tárolókban való elhelyezést megelőző lépésnek tekinti.
5. A termelők kötelesek megfizetni az elhasznált fűtőanyag kezelésével kapcsolatban felmerülő költségeket. A Törvény értelmében a hulladék termelői létre kell hozzanak egy Alapot az elhasznált fűtőanyag jövőbeli kezelése céljára. Németországban ezen pénzalapok a vállalatok belső alapjaiként kezelendők, amíg az Egyesült Államokban az atomerőművek tulajdonosai az általuk termelt energia mennyiségével arányos kvótát fizetnek be a kormány által kezelt Alapba.

3. A „LEHETŐSÉGEK SZERINTI” MEGKÖZELÍTÉS: FINNORSZÁG, FRANCIAORSZÁG, SVÉDORSZÁG ÉS SVÁJC

Ez az országcsoport aktívan munkálkodik az elhasznált fűtőanyag geológiai formációkban való végleges elhelyezésének megoldása érdekében. Az Egyesült Államoktól és Németországtól eltérően azonban jogrendjük nem határozza meg előre ezt a megoldást.

3.1. FINNORSZÁG, SVÉDORSZÁG, SVÁJC: AZ ATOMERŐMŰVEK VEGYES TULAJDONLÁSA

1. A finnországi, svédországi és svájci törvénykezés kimondja, hogy a hulladék termelői kötelesek megoldást keresni a hulladékok környezetvédelmi és egészségügyi szempontból megfelelő módon való elhelyezésére. Az állam fenntartja magának a jogot a létesítmények engedélyezésére és a kutatási folyamat felügyeletére.
2. A hulladék-elhelyezés folyamatának felügyeletét Finnországban, Svédországban és Svájcban az idevonatkozó törvénykezés határozza meg. Alkalmazása Finnországban és Svédországban a geológiai mélytárolás koncepciójának illetve a hozzákapcsolódó munkálatok elvégzésének jóváhagyását és támogatását vont maga után. Mindhárom esetben az állam adminisztratív eljárásokat alkalmaz.
3. A svéd és svájci hulladékkezelési programokban szerepel a központi átmeneti tárolás is. Ehhez mindkét ország megfelelő létesítményt működtet. A két ország törvénykezésében nem található idevonatkozó előírás. Ellenben, ezt a kezelési formát a két kormány finanszírozási mechanizmusokon keresztül erősíti meg. Finnország, két nukleáris helyszínen az atomerőművek területén tárolja az elhasznált fűtőanyagot. Törvénykezése értelmében, az állam fenntartja magának a jogot, hogy az atomerőművek tulajdonosaival közös intézkedéseket hozzon.
4. A svéd és svájci törvénykezésben nincs semmiféle utalás a hulladék tulajdonlására vonatkozóan a végleges tároló létesítése és lezárása utáni időszakban. Ugyanakkor egyértelműen szabályozzák az állam beavatkozási jogait bizonyos feltételek teljesülése esetén. A finn törvénykezés kimondja, hogy a tulajdonjog az államra száll át „amennyiben a hulladékok biztonságos módon kerültek elhelyezésre”.
5. Svédországban, Finnországban és Svájcban jogszabályi kötelezettség mondja ki, hogy az elhasznált fűtőanyag jövőbeli kezelése céljából pénzügyi Alapokat hozzanak létre. Az Alapok a hulladéktermelőktől függetlenek. Svédországban létezik egy konkrét törvény erre vonatkozóan. Finnország az Atomenergia Törvény keretében, Svájc pedig rendeletben szabályozza ezt a kérdést.
6. Svédországban, Finnországban és Svájcban működik olyan vállalat, amely a végleges megoldás keresésével foglalkozik (SKB, POSIVA, NAGRA). Ezek magánvállalatok. Részvényeseik az atomreaktorokkal rendelkező villamos energia-termelő vállalatok, amelyekben ugyancsak többségi tulajdonnal rendelkeznek, illetve fő részvényes az állam szabályozza.

3.2. FRANCIAORSZÁG

1. A kutatási irányokat törvény határozza meg melyeket a Parlament fogad el. A kormány évente köteles benyújtani a Parlament felé egy jelentést ezek állásáról. Ugyancsak szabályozzák a jövőbeni, 15 éves kutatást követően a döntéshozatali folyamatot.
2. A kutatási feladatok elvégzésének fő felelősei az Atomenergia Ügynökség (CEA) és az ANDRA, mindkettő állami intézmény. A CEA egyúttal hulladéktermelő is, és részt vesz a nukleáris kutatásokban. Feladatkörét alapító okirat határozza meg. Az ANDRA kompetenciáját a geológiai formációkban való végleges hulladék-elhelyezés kutatásában és egyéb kutatási területeken való közreműködését törvény szabályozza.
3. Az állam aktívan részt vesz a föld alatti laboratóriumok kialakításához kapcsolódó lakossági részvétel mechanizmusainak kidolgozásában. A törvény szerint az érintett települések részvétele ebben a folyamatban kötelező és a munkálatok megkezdése előtt előzetes egyeztetést kell lefolytatni. Ez a jogszabály hívta életre a Közvetítőt, a Helyi Bizottságokat és állapította meg a laboratóriumok engedélyeztetéséhez szükséges kérelmek elbírálásának rendjét.
4. Jogszabály nem írja elő központi átmeneti tárolók létrehozását. A hulladékok nagy részének újrafeldolgozására irányuló politika következményeként a keletkező üvegezett hulladékot a COGEMA-ban* tárolják. Az újrafeldolgozásra nem kerülő fűtőanyagot az atomerőművek medencéiben tárolják.

* A COGEMA egy állami vállalat, amely három újra feldolgozó üzemmel rendelkezik

5. A nukleáris törvénykezés nem érinti külön az elhasznált fűtőanyag és nagy aktivitású hulladék végleges elhelyezése céljára való befizetések kötelező jellegét. A befizetések a francia pénzügyi törvénykezésben lefektetett szabályoknak megfelelően történnek.
6. A Törvény állami vállalatra, az ANDRA-ra bízta a radioaktív hulladék hosszú távú kezelésének kérdéskörét.

Ugyancsak törvényi úton kerültek szabályozásra az ANDRA és a föld alatti laboratóriumok létesítésére alkalmasnak tűnő helyszínek közötti kapcsolatok.

4. VÁRAKOZÓ ÁLLÁSPONT: NAGY-BRITANNIA ÉS HOLLANDIA

4.1. NAGY-BRITANNIA

1. Nagy-Britanniában semmiféle törvény, rendelet vagy egyéb jogszabály nem írja elő az elhasznált fűtőanyag végleges elhelyezésére követendő politikát. A meglévő normatíva a radioaktív hulladékok biztonságos kezelését szabályozza.
2. Különböző deklaratív jellegű dokumentumok jelzik, hogy a kormány végleges elhelyezési politika kialakításában gondolkodik. Ennek ellenére a nukleáris villamos energia-termelés egy részének privatizációját követően meglehetősen bizonytalanság áll fenn abban a témában, hogy vajon ugyancsak privatizálásra kerültek-e a különböző felelősségi körök az elhasznált fűtőanyag végleges elhelyezésével kapcsolatosan vagy ennek a stratégiának a kialakítása a termelő dolga.
3. Az elhasznált fűtőanyag kezelésére szolgáló, jövőben felmerülő költségek megtérüléséhez való hozzájárulások kötelezettsége általános jellegű és az „szennyező fizet” elven alapszik. A módszer lényege: pénzüsszegek elkülönítése az egyes vállalatok mérlegén belül.
4. Jelenleg a kormány továbbra is szükségesnek tartja a különböző kezelési módokkal kapcsolatos lehetőségek társadalmi szintű megvitatását, az egyes módszerek előnyeinek bemutatásán túlmenően. Ennek értelmében, nem hagy jóvá semmiféle stratégiát mindaddig, amíg ezeket a konzultációkat le nem folytatták.
5. Nem létezik a hulladékok végleges elhelyezésére irányuló kezeléssel megbízott szerv. A kormány megítélése szerint erre mindaddig nincs szükség, amíg nem állnak rendelkezésre a lakossági konzultációk eredményei.

4.2. HOLLANDIA

1. Nem létezik törvény vagy egyéb jogszabály által meghatározott radioaktív hulladékkezelési politika. Az ilyen irányú politika meghatározása a kormány „Országos Környezetvédelmi Politika Terve” című dokumentumában található meg.
2. Az elhasznált fűtőanyag újrafeldolgozása kötelező a minden fajta hulladékra vonatkozó környezetvédelmi törvénykezés értelmében. A kormány ugyancsak javasolja az aktinidák elégetésének, mint hulladék mennyiség-csökkentési alternatívának a vizsgálatát.

3. A hulladékkezeléssel kapcsolatos végleges döntés hiányában a közvetlen alternatíva a hosszú távú tárolásra szolgáló létesítmények kialakítása. A megoldás az aktinidák szétválasztására vonatkozó technológiák további kutatása és a visszanyerhető, föld alatti tárolókban való elhelyezés lehetőségeinek vizsgálata.
4. A hulladékok tárolása, valamint bizonyos kis aktivitású hulladékokkal kapcsolatos kezelési műveletek felelőse a COVRA lesz. Ezt a vállalatot a hulladéktermelők hozták létre a kormány részvételével és jóváhagyásával.
5. A jelenlegi és jövőbeni hulladékkezelés finanszírozása a hulladék termelői részéről egy e célra létrehozott alapba való befizetéseken alapszik. Ezt a rendszert a legfőbb hulladéktermelők a COVRA – a hulladékkezeléssel és az ideiglenes tároló létesítmények működtetésével megbízott szerv – megalakítását célzó egyezségükben rögzítették.

5. A NEMZETKÖZI KITEKINTÉS ALAPJÁN KÖZÖS JELLEMZŐK ÉS GONDOLATOK A NEMZETI PROGRAMHOZ

Valamennyi vizsgált ország hulladékkezelési rendszerének keretében működik olyan szervezet, amelyek felelősséggel tartozik a nagy aktivitású hulladékok, valamint az elhasznált fűtőanyag és a hosszú élettartamú hulladékok kezeléséért. Ez érvényes Magyarországra is, ahol – egyebek között – a RHK Kht-hez tartozik ez a feladat. Kivételt képez Nagy Britannia, ahol egy ilyen jellegű szervezet megalakításának kérdése jelenleg napirenden van.

Az előzőekben elemzett országok rendelkeznek polgári célú nukleáris programmal és néhányuk (Franciaország, Nagy-Britannia és az Egyesült Államok) katonai jellegű nukleáris programot is folytatnak. Mindegyikük széles körben használ fel radioizotópokat a kutatás és az orvostudomány, valamint különböző ipari ágazatok területén. Ezek a tevékenységek elhasznált fűtőanyagot, nagy aktivitású és/vagy hosszú élettartamú nukleáris hulladékot termelnek, amelyek kezelése a hosszú távú programok feladat.

Jelenleg minden ország a geológiai elhelyezést tekinti az egyetlen járható útnak ahhoz, hogy a hosszú élettartamú hulladékokat az emberi környezettől hatékonyan izolálják. Még Hollandia is, amelyet számos alkalommal említenek, mint a geológiai elhelyezés visszautasításának példáját, elfogadja azt az általános véleményt, hogy a jelenleg létező legjobb megoldás hosszú távra a geológiai mélytárolás, bár a tárolót olyan módon kell kialakítani, hogy szükség esetén a hulladék visszanyerhető legyen.

Annak ellenére, hogy minden ország bízik a geológiai elhelyezés lehetőségében, egy folyamatos nyomás tapasztalható új megoldási módok keresése irányába.

Az elmúlt évtizedben különböző országokban újabb elhasznált fűtőanyag, illetve nagy aktivitású hulladék átmeneti tárolására szolgáló felszíni létesítmények épültek, illetve épülnek. Így Hollandiában, Finnországban, Németországban és Svájcban. Jelenleg még nem működik ilyenfajta hulladék végleges elhelyezésére egyetlen geológiai tároló sem, kivétel az amerikai katonai program transzurán hulladékainak elhelyezésére épített WIPP.

Az átmeneti tárolás megoldásában elért nagyobb sikerek a hulladéktermelők rövidtávú szükségleteinek sürgősségét tükrözik. A megnövekedett felszíni tárolási kapacitás csökkenti a nyomást a végleges elhelyezés céljára szolgáló geológiai tároló megépítésére. A felszíni tárolók ugyancsak olcsóbbak rövidtávon, bár ez az opció hosszú távon végül is költségesebb.

Az elmúlt évtizedben fontos előrehaladást sikerült elérni számos országban a geológiai tárolók kialakításához vezető úton, főképpen a telephely jellemzés területén, a biztonsági elemzésekben, valamint a föld alatti laboratóriumok létrehozásában.

A különböző típusú kőzetekkel kapcsolatos információszerzésre, modellek kifejlesztésére és kipróbálására, valamint tárolóhelyek kialakításával kapcsolatos technikák kikísérletezésére földalatti laboratóriumokat létesítettek Aspö-ben (Svédország), Grimsel-ben és Mount Terri-ben (Svájc) és Tournemire-ben (Franciaország).

Geológiai tárolók lehetséges helyszínein folytatandó kutatások szerves részeként helyszín-specifikus földalatti laboratóriumok is működnek Yucca Mountain-ban (USA), Mol-ban (Belgium) és ide sorolandók még a tervezett francia laboratóriumok, valamint a jelenleg moratórium alatt álló Gorle-ben (Németország).

Az egy évtizeddel ezelőtti állapotokhoz képest meghosszabbodott az elhasznált fűtőanyag és a nagy aktivitású hulladékok tárolására szolgáló geológiai mélytárolók kialakítására tervezett idő. A késedelem oka egyrészt további technológiai és tudományos előrelépésre való várakozás, bár a leggyakoribb eset az, hogy a politika és a közvélemény jóváhagyására kell várni. Az igen ambiciózus svéd és amerikai programok esetében a csúszás években mérhető. A kanadai és a brit programot újraértékelték és mindkét kormány hosszú megvalósítási periódusra számít, melynek kezdeti lépéseként szervezeti változások bevezetését tervezik. Franciaországban törvény rendelkezik arról, hogy nem hoznak végleges döntést 2006 előtt. Hollandiában ugyancsak törvényhozási úton halasztották későbbre a geológiai elhelyezés kérdésével kapcsolatos döntés meghozatalát, és csaknem teljesen megszüntették a geológiai elhelyezés irányában tett erőfeszítéseket, annak ellenére, hogy ezt az opciót műszakilag megfelelőnek tekintik. Németországban

Gorleben-i munkákat felfüggesztették, és újabb lehetséges helyszínek keresése folyik.

Törvényhozási és szabályozási szempontból az a tendencia figyelhető meg, hogy a hulladék-elhelyezéssel kapcsolatos törvényeket, illetve rendelkezéseket egy szélesebb körű környezetvédelmi szabályozás részévé tették és a továbbiakban lépésről-lépésre követik a folyamatokat a megvalósítás és szabályozás szintjén.

A környezetvédelmi, illetve a nukleáris törvénykezés szintjén több országban történt jelentős előrelépés az elmúlt évtized során. Új környezetvédelmi, illetve nukleáris törvényeket fogadtak el Nagy-Britanniában, Németországban, Hollandiában. A kanadai kormány 1997-ben nyújtotta be szabályozórendszerének újrafogalmazását előirányzó törvényt. Svájcban jelenleg folyik az Atomenergia Törvény felülvizsgálata.

A legtöbb ország esetében igaz, hogy a tárolók kialakításához vezető út kritikus pontja nem a megoldatlan műszaki problémákban keresendő, hanem a megoldás politikai és a közvélemény általi elfogadtatásában. Egyértelműen érezhető a megfelelő tájékoztatás és a közvélemény nagyobb mértékű részvételének igénye.

Az érintettek szélesebb körének részvétele a tárolók kialakításának programjában különböző szinteken oldható meg. Az egyes országokban különféle megközelítési módokat alkalmaznak ezen a területen. A közvélemény bevonásának legelterjedtebb módja a javaslatok elfogadtatásához vezető döntéshozatali folyamatban való közvetlen részvétel. Csak Svájcban van lehetőség arra, hogy egy projekt ellenzői népszavazás megtartását kezdeményezték, bár konzultációs jelleggel került már sor referendumra Svédországban is. Ugyanakkor, több ország tette lehetővé a nagyközönség részvételét a döntéshozatalban a lehetséges tároló kialakításának helyszínén. A közmeghallgatásokon való közvetlen képviselő nem gyakori, de az írásbeli konzultáció meglehetősen gyakran alkalmazott módszer.

Az elmúlt évtizedben egymásnak ellentmondó tendenciák mutatkoztak az egyes országok hulladékkezelés területén való önellátási képességével kapcsolatosan. Néhány ország, mint pl. Svédország, Finnország vagy Franciaország nem engedi radioaktív hulladékok tárolás céljából történő kivitelét, illetve behozatalát, mások, mint pl. Svájc kivételes esetekben lehetővé teszi a kivitelét. Mások, mint pl. Hollandia támogatja a közösen kialakítandó tárolási megoldások lehetőségét. A nemzetközi szervezetek keretei között ugyancsak vizsgálták regionális, illetve nemzetközi tárolók kialakításának lehetőségét, melyben több ország által termelt hulladék elhelyezése lenne lehetséges.

Gyakorlatilag minden hulladékkezelési programban érezhető annak a szükségessége, hogy az adott ország hulladékkezelési problémájára maga az illető ország adjon választ. Ez nem tekinthető igazán alapvető elvnek, inkább a jelenlegi

politikai realitásokat tükrözi. Nem fér kétség ahhoz, hogy komoly gazdasági és műszaki indokok vannak, főképpen a csekély atomenergia termelő kapacitásokkal rendelkező országok esetén, ugyanakkor, elsősorban a már igen előrehaladott geológiai kutatási programokkal rendelkező államok esetében léteznek aggodalmak, hogy a „várjunk és meglátjuk” kezdeményezések negatívan érinthetik nemzeti fejlesztési terveik előrehaladását.

Összefoglalva: Ahhoz, hogy egy ilyen típusú együttműködési projekt sikeres legyen minden résztvevő országnak elvként el kell fogadni a tároló kialakításának igényét a saját területén. Ily módon a megvalósítás reális koncepció. Továbbra is nehéz prognosztizálni a megvalósulás határidejét. Ugyanakkor deklarálni szükséges, hogy bizonyos szakmai körökben továbbra is reális koncepció a regionális tároló kialakításának igénye.

A második fejezetben áttekintettem a Magyarországnál jelentősebb katonai illetve polgári célú nukleáris energia felhasználását valamint kutatását végző országok nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésével kapcsolatos koncepcióit. A koncepciókat összehasonlítva levonom azt a következtetést, hogy a nemzetközi tapasztalatokkal megegyezően hazánkban is egyedül a mélygeológiai formációban történő elhelyezésnek van reális jövőképe.

III. A MAGYARORSZÁGI HELYZETELEMZÉS BEMUTATÁSA

1. RADIOAKTÍV HULLADÉKOK ÉS A KIÉGETT NUKLEÁRIS ÜZEMANYAG FORRÁSOLDALÁNAK ÉS TÁROLÁSI LEHETŐSÉGEINEK ELEMZÉSE

Az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény (a továbbiakban: atomtörvény) 40. §-a szerint a radioaktív hulladék végleges elhelyezésével, valamint a kiégett üzemanyag átmeneti tárolásával és végleges elhelyezésével, továbbá a nukleáris létesítmény leszerelésével összefüggő feladatok elvégzéséről a Kormány által kijelölt szerv gondoskodik, mivel ezek megoldása országos érdek.

Az atomtörvény 62. §-ának (1) bekezdése szerint a Központi Nukleáris Pénzügyi Alap (KNPA vagy alap) elkülönített állami pénzalapként finanszírozza a feladatok végrehajtását. Az alappal az Országos Atomenergia Hivatal (a továbbiakban: OAH) felügyelő miniszter rendelkezik, az OAH az alap kezelője.

A Kormány megbízta az OAH-t, hogy a feladatok ellátására alapítsa meg a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Társaságot (a továbbiakban RHK Kht.). A 240/1997. (XII. 18.) Korm. rendelet 2. §-ának (1) c) pontjában pedig a tervezési és beszámolási feladatok körében elrendelte az alapból finanszírozandó

tevékenységek és a bevételi források közép- és hosszú távú terveinek elkészítését és azok évenkénti felülvizsgálatát. A KNPA-ból finanszírozandó tevékenységekre vonatkozó közép- és hosszú távú terv legfontosabb célkitűzése éppen az alapha történő befizetések mértékének megalapozott, átlátható, de egyértelmű meghatározása.

A közép- és hosszú távú tervek és a költségbecslés rendszeres felülvizsgálatát az indokolja, hogy a távoli jövőben esedékes kiadásokra reális fedezetet biztosítson a KNPA. Így valósul meg az az alapelv, hogy az atomenergetikát felhasználó generáció fizesse meg a felhasználásból fakadó, jövőben esedékes tevékenységek költségeit, és ne hagyjon indokolatlan terheket a következő generációkra.

Kutatásomban nem veszem figyelembe az erőmű élettartamának esetleges meghosszabbításával és teljesítményének növelésével kapcsolatos hatásokat, mivel ezek hatósági engedélyezése még nem történt meg.

Tanulmányomban külön tárgyalom a költségvetési intézmények által üzemeltetett nukleáris létesítményekben (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézet – BME NTI – oktatóreaktora és a Központi Fizikai Kutatóintézet Atomenergia Kutatóintézetének – KFKI AEKI – kutatóreaktora) képződő kiegészítő nukleáris üzemanyag kezelésével és a létesítmények leszerelésével kapcsolatos kérdéseket, mivel ezen létesítmények vonatkozásában a forrást az Alapha történő befizetéssel a központi költségvetés biztosítja a költség felmerülésének évében. A jelen információk alapján az elkövetkező néhány évben ilyen költségek felmerülése nem esedékes. Így a KNPA-ba történő befizetéseket az itt tárgyalt kérdés most nem befolyásolja.

1.1. TÁROLT ANYAGMENNYISÉGEK ÉS TÁROLÓKAPACITÁSOK

Az országban csak a Püspökszilágyiban üzemelő Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló (a továbbiakban RHFT) létesítményben van véglegesen elhelyezett radioaktív hulladék.

Az összes eddig keletkezett radioaktív hulladékok legnagyobb részét a püspökszilágyi RHFT területén helyezték el, illetve a Paksi Atomerőmű (a továbbiakban PA Rt.) területén tárolják átmenetileg. Az országban ezen kívül az izotóp- és sugárforrás alkalmazók létesítményeiben is tárolnak ideiglenesen elhasznált sugárforrásokat, ám ezekre – mivel előbb vagy utóbb az RHFT-be kerülnek – kutatásomban nem térek ki.

A PA Rt. területén átmenetileg tárolnak kis, közepes és nagy aktivitású hulladékokat, továbbá kiegészítő fűtőelemeket. Az energiatermelés folyamatában a 3, ill. 4 éves üzemanyagciklus alatt kiegészítő kazetták 5 évre a pihentető medencékbe,

majd ezt követően a Kiegészített Kazetták Átmeneti Tárolójába (a továbbiakban KKÁT) kerülnek átmeneti tárolásra. A Szovjetunióba, ill. Oroszországba 1998-ig 2331 db kazetta került visszaszállításra.

Az RHFT területén véglegesen és a PA Rt. területén átmenetileg elhelyezett radioaktív hulladékok, valamint a kiegészített üzemanyag mennyiségét és a tároló létesítmény kihasználtságát mutatom be a **2. sz. táblázat**-ban a 2002. január 1-jei állapotnak megfelelően.

A BME NTI és a KFKI AEKI területén található kiegészített nukleáris üzemanyag mennyiségét a **3. sz. táblázat** szemlélteti a 2002. január 1-jei állapotnak megfelelően. Ez a táblázat csak a további felhasználásra nem tervezett üzemanyag-mennyiségeket foglalja össze.

1.2. A RADIOAKTÍV HULLADÉKOK ÉS A KIÉGETT ÜZEMANYAG KELETKEZÉSÉNEK ÜTEME, A TÁROLÁS HELYZETÉNEK VÁRHATÓ ALAKULÁSA

1.2.1. Az atomerőművi eredetű kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok keletkezése és tárolása

Az atomerőmű normál üzemeltetése során szilárd és folyékony radioaktív hulladékok keletkeznek. Ezeket az atomerőműben feldolgozzák, és tárolásukat átmeneti jelleggel megoldják.¹⁵

A szilárd radioaktív hulladékok feldolgozhatóság szerint tömöríthető és nem tömöríthető kategóriába sorolhatók. Az évente keletkező szilárd radioaktív hulladék mennyiség feldolgozása után kb. 600 db 200 literes hordó, ami 120 m³ nettó hulladékmennyiségnek felel meg, mely mintegy 210 m³ bruttó tárolási térfogatot igényel.

A folyékony radioaktív hulladékok keletkezésének üteme 250 m³/év. A folyékony hulladékokat az erre a célra rendszeresített tartályokban tárolják, melyek telítettsége 87%-os. A keletkezés ütemét és a rendelkezésre álló tárolókapacitást figyelembe véve, kb. 2-3 év alatt megtelnek a tartályok. Ez a prognózis nem vesz figyelembe semmilyen rendkívüli eseményt (pl. kazetta inhermetikusság). Ilyen üzemzavari esemény esetleges bekövetkezése során viszonylag rövid időn belül az éves mennyiség többszöröse keletkezhet.

A végleges elhelyezése csak szilárd hulladék formájában történhet. A folyékony radioaktív hulladék szilárdításához előirányzott MOWA típusú cementező

¹⁵ Solymosi J., Vincze Á., Frigyesi F., Ormai P.: Radioaktív hulladékok kezelése és végleges elhelyezése, Hadtudomány, IX. évf. 2. sz., 1999. június, pp. 96-103.

berendezés üzembe helyezése 2003 végén esedékes. A szilárdítási technológia üzemszerű használata csak a végleges tároló megépítése után kezdődik meg, mert a szilárdított 400 l-es hordós hulladékok tárolására csak minimális kapacitása van az erőműnek.

A **4. sz. táblázat**ban az atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású hulladékok mennyiségének várható alakulását és ezek tárolási lehetőségét mutatom be. A táblázat az üzemviteli hulladékokra vonatkozó információkhoz csatolja a leszerelésből származó hasonló hulladékok tervezett mennyiségére vonatkozó adatokat is.

A táblázatból egyértelműen megállapítható, hogy az atomerőműben keletkező kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok átmeneti tárolása az üzemidő végéig nincs megoldva. A folyékony radioaktív hulladékok tárolására rendszeresített tartálypark telítettsége (~ 87%) miatt, a biztonsági szempontokat is figyelembe véve rövid időn belül meg kell kezdeni a sűrítmény feldolgozását. Figyelembe véve az erőmű területén rendelkezésre álló szilárd radioaktív hulladékokra vonatkozó tároló kapacitást, amely 2005 során, de legkésőbb 2006 elején betelik, szükségessé válik olyan intézkedések megtétele, ami a hulladék végleges elhelyezésére kialakítandó tároló megépítéséig az erőműben történő tárolást lehetővé teszi.

1.2.2. Az atomerőművi eredetű nagy aktivitású radioaktív hulladék keletkezése és átmeneti tárolása

A Paksi Atomerőmű üzemeltetése során éves szinten viszonylag kis mennyiségben keletkezik nagy aktivitású radioaktív hulladék, melyet az erőmű területén átmeneti jelleggel tárolnak erre a célra kialakított csőkutakban.¹⁶

A nagy aktivitású radioaktív hulladékok keletkezési ütemét, az üzemidő végéig várhatóan keletkező mennyiséget és az erőmű területén rendelkezésre álló kapacitást mutat be az **5. sz. táblázat**. A táblázat tartalmazza az erőmű lebontásakor keletkező hasonló hulladék prognosztizált mennyiségét is.

A nagy aktivitású hulladékok keletkezési ütemét figyelembe véve, a végleges elhelyezést a műszaki tervben foglaltak szerint csak a leszerelés fázisában kell megoldani, hiszen a rendelkezésre álló tárolókapacitás a leszerelésig átmenetileg felhasználható.

¹⁶ Az atomerőművi kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére irányuló munkák összefoglaló értékelése. RHK Kht. Tanulmány, 2002. február.

1.2.3. A kiégett nukleáris üzemanyag keletkezése és átmeneti tárolása az atomerőműben

A kiégett nukleáris üzemanyag átmeneti tárolása az erőmű telephelyén létesített KKÁT-ban történik 50 éves időtartamra. Az erőmű normál üzemvitele során keletkező kiégett nukleáris üzemanyag-kazetták száma jól becsülhető.

Az atomerőmű folyamatosan növeli az üzemanyag kiégetési szintjét, ezért az erőmű tervezett üzemideje alatt évente keletkező kiégett üzemanyag kazetták mennyiségének becsült mértéke csökken.

Mai ismereteink szerint az erőmű tervezett 30 éves élettartamának végéig keletkezett, hazánkban maradt kiégett nukleáris üzemanyag kazetták száma 11 029 db lesz. A normál üzemvitel során keletkező éves átlagos mennyiség 372 db. A teljes mennyiség - a további Oroszországba történő visszaszállítás lehetőségével nem számolva - az alábbi összetevőket tartalmazza:

| | |
|---------|--|
| 2205 db | pihentető medencékben (2002. 01. 01.) lásd 2. sz. táblázat |
| 2597 db | KKÁT-ban (2002.01. 01.) lásd 2. sz. táblázat |
| 6227 db | 2002 és 2017 között keletkező kiégett kazetta mennyiség, beleértve a blokkok leállításából adódó teljes zóna kirakásokat is. |

Az összes 11 029 db kazetta a KKÁT megfelelő bővítésével átmenetileg elhelyezhető.

A teljes kiégett üzemanyag-mennyiség (az üzemanyag beszerzési forrásának esetleges jövőbeni diverzifikálását is figyelembe véve) az alábbiakban részletezhető:

| | mennyiség | kg nehézfém 1 db kazettában |
|------------------------|------------------|--|
| orosz üzemanyag | 9859 db | 116 kgU |
| angol üzemanyag | 1170 db | 122 kgU |

A fentiek alapján a teljes kiégett üzemanyag-mennyiségre vetített átlagos nehézfém tömeg 116,64 kgU kazettánként. Az erőmű üzemideje alatt keletkező kiégett üzemanyag 1 286 384 kgU (azaz 1286,384 tU) nehézfém, vagy urán mennyiséget ér el.

A **6. sz. táblázat** a költségvetési intézmények várható kiadásait mutatja be a kiégett nukleáris üzemanyag kezelésével és a létesítmények leszerelésével kapcsolatban 2003. évi áron.

1.2.4. A nem atomerőművi eredetű kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok keletkezési üteme és elhelyezése

A működő atomerőművön kívül radioaktív hulladékok képződnek kutató intézetekben, egészségügyi, ipari, mezőgazdasági intézményekben és laboratóriumokban. A nem atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok keletkezésének mennyisége 15-20 m³/év. Ezt a hulladékot a püspökszilágyi RHFT-ben helyezik el. A **2. sz. táblázat**ból látható, hogy az RHFT pillanatnyilag rendelkezésre álló szabad kapacitása 104 m³, ami a tárolóter szemponyjából 2008-2010-ig még megoldást jelenthet, amennyiben nem változik a hulladékkeletkezés, illetve a beszállítás üteme.

1.2.5. A nem atomerőművi eredetű kiégett üzemanyag keletkezése és átmeneti tárolása

A KFKI AEKI kutatóreaktorában 230 db VVRM2, illetve VVRSM típusú üzemanyag-kazetta üzemel. Ezen kazetták egy részét hármásával összefogva használják, másik részét pedig egyenként. A kiégett kazetták súlyának becslésekor a hármásával felhasznált kötegeket egyes kazettákra számoltam át. Évente a felhasznált üzemidő függvényében átlagosan 80 db kazetta cseréjére kerülhet sor. A KFKI AEKI-ban a reaktort 2023-ig tervezik üzemeltetni, így napjainktól a tervezett üzemidő végéig 1830 db „egyes” típusú VVRSM, illetve VVRM2 kiégett üzemanyag-kazetta keletkezésével számoltam. 50% körüli kiégettési szint esetén ez 252 kg nehézfém tömeget jelent.

A KFKI AEKI-ban a kiégett üzemanyagot vízzel feltöltött medencékben tárolják. 2002 során a kiégett üzemanyag kazettákat be fogják tokozni, és az így kisserelt üzemanyagot tárolják tovább. A tokok inert gázzal lesznek feltöltve, így a kiégett üzemanyag-kazetták a továbbiakban nem érintkeznek a vízzel.

A BME NTI kiégett kazettáit – a zóna esetleges átrakása után – a KFKI AEKI tokozási megoldását felhasználva a BME területén betokoznák, és így kerülnének a KFKI AEKI-ban átmeneti tárolásra. Ez a megoldás műszakilag elképzelhető.

Jelenleg a KFKI AEKI tároló létesítményében összesen 585,9 kg mennyiségű kiégett kazetta tárolására kerülhet sor.

A BME NTI oktatóreaktorában 1971 óta 24 db részben módosított EK-10-es kazetta üzemel, kiégett üzemanyagot nem tárolnak. Ezen kazetták névleges betöltési nehézfém-tömege 29,52 kg volt, amiből idáig 0,018 kg urán 235 fogyott. Technológiai okok miatt elképzelhető, hogy az oktatóreaktor 2027-ig történő

üzemeltetése során az aktív zóna átrakására sor fog kerülni, így a teljes üzemidő során 59 kg nehézfém-tömegű kiégett üzemanyagra lehet számítani.

A KFKI AEKI területén a kiégett üzemanyagok tárolójának kapacitása lehetővé teszi a két budapesti reaktorban keletkező összes kiégett üzemanyag átmeneti tárolását a hazai végleges tároló megépítéséig.

2. KIS- ÉS KÖZEPES AKTIVITÁSÚ RADIOAKTÍV HULLADÉKOK VÉGLEGES ELHELYEZÉSE

2.1. ELŐZMÉNYEK

A radioaktív hulladékok az izotóptechnika hazai alkalmazásával egyidejűleg jelentek meg. Ezeket kezdetben a KFKI területén tárolták. 1960-ra készült el a solymári kísérleti izotóptemető. Az elkészült létesítményt az OAB-tól a Fővárosi KÖJÁL 1960-ban vette át. Így a radioaktív hulladékok országos összegyűjtése 1960-ban kezdődhetett meg. Elkészültek a tevékenységet szabályozó rendelkezések (10/1964 Kormányrendelet és ennek végrehajtási utasítása az 1/1964 EÜM rendelet is).

Az első, kísérleti radioaktív hulladéktároló létesítmény helykiválasztása nem volt kellően megalapozott és a létesítmény műszaki megoldásai (betongyűrűvel bélelt kutak) is hiányosak voltak. A kísérleti tároló kapacitása hamar kimerült, így a létesítést követő tíz év elteltével, 1970 januárjában az OAB határozata alapján a Fővárosi Tanács VB és a Fővárosi KÖJÁL megbízást kapott egy új radioaktív hulladéktároló (az RHFT) létesítésére.

Az új létesítmény Püspökszilágyiban készült el 1976. december 22-én 3540 m³ kapacitással. A tárolót műszakilag a földfelszín közelében épített medencés, illetve csőkutas kialakítással valósították meg.

Az első szállítmányt az RHFT 1977 márciusában fogadta. A létesítmény végleges üzemeltetési engedélyét 1980-ban adta ki az Egészségügyi Minisztérium. Ellenkező rendelkezés hiányában az RHFT elhelyezésre átvett majd minden radioaktív hulladékot, ami a nukleáris technika alkalmazása során keletkezett.

A Paksi Atomerőmű első reaktorának üzembe lépése megsokszorozta az éves szinten keletkező kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok mennyiségét. A Paksi Atomerőmű Műszaki Tervében leírt koncepció szerint az erőmű üzemidejére a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tárolását az erőmű segédépületében irányozták elő. Hangsúlyozni kell azonban a tárolás ideiglenes jellegét, mivel a hulladékok végleges elhelyezése az erőmű területén műszaki és biztonsági szempontokat figyelembe véve kizárt.

Természetes elképzelésként adódott, hogy a Paksi Atomerőmű üzemeltetése és lebontása következtében keletkező hulladékot Püspökszilágyon lenne célszerű véglegesen elhelyezni, hiszen itt működött az ország egyetlen kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésére kijelölt létesítménye.

A Paksi Atomerőmű igényeinek megfelelő bővítést az RHFT területén felszín közeli megoldást figyelembe véve különböző korábban elvégzett vizsgálatok szerint nem lehetett megvalósítani. A paksi hulladék püspökszilágyi elhelyezése ellen szólt a hosszú és ezért veszélyes szállítási útvonal is.

A Paksi Atomerőmű kis aktivitású szilárd hulladékainak Püspökszilágyra történő szállításaira ezért csak átmeneti megoldásként került sor. Ennek keretében 1983 és 1989 között az RHFT kapacitásából az erőmű 1230 m³-t foglalt el (nettó 854 m³).

Ezzel párhuzamosan a Paksi Atomerőmű erőfeszítéseket tett arra, hogy az erőművi eredetű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezését egy önálló tárolóban megoldja. Ezek a törekvések 1990 januárjában megtorpantak a tervezett ófalui tárolóval kapcsolatos lakossági ellenállás miatt.

1990 és 1991 között a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok beszállítása az RHFT-be lakossági tiltakozás miatt szünetelt. Ezzel egyidejűleg megtörtént a püspökszilágyi RHFT tárolókapacitásának kibővítése az erőmű finanszírozásával. A létesítmény bővített tárolókapacitása összesen 5030 m³. A bővítéssel kapcsolatos engedélyezési eljárás során a Magyar Geológiai Szolgálat megkérdőjelezte a telephely alkalmasságát, ezért a továbbiakban a bővítményre csak ideiglenes üzemeltetési engedélyeket adtak ki három ízben is. (A legutóbbi ideiglenes üzemeltetési engedély 2002. december 31-én jár le.)

A lakossági tiltakozás megszűntével 1992 és 1996 között további atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású szilárd hulladék került Püspökszilágyra, így ott kb. 2500 m³ (1580 m³ nettó) atomerőműből származó hulladékot helyeztek el. A püspökszilágyi létesítmény szabad tárolókapacitása 2001 végére 104 m³-re csökkent a folyamatos beszállítások következtében annak ellenére, hogy 1997-től nem történt szállítás az atomerőmű területéről.

Az utóbbi években az erőfeszítések az RHFT vonatkozásában arra irányulnak, hogy a létesítmény üzemeltetési engedélyét a hatóság meghosszabbítsa. Ennek érdekében megkezdődött az RHFT létesítményeinek rekonstrukciójára, valamint a kor színvonalának megfelelő biztonsági elemzés elkészítésére irányuló tevékenység.

Miután a püspökszilágyi létesítmény oly mértékű bővítése, ami az atomerőmű teljes igényét kielégítené lehetetlen, 1993-tól útjára indult a Tárcaközi Célprojekt (később Nemzeti Projekt), melynek célkitűzése az erőművi eredetű kis és közepes

aktivitású radioaktív hulladék végleges elhelyezésének megoldása lett. Ennek keretében megkezdődött a telephely-kiválasztás előkészítése. Szakirodalmi adatok alapján az ország teljes területét áttekintették, majd az ígéretes térségekben – ahol azt a lakosság is támogatta – előzetes helyszíni kutatásokat végeztek a felszíni és felszín alatti elhelyezésre alkalmas földtani objektumok azonosítása érdekében.

1996-ban a földtani, műszaki biztonsági és gazdasági vizsgálatok záródokumentuma Üveghuta térségében javasolt további vizsgálatokat a felszín alatti, gránitban történő elhelyezésre, tartalékban tartva felszíni tároló létesítésére alkalmasnak látszó telephelyeket. Kedvezőnek minősül ez a terület abból a szempontból is, hogy az atomerőműtől nem messze, a Duna ugyanazon partján helyezkedik el. Így az OAB egyetértésével az a döntés született, hogy a részletesebb kutatások 1997-ben Üveghuta térségében kezdődjenek meg.

1998 végén, az 1997-1998-ban végzett földtudományi munkákról szóló kutatási zárójelentésben a Magyar Állami Földtani Intézet (MAFI), javaslatot tett arra, hogy az üveghutai kutatási területen kezdődjenek meg az engedélyezést és létesítést megalapozó részletes geológiai és telephely-jellemzési munkák. A kutatási zárójelentést a programot felügyelő szakértők elfogadásra javasolták.

A program ezen a ponton szakmai és politikai viták középpontjába került. Ezért az OAH kezdeményezésére a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség szakértői felülvizsgálták a program keretében elvégzett tevékenységeket, és az eddigi eredményekkel egyetértve a kutatások folytatását javasolták.

A Magyar Geológiai Szolgálat szintén szakvéleményezte az elvégzett kutatásokat, és azzal egyetértett. A kutatási eredményekre támaszkodó biztonsági elemzések igazolták, hogy a területen a tároló biztonságosan üzemeltethető.

Fentiek alapján a KNPA-t felügyelő miniszter 2001 májusában aláírta a négyéves kutatási tervet. A kutatásokra vonatkozó szerződések előkészítése közbeszerzési eljárás keretében folytatódott. 2001 decemberében a kutatási program végrehajtására megalakult a Bátatom Kft. a legjelesebb hazai intézetek (ETV-Erőterv Rt., Mecsekérc Környezetvédelmi Rt., Golder Associates Hungary Kft.) összefogásával, és a MÁFI, mint alvállalkozó támogatásával.

A fenti előzmények alapján a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére vonatkozó stratégia megfogalmazását, a feladatokat és azok ütemezését célszerű különválasztani a püspökszilágyi RHFT és az atomerőművi eredetű hulladékok befogadására készülő új létesítmény szerint.

2.2. KIS- ÉS KÖZEPES AKTIVITÁSÚ HULLADÉKOK ELHELYEZÉSE PÜSKÖKSZILÁGYON

2.2.1. Stratégiai cél

Tekintettel arra, hogy csak ideiglenes üzemeltetési engedélyek birtokában üzemel a püspökszilágyi RHFT, kiemelt jelentősége van a létesítmény 1998 óta folyamatban lévő korszerűsítésének és a kor színvonalának megfelelő biztonsági elemzéseknek, amelyek alapját fogják képezni az üzemeltetési engedély meghosszabbításának, illetve véglegesítésének.¹⁷

Abban az esetben, ha a püspökszilágyi telephelyre vonatkozóan hosszú távú vagy végleges üzemeltetési engedély kerül kiadásra, továbbá, ha a biztonsági értékelés alapján az elhelyezhető összaktivitás ezt lehetővé teszi, akkor meg kell vizsgálni a tárolómedencéken belüli térfogat-felszabadítás lehetőségeit jogi, műszaki, gazdasági és lakossági elfogadási szempontokat is figyelembe véve. Elemezni kell minden olyan lehetőséget, ami olyan mértékű szabad tárolási kapacitást eredményez, mely hosszú távon megoldja a hazai izotóp-felhasználók radioaktív hulladékainak a telephelyen történő fogadását.

A telephely folyamatos korszerűsítésén túl, az RHFT területén belül az üzemi épület („aktív épület”) átalakításával meg kell teremteni a hosszú élettartamú, illetve nukleáris anyag tartalmú elhasznált sugárforrások és hulladékok hosszú idejű, biztonságos, központosított átmeneti tárolását. Az átalakítást követően kialakított mintegy 200 m³-nyi tárolási kapacitás eredményeképpen az előre nem látható, hirtelen jelentkező átmeneti tárolási igények (puffer kapacitás) is kielégíthetők.

A püspökszilágyi tároló vonatkozásában tehát a tartós üzemeltetési engedély megszerzése, és így a folyamatos üzemeltetés a cél, a tárolókapacitás megfelelő felszabadításával, kizárólag a nem atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok befogadása érdekében.

2.2.2. Javaslat a feladatok ütemezésére

- 2003.
- .Megalapozó tanulmány a biztonságot növelő intézkedésekhez
 - Üzemi épület átalakítása
 - Trícium vizsgálat, intézkedések
 - Biztonságot növelő intézkedések tervezése, engedélyeztetése
 - Környezeti hatástanulmány

¹⁷ Az RHFT biztonsági felülvizsgálatának eredményei, további teendők. RHK Kht. Tanulmány, 2001. szeptember.

- A létesítmény üzemeltetése és karbantartása.
- 2004 - Eszközbeszerzések a biztonságot növelő intézkedésekhez.
- Biztonságot növelő intézkedések megkezdése.
- A létesítmény üzemeltetése és karbantartása.
- 2005 - Biztonságot növelő intézkedések első fázisának befejezése.
- Kapacitásbővítés.
- A létesítmény üzemeltetése és karbantartása.
- 2006-2008 - Biztonság növelés második fázis.
- A létesítmény üzemeltetése és karbantartása.
- 2009-2047 - A létesítmény üzemeltetése és karbantartása.
- 2048-2050 - A létesítmény üzemén kívül helyezése, a létesítményben tárolt hosszú élettartamú radioaktív hulladékok átszállítása a nagy aktivitású és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok tárolójába.
- 2051-2104 - A létesítmény őrzött felügyelete és a környezet sugárvédelmi ellenőrzése (aktív intézményes felügyelet). Hosszú távú, passzív intézményes felügyelet.

2.3. AZ ATOMERŐMŰVI EREDETŰ KIS- ÉS KÖZEPES AKTIVITÁSÚ RADIOAKTÍV HULLADÉKOK ELHELYEZÉSÉNEK ÁTTEKINTÉSE

2.3.1. Stratégiai cél

Az atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére – beleértve az atomerőmű lebontásából származó hulladékokat is – egy, valamennyi műszaki és biztonsági szempontnak megfelelő, új létesítményben kerül sor. Ennek érdekében folytatni kell a potenciális telephely vizsgálatát.

A létesítmény tervezését, méretezését, megvalósításának és üzemeltetésének időbeli ütemezését a lehetőségek szerint hozzá kell igazítani a Paksi Atomerőmű követelményeihez, de figyelembe kell venni tervezési szinten a bővíthetőséget is.

A stratégiai cél megvalósításának feltétele a Parlament előzetes elvi hozzájárulásának megszerzése is.

2.3.2. Javaslat a feladatok ütemezésére

- 2003 - A felszíni kutatások 1. szakaszának befejezése, kutatási zárójelentés elkészítése.

- Összegző biztonsági értékelés elkészítése.
 - Kutatási terv elkészítése a felszín alatti kutatásokra.
 - Műszaki tervek készítése.
 - Előzetes Környezeti Hatástanulmány összeállításának megkezdése.
 - Rendezési terv elkészítése.
- 2004
- A felszíni kutatások 2. szakaszának befejezése a felmerült igényeknek megfelelően (kutatási terv, vizsgálatok, zárójelentés).
 - Hulladék átvételi kritériumok kidolgozása.
 - Biztonsági értékelés.
 - Felszín alatti kutatások megkezdése (kutatási terv, vágathajtás).
 - Előzetes Környezeti Hatástanulmány elkészítése.
- 2005-2007
- Felszín alatti kutatások befejezése.
 - Engedélyezési eljárás végrehajtása, terület-felhasználási engedély megszerzése.
 - Bányászati munkák indítása.
 - Közműépítések.
 - Megvalósulási tervek készítése.
 - Felszíni létesítmények építése, szerelése.
 - Megvalósítás befejezése.
 - Használatbavételi engedély beszerzése.
 - Üzembe helyezés.
- 2008-2019
- Létesítmény üzemeltetése (üzemi hulladék beszállítása).
- 2020-2094
- Pihentetés, állagmegóvás.
- 2093-2094
- A létesítmény bővítése.
- 2095-2104
- Létesítmény üzemeltetése (leszerelési hulladék beszállítása).
 - Létesítmény lezárása.
 - Hosszú távú felügyelet.

3. NAGY AKTIVITÁSÚ RADIOAKTÍV HULLADÉKOK VÉGLEGES ELHELYEZÉSE ÉS A KIÉGETT NUKLEÁRIS ÜZEMANYAG KEZELÉSE

3.1. ELŐZMÉNYEK

A 60-as évektől kezdődően keletkeztek Magyarországon ilyen típusú hulladékok, és azokat ellenkező (tiltó) rendelkezések hiányában korábban Püspökszilágyon, illetve a KFKI területén tárolták.

A nagy aktivitású radioaktív hulladékokkal azonos fejezetben tárgyalom a kiégett üzemanyag kezelésének terveit, mivel az üzemanyagciklus reálisan figyelembe vehető változatai nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezéséhez vezetnek.

3.1.1. Nagy aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezése

A Paksi Atomerőmű üzembe helyezése új helyzetet teremtett, mivel nyilvánvalóvá vált, hogy az erőmű üzemeltetése és lebontása jelentősen hozzájárul a hazai nagy aktivitású radioaktív hulladékok mennyiségéhez. Kezdetől fogva sejthető, hogy ezen hulladékfajta kezelésének minden problémáját az országnak önállóan kell megoldania, függetlenül attól, hogy a szakmai szempontból azonos kategóriába sorolható kiégett nukleáris üzemanyag kezelése miképpen történik.

Az 1993-ban megindított Projekt a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok biztonságos elhelyezésének megoldásán kívül a nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésével kapcsolatban, az IKIM kezdeményezésére, kibővült a Bodai Aleurolit Formáció (BAF) korábban megkezdett kutatásainak folytatásával. Ez a tevékenység 1995 márciusában lezárult, így a magyarországi nagy aktivitású és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok elhelyezésének megoldására önálló program indult, melyet az OAB az 1995. novemberi ülésén hagyott jóvá. Ez a program már vázolt hosszú távú elképzeléseket, de középpontjában az 1996-98 között 1100 m mélységben történt vizsgálat állt, melyet a kanadai AECL és a Mecseki Ércbányászati Vállalat végzett a BAF térségében a formáció alapos felmérése céljából. A három éves programnak időben az szabott határt, hogy a bánya bezárását akkor 1998-ra prognosztizálták, tehát a létező infrastruktúra gazdaságos kihasználására ennyi idő állt rendelkezésre.

A vizsgálatok ennek alapján 1998 végén dokumentáltan befejeződtek. A zárójelentés szerint nem merült fel olyan körülmény, amely a nagy aktivitású és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok BAF-ban történő végleges elhelyezését szolgáló létesítmény kialakítását lehetetleníti. A zárójelentés eredményei hatására előterjesztés készült egy föld alatti kutatóbázis létesítésére, a BAF minősítésére és további kutatására. Az OAB 1999. áprilisi ülésén tárgyalták az előterjesztést. A döntést ezzel kapcsolatban a gazdasági miniszter hozta meg 1999 nyarán, elvetve a javaslatot. Ezzel egyidejűleg az uránbánya eredeti terv szerinti bezárásának folytatására is döntés született.

3.1.2. A kiégett nukleáris üzemanyag kezelése

A Paksi Atomerőmű Műszaki Tervének elfogadásakor érvényes előirányzat szerint az erőmű pihentető medencéiben tárolt kiégett üzemanyag-kazettákat 3 éves pihentetés után a Szovjetunió térítésmentesen visszafogadja. Az előirányzat szerint

a kiégett üzemanyagot a Szovjetunióban újra feldolgozzák (reprocessálás), de a feldolgozás minden végterméke a Szovjetunióban marad. Világviszonylatban is egyedülálló szolgáltatást kínált tehát az erőmű építőjének a szovjet partner, hiszen az ebben az időben már működő kereskedelmi reprocessálási eljárások előirányozták a végtermékek (uránium, plutónium, kis, közepes és nagy aktivitású kondicionált hulladékok) visszaszállítását a kiégett üzemanyag származási országába. A visszaszállítási szolgáltatás igénybe vétele egyben azt is jelentette, hogy Magyarország a nukleáris üzemanyagciklus zárása (back end) tekintetében a zárt üzemanyagciklus opcióját alkalmazta egy különleges háttérszolgáltatással.

A Paksi Atomerőmű üzembe helyezése következtében megkezdődött a nukleáris üzemanyag kiégetése. A kiégett üzemanyag-kazetták ezt követően átkerültek a reaktorokból a reaktorok melletti pihentető medencékbe.

Az erőmű első blokkjának üzembe helyezését követően a visszaszállítási feltételeket a Szovjetunió egyoldalúan módosította. Ezek szerint a szükséges pihentetési időt öt évre emelték és a visszaszállítás fogadásáért, mint szolgáltatásért, egyre növekvő árat kértek.

A Paksi Atomerőmű Rt., annak érdekében, hogy az új feltételeknek eleget tegyen, a pihentető medencék tárolókapacitását megkétszerezte a rácsosztás sűrítésével, és a visszaszállítást pedig magánjogi szerződések keretében bonyolította. 1989-1998 között 2331 db kiégett üzemanyagköteg került vissza Szovjetunióba (később Oroszországba).

A visszaszállítás első éveiben az Európában, illetve a Szovjetunióban bekövetkezett politikai és gazdasági változások miatt felmerült, hogy a kiégett kazetták visszaszállításának gyakorlata a fenti feltételek fenntartásával nem folytatható sokáig. Döntés született arról, az OAB 1991. szeptemberi ülését követően, hogy a Szovjetunióba történő kiégett üzemanyag visszaszállítás lehetőségének megtartása mellett valóságos hazai alternatívát kell előkészíteni. Ennek érdekében engedélyeztetni kell egy paksi telephelyen megvalósítandó, kiégett kazetták átmeneti tárolására alkalmas létesítményt (KKÁT), amit szükség esetén hamar meg lehet valósítani.

Egy évvel később, az OAB 1992. novemberi ülését követően eldöntötték, hogy a KKÁT létesítésével összefüggő konkrét előkészületeket meg kell kezdeni. Az OAB tudomásul vette, hogy a KKÁT létesítésére a GEC Alstom MVDS (Modular Vault Dry Storage, moduláris, aknás száraz tároló) típusát választották az erőmű szakemberei.

Az 1993. decemberi OAB ülés már a KKÁT létesítését, engedélyezését és üzembe helyezését már kiemelt prioritású feladatként vette figyelembe. A KKÁT létesítését a Paksi Atomerőmű finanszírozta. A tervezés, engedélyezés és az építés 1992-től

1996 végéig tartott. Az OAB 1997. februári ülésén kiadott engedéllyel a KKÁT üzembe helyezése megtörtént, feltöltése még 1997-ben megkezdődött.

A KKÁT első három modulját 1999 végére kiégett üzemanyaggal feltöltötték, és megépítették a következő négy modult. Az új kamrák feltöltése 2000 februárjában elkezdődött, az RHK Kht. pedig átvette a létesítmény engedélyesi szerepkörét. Épül és 2002 végére elkészül a harmadik fázis, azaz a 11. modul, és ezzel befejeződik az eddig engedélyezett rész építése. A további bővítéseket külön engedélyeztetni kell. A KKÁT megvalósítására és üzembe helyezésére vonatkozó döntések egyre élesebben vetették fel a kiégett üzemanyag cikluszárására vonatkozó stratégiai elképzelések újragondolását is.

Az OAB az új helyzetet figyelembe véve először az 1993. decemberi ülésén foglalkozott a kérdéssel. Az előterjesztés javasolta az oroszországi visszaszállítás fenntartását, de ennek lehetetlenülése esetén javasolta a KKÁT létesítését és ezzel egyidejűleg a cikluszárásra a késleltetett döntés (wait and see) deklarációját.

Az OAB 1999. márciusi ülésén foglalkozott újra az üzemanyagciklus stratégiájával. A ciklus zárására vonatkozó elképzelés a kialakult helyzetet tükrözte. Ezek szerint a kiégett fűtőelemek 50 évre a KKÁT-ba kerülnek, így végső kezelésük tekintetében a döntés halasztható, de célszerű egy átfogó felkészülési terv a cikluszárási döntés megalapozására.

3.2. STRATÉGIAI CÉL

A nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezése érdekében az ország területén stabil, mélygeológiai formációban kialakítandó tároló létesítésére kell felkészülni. Az egységes nemzetközi álláspont szerint egy ilyen tároló felhasználható a kiégett üzemanyag közvetlen elhelyezésére, de alkalmas a kiégett üzemanyag reprocesszási hulladékainak befogadására is. A referencia scenárió az üzemanyag-ciklus lezárására a kiégett üzemanyag-kazetták közvetlen elhelyezése.

Ha egy műszaki megoldást több elképzelhető alternatíva közül referencia scenáriónak választunk, az azt jelenti, hogy az eljárás megvalósítható, a megvalósítás valószínűsége nagy, és a fentiek miatt a gazdasági számításokat ésszerű a kiválasztott alternatívára alapozni.

Ezt erősítik azok a nemzetközileg is elfogadott elemzések, amelyek a kiégett üzemanyag közvetlen elhelyezésének, illetve újrafeldolgozásának költségeit elemezve a közvetlen elhelyezést gazdaságosabbnak tekintik.

Nyilvánvaló azonban, hogy a végleges üzemanyagciklus zárási stratégia kialakítására vonatkozó tevékenységeket nem lehet elkerülni. A stratégia kialakításakor kerülhet sor a referencia scenárió véglegesítésére, illetve esetleges revíziójára.

3.2.1. Javaslat a feladatok ütemezésére

- | | |
|------|---|
| 2003 | <ul style="list-style-type: none">- Stratégiai tanulmányterv készítése.- Nemzeti geológiai információk összesítése.- Tendereztetés, szerződéskötés.- BAF térségének felszíni kutatása egy új föld alatti kutatólaboratórium felépítése érdekében. |
| 2004 | <ul style="list-style-type: none">- Geológiai tároló követelményeinek megfogalmazása.- K+F tevékenység megindítása.- A tároló koncepcióterv kialakításának megkezdése.- Szociológiai tanulmány megkezdése. BAF térségének felszíni kutatása egy új föld alatti kutatólaboratórium felépítése érdekében. |
| 2005 | <ul style="list-style-type: none">- K+F tevékenység befejezése.- A tároló koncepciótervének befejezése.- Általános biztonsági elemzés megkezdése.- Költségelemzések megkezdése.- Kiterjesztett idejű tárolás és regionális elhelyezés követelményeinek és költségeinek elemzése.- Szociológiai tanulmány folytatása BAF térségének felszíni kutatása egy új föld alatti kutatólaboratórium felépítése érdekében. |
| 2006 | <ul style="list-style-type: none">- Általános biztonsági elemzés és a költségelemzések befejezése.- Kiterjesztett idejű tárolás és a regionális elhelyezés követelményeinek és költségeinek elemzése.- Szociológiai tanulmány befejezése.- Az információk elemzése (munkacsoportokban és nemzetközi szakértőkkel) BAF térségének felszíni kutatása egy új föld alatti kutatólaboratórium felépítése érdekében. |
| 2007 | <ul style="list-style-type: none">- Helyszíni vizsgálatok befejezése, kutatólaboratórium végleges helykijelölése.- Az információk elemzésének folytatása a nemzeti stratégia kialakítása érdekében. |
| 2008 | <ul style="list-style-type: none">- A stratégia megfogalmazása és jóváhagyatása.- A kutatólaboratórium kialakításának megkezdése. |

- 2009-2012 - A kutatólaboratórium felépítése.
- A kutatási terv kidolgozása.
- 2013-2032 - A kutatási program végrehajtása és a beruházás előkészítése.
- 2033-2046 - A nagy aktivitású radioaktív hulladékok tárolójának létesítése.
- 2047-2069 - A nagy aktivitású radioaktív hulladéktároló üzemeltetésének első szakasza.
- A KKÁT-ban elhelyezett kiégett üzemanyag átszállítása a tárolóba.
- 2047 - A Püspökszilágyban átmenetileg tárolt hosszú élettartamú radioaktív hulladékok átszállítása az új létesítménybe.
- 2070-2094 - A nagy aktivitású radioaktív hulladéktároló üzemeltetése, várakozás a lebontási hulladék beszállítására.
- 2093-2094 - A nagy aktivitású radioaktív hulladéktároló kapacitásának bővítése a lebontási hulladék befogadására.
- 2095-2104 - A nagy aktivitású radioaktív hulladéktároló üzemeltetésének második szakasza.
- A Paksi Atomerőmű lebontásából adódó hulladékok átszállítása és lerakása a tárolóban.
- A nagy aktivitású radioaktív hulladéktároló lezárása.
- Hosszú távú felügyelet.

3.3. FORRÁSDATOK ÉS INFORMÁCIÓK A GAZDASÁGI SZÁMÍTÁSOK ELVÉGZÉSÉHEZ

A kiégett üzemanyag kezelésének és a nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésének költsége külön-külön kerül bemutatásra.

3.3.1. *Atomerőművi kiégett üzemanyag*

A hazai kiégett üzemanyag kezelésére referencia scenárióként a közvetlen, végleges elhelyezés szolgál. A nemzetközi szakirodalomban található adatok alkalmasak az atomerőművi kiégett üzemanyaggal kapcsolatos költségek becslésére. Ezen a területen élenjáró tevékenységet az OECD/NEA tud felmutatni. Az OECD 1985 és 1994 között a témával összefüggésben az alábbi alapvető tanulmányokat jelentette meg:

- OECD/NEA (Nuclear Energy Agency) (1985), *The Economics of the Nuclear Fuel Cycle*, Paris
- OECD/NEA – IEA (Nuclear Energy Agency – International Energy Agency) (1993) *The Cost of High Level Waste Disposal in Geological Repositories – An Analysis of Factors Affecting Cost Estimates*, Paris
- OECD/NEA (Nuclear Energy Agency) (1994) *The Economics of the Nuclear Fuel Cycle*, Paris

Ezen tanulmányok építenek az OECD tagországok és más fejlett országok publikációira (referencialistájuk hivatkozik a NAÜ és a fejlett európai, amerikai és távol-keleti országok publikációira), így kiegyensúlyozottan integrálják a világ fejlett országainak ismereteit, tapasztalatait és becsléseit.

Kiindulva az irodalmi adatokból, de főleg az 1994-es változathoz, a kiégett üzemanyag végleges elhelyezésének költsége 500 USD/kgU-nak vehető, mely költség magában foglalja a létesítést, az üzemeltetést és a hosszú távú felügyeletet is. A létesítés – üzemeltetés – felügyelet aránya 60-30-10%. A létesítés tovább bontható kutatási és beruházási részre. Az előző a teljes költség 17%-a, amely magában foglalja a föld alatti laborral kapcsolatos költségeket is, a beruházási rész pedig tartalmazza a kiégett üzemanyag tokozási költségeit is. Az üzemeltetésnél szét kell választani a feltöltési és a pihentetési szakaszt. Az utóbbinál csak a megőrzésről és az állagmegóváról kell gondoskodni. A két szakasz költségeinek aránya a kis aktivitású hulladéktároló analógiája alapján 90-10%.

A kiégett fűtőelemek szállítási költségeire a korábbiakban hivatkozott nemzetközi szakirodalmi adatok alapján 60 USD/kgU van beállítva.

A kiégett üzemanyag mennyiségi adatai a PA Rt. éves adatszolgáltatásából ismertek. Ezek szerint az erőmű üzemeltetése során a keletkező és a Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolójába kerülő kiégett üzemanyag-kazetták száma 11 029 db, és ezek együttes nehézfém tömege kb. 1303 tU, amelyben egy kazetta tömege 118,17 kgU nehézfém-mennyiség. Ezen mennyiségi adatok 30 éves üzemvitelt feltételeznek és nem tartalmazzák az Oroszországba (Szovjetunióba) korábban véglegesen kiszállított kiégett üzemanyag-kazetták számát.

3.3.2. Egyéb kiégett üzemanyag

A nem atomerőművi eredetű kiégett, illetve besugárzott nukleáris üzemanyag elhelyezésével kapcsolatos költségeket csak becsülni lehet. Mindenképpen az erőművi adatokból kell kiindulni, de figyelembe kell venni a lényegesen eltérő dúsítási szintet és azt, hogy ezáltal a végleges elhelyezést erre az üzemanyagra elkülönítve kell kifejleszteni és megoldani. Ezért a fajlagos költségek, a kis mennyiségeket is figyelembe véve egy nagyságrenddel nagyobb értéken vannak figyelembe véve

Az ilyen típusú kiégett üzemanyag elhelyezési költsége tehát 5000 USD/kg U, szállítása pedig 600 USD/kg U fajlagos adatokkal lesz figyelembe véve.

3.3.3. Nagy aktivitású hulladék

A nagyrészt atomerőművi eredetű egyéb üzemi és lebontási nagy aktivitású hulladék fajlagos temetési költsége a kanadai AECL cég adatai alapján 7250 USD/m³. Várhatóan 3700 m³ hulladék keletkezik (ez magában foglalja az erőmű leszereléséből keletkező teljes mennyiséget, beleértve a csökutakban ideiglenesen elhelyezett üzemviteli nagy aktivitású radioaktív hulladékot is). Ez feltételezi a kiégett fűtőelemek elhelyezésére már megépített mélygeológiai tárolót, és csak annak bővítési költségeit tartalmazza. Ennek megfelelően a 70 éves felügyelet melletti elzárás után a leszerelési hulladékoknak csak az elhelyezési költségével kell számolni.

Az egyéb üzemi és lebontási nagy aktivitású radioaktív hulladékok szállítási költségénél a NAÜ 8000 USD/m³-es adatából lehet kiindulni.

A kiégett üzemanyag kezelésére vonatkozó mennyiségi adatokat az RHK Kht. kérésére a PA Rt. minden évben felülvizsgálja. Az adatok változásához vezethet a kiégetés stratégiájának megváltoztatása, új típusú üzemanyag bevezetése, vagy valamely üzemzavar, nem tervezett esemény bekövetkezése. Ez indokolja a periodikusan megismétlődő adatszolgáltatás szükségességét.

A szakirodalmi adatok felülvizsgálatára akkor kerülhet sor, ha a felhasznált dokumentum frissítése megtörténik. Úgy értékelhető, hogy csak nemzetközi szervezet adatközlése lehet irányadó (pl.: OECD/Nukleáris Energia Ügynökség = OECD/NEA, Nemzetközi Atomenergia Ügynökség = NAÜ) a továbbiakban is. Hazai adatok bevezetésére a projekt későbbi fázisában kerülhet sor. Ehhez a kiégett üzemanyag-kezelés technológiai lépéseit és a tárolót legalább koncepcióterv szintjén ismerni kell.

Az egyéb üzemi és lebontási nagy aktivitású radioaktív hulladékok fajlagos elhelyezési költségének és a szállítási költségelemek felülvizsgálatát célszerű a kiégett üzemanyagra vonatkozó információk felülvizsgálatával együtt elvégezni.

3.3.4. Összefüggések

A nagy aktivitású radioaktív hulladékok végső elhelyezésére és a kiégett üzemanyag kezelésére vonatkozó tervek szorosan kapcsolódnak:

- a Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolójának (KKÁT) bővítéséhez, meghatározva a bővítés szükséges mértékét,
- a KKÁT üzemidejéhez, ami meghatározza a nagy aktivitású radioaktív hulladékok befogadására kialakítandó hulladéktároló üzembe helyezésének határidejét,
- az erőmű lebontásának időpontjához, ami meghatározza a nagy aktivitású radioaktív hulladéktároló létesítmény pihentetési, újra üzembe állítási és lezárási időtartamait, illetve időpontjait.
- esetleges új erőmű építéséhez és üzemeltetéséhez.

3.3.5. Központi Nukleáris Pénzügyi Alap (KNPA)

Az Atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény alapján a radioaktív hulladék végleges elhelyezésével, valamint a kiégett üzemanyag átmeneti tárolásával és végleges elhelyezésével, továbbá a nukleáris létesítmény leszerelésével összefüggő feladatok (továbbiakban: Feladatok) elvégzéséről a Kormány által kijelölt szerv gondoskodik, mivel ezek megoldása országos érdek.

Az Atomenergiáról szóló törvény szerint a KNPA elkülönített állami pénzalapként finanszírozza a Feladatok végrehajtását.

Az Alappal a Kormánynak az Országos Atomenergia Hivatal (OAH) feletti felügyeletét ellátó tagja rendelkezik, kezelője az OAH.

A nukleáris létesítmények befizetésének mértékét az alapján határozzák meg, hogy az teljes mértékben fedezze a létesítmény teljes üzemideje alatt és a leszereléskor keletkező radioaktív hulladékok végleges elhelyezésével, valamint a kiegészítő fűtőelemek átmeneti és végleges elhelyezésével, továbbá a nukleáris létesítmény leszerelésével felmerülő valamennyi költséget. Az Alapba történő befizetések mértékét az éves költségvetési törvény határozza meg az OAH, valamint a Magyar Energia Hivatal által véleményezett költségbecslés alapján.

Az RHK Kht a befizetési kötelezettségekre vonatkozó számításokat az alábbi összefüggés alapján számítja ki.

A több évre kiterjedő pénzmozgások alapösszefüggése szerint a számításokat az alábbi modell szerint végzi:

$$NPV = F_0 + \sum_{i=0}^{n-1} \frac{B_i}{(1+d)^i} - \sum_{i=0}^{m-1} \frac{K_i}{(1+d)^i} \quad (1)$$

ahol:

NPV : a KNPA nettó jelenértéke

F_0 : a számítás időpontjái felhalmozott pénzösszeg

B_i : i -edik évben befizetendő összeg

K_i : i -edik évben kifizetendő összeg

d : diszkontráta

n : a befizetések időtartama években

m : a kifizetések időtartama években

A befizetés mértékét úgy kell meghatározni, hogy az teljes mértékben fedezzen valamennyi felmerülő költséget. Ebből következik, hogy a KNPA teljes időtartamára nézve $NPV=0$:

$$F_0 + \sum_{i=0}^{n-1} \frac{B_i}{(1+d)^i} = \sum_{i=0}^{m-1} \frac{K_i}{(1+d)^i} \quad (2)$$

A számítások során a számítási év július 1-jére vonatkozó bázisáron kell minden pénzösszeget figyelembe venni.

Részletezve:

a) F_0 : tartalmazza a KNPA szempontjából már lezárt évek (a számítás időpontját megelőző) bevételeinek és kiadásainak különbözetét, valamint az értékállóság biztosítása érdekében jóváírt kamatok összegét.

b) A befizetések esetében rendre

$$B_i = s_i * b_i + tj_i$$

ahol:

b_i : az éves befizetendő összeg villamosenergia-termeléssel összefüggő része

tj_i : a tőkejáradék fizetési kötelezettség csökkenéséből felszabaduló összeg

s_i : az i -edik évben üzemelő blokkok számát mutató együttható:

4 üzemelő blokk esetén $s_i = 1$

3 üzemelő blokk esetén $s_i = 0,75$

2 üzemelő blokk esetén $s_i = 0,5$

1 üzemelő blokk esetén $s_i = 0,25$

A megkülönböztetést indokolja, hogy b_i növekménye évről évre növeli a villamos energia árát, míg tj_i összege a PA Rt villamos energia árába már beépült, csak a kifizetés jogcíme változik.

c) A kifizetések esetében rendre

$$K_i = k_{1i} + k_{2i} + k_{3i} + k_{4i} + k_{5i}$$

ahol :

k_{1i} : a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tárolójával kapcsolatos kiadás az i -edik évben

k_{2i} : nagy aktivitású és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok és a kiégett üzemanyag végleges tárolójával kapcsolatos kiadások az i -edik évben

k_{3i} : a kiégett nukleáris üzemanyag átmeneti tárolásával kapcsolatos kiadások az i -edik évben

k_{4i} : az atomerőmű leszerelésével kapcsolatos kiadások az i -edik évben

k_{5i} : egyéb kiadások az i -edik évben. Az egyéb kiadások tartalmazzák a Kht költségeit, a lakossági támogatások összegét, az alapkezelő díjazását és az eseti kiadásokat (pl.: KKÁT 1-3. kamra megvásárlása).

A $k_{1i} \dots k_{5i}$ tényezők mindegyike az illető feladat végrehajtásának módjától, ütemtervétől, valamint a feladattal kapcsolatos mennyiségi adatoktól függ.

A feladat végrehajtására vonatkozó ütemterv és a kezelés módja a kezelési stratégiából (ennek hiányában a referencia scenárióból) származtatható, míg a mennyiségi kérdések vonatkozásában a hulladék termelőjének nyilatkozata az irányadó. A hosszú távú tervnek tartalmaznia kell a költségek kimunkálásához felhasznált kiinduló adatok forrásainak felsorolását is.

- d) Az (1) és (2) képletekben szereplő összegzéseket a befizetés vonatkozásában n évre, és a kiadások vonatkozásában pedig m évre végezzük.

A befizetések szempontjából a Paksi Atomerőmű 30 éves élettartamával számolunk még pedig úgy, hogy:

4 blokk üzemel 2013-ig
3 blokk üzemel 2014-ig
2 blokk üzemel 2016-ig
1 blokk üzemel 2017-ig

A KNPA-val kapcsolatos feladatok a jelenlegi ismeretek szerint 2104-ben fejeződnek be, így ez határozza meg a kifizetések időtartamát, mert a környezeti monitoring rendszerek üzemeltetési költségeit praktikussági okokból a Feladatok végrehajtásának utolsó évére csoportosítjuk.

- e) A diszkontráta mértéke bázisárú számítás esetén a jegybanki alapkamat reálkamat-tartalmát veszi figyelembe.

Ha a KNPA működésének teljes időtartamára rendelkezünk éves bontású ütemtervvel, melyhez rendelve az évenkénti kiadások meghatározhatók, azokat az a)-e) pontok figyelembevételével a (2) összefüggésbe behelyettesítve számítógépes iterációval meghatározható a projekt finanszírozásához szükséges b és így B éves befizetési összeg is.

A számítást minden évben el kell végezni a projekt hátralévő feladatait figyelembe véve, mivel a kiadások és befizetések összegét az új számítási év július 1-i árszintjére kell hozni, és az esetleges egyéb változásokat is figyelembe kell venni.

4. A KIÉGETT NUKLEÁRIS ÜZEMANYAG ÁTMENETI TÁROLÁSA

4.1. ELŐZMÉNYEK

Az atomerőművi eredetű kiégett nukleáris üzemanyag átmeneti tárolására vonatkozó előzményeket bemutattam. A hosszú távú tervek kialakítása szempontjából fontos körülmény, hogy történeti okok miatt a KKÁT beruházását, üzemeltetését és karbantartását kezdetben alanyi jogon a PA Rt. végezte, majd a Központi Nukleáris Pénzügyi Alap létrehozását követően szerződéses megbízás keretében folytatta ezt a tevékenységet.

A KKÁT 11. moduljának elkészítését követően a további modulok építéséhez új engedélyezési eljárás szükséges. Ezt a helyzetet kihasználva az RHK Kht. 2001-2002 során megvizsgálja, hogy a tároló típusának módosításával lehet-e a létesítmény biztonságát fenntartva vagy megnövelve költséget megtakarítani. Az esetleges típusmódosítási döntés még 2002-ben esedékes.

4.2. STRATÉGIAI CÉL

A kiégett nukleáris üzemanyag átmeneti tárolását a létesítmény bővítésével és folyamatos üzemeltetésével biztosítani kell. Az RHK Kht-nak fel kell készülnie a KKÁT folyamatos üzemeltetésére.

4.2.1. Javaslat a feladatok ütemezésére

- 2003-2069 - Folyamatos üzemeltetés.
- 2003 - Konceptióterv készítése szivárgó, esetleg sérült kiégett üzemanyag átmeneti tárolására.
- 2004 - A sérült kazetták átmeneti tárolására vonatkozó megoldás megtervezése, az engedélyezés elindítása.
- 2005 - A sérült kazetták átmeneti tárolására vonatkozó tervek engedélyeztetése.
- 2003-2007 - 12-16 kamramodul elkészítése.
- 2008-2011 - 17-20 kamramodul elkészítése.
- 2012-2017 - 21-25 kamramodul elkészítése.
- 2016-2017 - A sérült kazetták tárolására vonatkozó megoldás megvalósítása, és üzembe helyezése (szükség esetén).
- 2047-2069 - A feltöltött kamramodulok kiürítése, a kiégett üzemanyagok elszállítása a nagy aktivitású hulladéktárolóba.
- 2070-2095 - Védett őrzés a leállított atomerőművel együtt.
- 2095-2104 - Leszerelés az erőmű leszerelésével együtt.

A KKÁT modulárisan bővíthető létesítmény. A szükséges tárolókapacitás bővítése a PA Rt. igényeinek felel meg. Ebben a pillanatban az erőmű tervezett üzemidejét, és éves szinten keletkező kiégett üzemanyag mennyiségét, valamint a pillanatnyilag a helyszínen tárolt kiégett üzemanyag mennyiségét figyelembe véve összesen 25 kamra felépítése van betervezve.

A kiégett üzemanyag átmeneti tárolása és egyéb hulladékkezelési feladatok között érdemi összefüggések az alábbiak szerint állnak fenn:

- A KKÁT területéről 2047 és 2069 között kiszállítják a kiégett üzemanyagot a nagy aktivitású hulladéktárolóba.
- Az üzemén kívül helyezett KKÁT a leállított atomerőművel együtt felügyelet melletti elzárásban vár a leszerelésre 2070 és 2089 között, továbbá a KKÁT leszerelése és a hulladék elszállítása 2090-től az atomerőmű lebontásával együtt történik.

5. LÉTESÍTMÉNYEK LEBONTÁSA

5.1. ELŐZMÉNYEK

A Paksi Atomerőmű első reaktorát 1982-ben kapcsolták az országos hálózatra, a negyedik reaktor üzembe helyezése pedig 1987-ben került sor. Az atomerőmű tervezett üzemideje 30 év, ebből vezethető le az a feltételezés, hogy az erőmű negyedik reaktorát várhatóan 2017-ben fogják leállítani, ha az élettartam meghosszabbítására irányuló erőfeszítések nem vezetnek eredményre.

Az erőmű lebontására vonatkozó első tanulmányt a szlovák DECOM cég készítette 1993-ban. Ebben a tanulmányban a vizsgálat tárgyát az első kiépítés (1-2. reaktor) képezte. Az 1997-ben készített új változat már kiterjedt a 4 reaktor és a KKÁT lebontására is. Ez a tanulmány több változatot is megvizsgál.

Ezek közül a költséghatás tekintetében legkedvezőbb változat a „felügyelet melletti elzárás 70 évre”, és ezért ez a referencia-szenárióis. Ezek szerint a kiégett fűtőelemek KKÁT-ba történő kiszállítása után az erőmű szekunder részei lebontásra kerülnek, míg a radioaktív anyagokat és berendezéseket tartalmazó részek lezárt, és folyamatosan őrzött-ellenőrzött állapotban maradnak 70 évig.

A BME oktatóreaktorát 1971-ben helyezték üzembe, a hazai nukleáris szakembergárda oktatási igényeinek kielégítésére. A reaktor ma 100 kW névleges teljesítménnyel működik, és 2007-ig rendelkezik érvényes üzemeltetési engedéllyel.

A reaktor jó műszaki állapota valószínűvé teszi, hogy 2007-ben az időszakos biztonsági felülvizsgálat (IBF) után a létesítmény még akár 2x10 évig is kapjon további üzemeltetési engedélyt. A Paksi Atomerőmű tervezett élettartam-hosszabbítása és így további erőművi személyzet kiképzése ennek szükségességét kifejezetten alátámasztja.

Fentiek alapján a létesítmény leszerelésével 2027 után kell számolni. Leszerelési tervet a BME NTI saját költségre 2003-ban készített néhány elképzelhető leszerelési ütemtervet figyelembe véve.

A KFKI AEKI kutatóreaktorát 1959-ben építették. A zóna módosítására 1967-ben került sor, új fűtőelem bevezetésével. 1986 és 1992 között a létesítményt felújították, új tartályt szereltek be és a hőteljesítményt 10 MW-ra növelték. A létesítmény kutatási és izotópgyártási feladatokat lát el, amihez $2,2 \times 10^{14}$ n/cm²s neutronfluxus áll rendelkezésre.

A kutatóreaktorra vonatkozó időszakos biztonsági jelentés készítése most van folyamatban és ennek alapján várható az üzemeltetési engedély 10 éves meghosszabbítása.

Tekintettel arra, hogy a reaktor tervezett működési ideje 30 év, az üzemeltetést 2023-ig tervezik.

5.2. STRATÉGIAI CÉL

A Paksi Atomerőmű lebontására a „felügyelet melletti elzárás 70 évre” verzió figyelembevételével kell felkészülni.

5.2.1. Javaslat a feladatok ütemezésére

- | | |
|-----------|--|
| 2004 | - A leszerelési terv elkészítéséhez szükséges számítógépes adatbázis létrehozása. |
| 2005 | - A leszerelési terv második verziójának elkészítése. |
| 2010-2025 | - A leszerelési terv véglegesítése és engedélyeztetése. - A blokkok szakaszos leállítása. - A kiégett üzemanyag-kazetták átszállítása a KKÁT-ba. - Az erőmű inaktív részeinek lebontása. - Az erőmű aktív részeinek előkészítése a felügyeletre. |
| 2026-2089 | - Az erőmű aktív részeinek felügyelete (2070 után a KKÁT-vel együtt). |

- 2089-2104 - Az erőmű aktív részeinek elbontása.
 - A KKÁT elbontása.

6. A MAGYARORSZÁG SZÁMÁRA SZÓBA JÖHETŐ STRATÉGIÁK AZONOSÍTÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE

6.1. A STRATÉGIÁK MEGHATÁROZÁSA

Amikor a kiégett fűtőelemek kezelésének két lehetséges stratégiáját vizsgálom (a nyitott és a zárt fűtőelem ciklust) a Magyarországon kezelendő egész hulladék–spektrummal összefüggésben, két fő stratégia csoportot különböztethetünk meg. A különbség abból ered, hogy az intézkedéseket a meglévő átmeneti fűtőelem tároló élettartamán belül, vagy azon túl kívánjuk végrehajtani. A következő szövegrészben és az 1. sz. táblázatban a hulladéktípusokra és létesítményekre használt betűszavakat, rövidítéseket az alábbiakban tüntetem fel.

| Rövidítés | Magyar jelentése |
|-----------|--|
| KK | Kiégett kazetták |
| HÉ-LH | Hosszú élettartamú leszerelési hulladék |
| HÉ-NAEH | Hosszú élettartamú, nem az üzemanyag ciklusból származó hulladék (<u>n</u> em <u>a</u> tomerőművi <u>e</u> redetű <u>h</u> ulladék) |
| Ü-NAH | Üzemviteli nagy aktivitású hulladék |
| R-NAH | Reprocesszási nagy aktivitású hulladék |
| GT | Geológiai tároló |
| KKÁT | Kiégett kazetták átmeneti tárolója |

Az azonosított stratégiák első csoportja azokat az eseteket tartalmazza, amelyek még a meglévő KKÁT üzemidejében, a szükséges tevékenységek késleltetés nélküli végrehajtásából indulnak ki. Ezeket nevezzük az átmeneti tároló élettartama alatti stratégiáknak, vagy „rövid távú stratégiáknak”. Az alábbi lehetőségek kerülhetnek szóba:

1. Hazai mélygeológiai tároló építése a kiégett fűtőelemek és az egyéb együtt kezelendő hulladék számára. **NYÍLT CIKLUS HAZAI TÁROLÓVAL.**
2. Várakozás egy nemzetközi tárolóra, a kiégett fűtőelem és az egyéb együtt kezelendő hulladék számára. **NYÍLT CIKLUS KÜLFÖLDI TÁROLÓVAL**
3. Hazai mélygeológiai tároló építése a reprocesszási hulladékból visszaszállított és az egyéb együtt kezelendő hulladék számára. **ZÁRT CIKLUS HAZAI TÁROLÓVAL**
4. A kiégett üzemanyag reprocesszási hulladék külföldi elhelyezése, ugyanakkor hazai mélygeológiai tároló kialakítása az egyéb

együtt kezelendő hulladék számára. ZÁRT CIKLUS KÜLFÖLDI TÁROLÓVAL ÉS KIEGÉSZÍTŐ HAZAI TÁROLÓVAL.

A meghatározott stratégiák második csoportja ott csatlakozik az elsőhöz, hogy a döntésekből adódó tennivalók a meglévő átmeneti fűtőelem tároló élettartama utáni időre vonatkoznak. Ebből következően, ezt a tartós tárolásra alapozott stratégia csoportot a következő, hosszú távú, vagy késleltetett stratégiák alkotják:

5. A kiégett fűtőelem tartós tárolása, és hazai mélygeológiai tároló építése a kiégett fűtőelem és az együtt kezelendő hulladék számára. NYÍLT CIKLUS KÉSLELTETETT HAZAI TÁROLÓVAL.
6. Várakozás egy nemzetközi tárolóra kiégett fűtőelem és az egyéb együtt kezelendő hulladék számára, a tartós tárolás utáni időre. NYÍLT CIKLUS KÉSLELTETETT KÜLFÖLDI TÁROLÓVAL.
7. A reprocesszálásból visszaszállított és az egyéb együtt kezelendő hulladék tartós tárolása, és egy hazai mélygeológiai tároló megépítése ezek számára. ZÁRT CIKLUS KÉSLELTETETT HAZAI TÁROLÓVAL.
8. Várakozás egy nemzetközi tárolásra, a reprocesszálásból visszaszállított és az egyéb együtt kezelendő hulladék számára, a tartós tárolás utáni időre. ZÁRT CIKLUS KÉSLELTETETT KÜLFÖLDI TÁROLÓVAL.
9. A kiégett üzemanyag reprocesszálásból adódó hulladék külföldi elhelyezése, ugyanakkor az egyéb együtt kezelendő hulladék tartós tárolása és hazai mélygeológiai tároló megépítése ezek számára. ZÁRT CIKLUS KÜLFÖLDI TÁROLÓVAL ÉS KÉSLELTETETT KIEGÉSZÍTŐ HAZAI TÁROLÓVAL.
10. A kiégett üzemanyag reprocesszálásból adódó hulladék külföldi elhelyezése, ugyanakkor várakozás egy nemzetközi tárolóra. A tartós tárolás után visszamaradó egyéb együtt kezelendő hulladék számára. ZÁRT CIKLUS KÜLFÖLDI TÁROLÓVAL ÉS KÉSLELTETETT KIEGÉSZÍTŐ NEMZETKÖZI TÁROLÓVAL.

6.2. A STRATÉGIÁK KIÉRTÉKELÉSE

Általános megközelítésként, a kiválasztás első szakaszában két alapvető kérdés szabja meg az egész eljárást. Először is, felmerül a kérdés, hogy egyáltalán reprocesszáltassuk-e a kiégett fűtőelemet, másrészt nyitott a kérdés, hogy hosszú távú megoldásként a „kivárjuk és meglátjuk” álláspontjára helyezkedjünk, vagy lerakjuk-e az anyagot egy geológiai formációban. Ezekre a kérdésekre, radioaktív hulladékkezelési szempontból nem adhatunk egyszerű, közvetlen választ, mivel sok

tekintetben kapcsolódnak a jövőbeli nemzeti energia ellátáshoz. A reprocessálásba és újra felhasználásba fektetett beruházás csak akkor reális, ha várhatóan a jövőben is használjuk a nukleáris energiát. Ugyanez érvényes a transzmutációra, amely már magában is feltételezi a reprocessálást, de nagy beruházást is igényel a nukleáris energiatermelés technológiájába.

A másik fontos kérdés, hogy a mai generációnak kell-e megoldania a hulladék problémáját, vagy a felelősség részben, vagy egészben, átkerülhet-e a következő generációkra. Ez a kérdés a technikai fejlődéshez, továbbá a stratégia átalakításának rugalmasságához kapcsolódik. Ez a rugalmasság ahhoz szükséges, hogy a stratégiát optimális megoldásokhoz, vagy a jövőbeli fejlesztésekhez igazítsuk.

A hulladékkezelés stratégiáinak összehasonlítása, amint az első fejezetben végeztem (nevezetesen a nyitott üzemanyag ciklus, a továbbfejlesztett zárt ciklus és a késleltetés stratégiája) általános és minőségi jellegű, és a világ minden kiégett fűtőelemére, nagy aktivitású hulladékára általában érvényes. Magyarország esetében, ahol viszonylag kis mennyiségű kiégett fűtőelem és radioaktív hulladék van, az előnyök és hátrányok egy részét a reális alkalmazásokkal együtt kell elemezni. Figyelembe kell venni az ország valós határfeltételeit.

Kiemelem, hogy a nyitott üzemanyag ciklus és a késleltetés stratégiáira vonatkozó előnyök és hátrányok rendszere érvényes Magyarország esetében is. Emellett azonban érdemes a továbbfejlesztett zárt ciklus előnyeit és hátrányait is megfontolás tárgyává tenni az olyan országokban is mint hazánk.

Nehezen képzelhető el, hogy Magyarország, vagy egy hozzá hasonló helyzetben lévő állam bármit kihasználhatna a továbbfejlesztett zárt ciklusra vonatkozó előnyökből, a radioaktív hulladékkezelés perspektívájában, hacsak nem sikerül jó megoldásokra szerződéseket kötnie ebben a tárgyban. Mivel az országban jelen vannak a különböző hosszú élettartamú és nagy aktivitású hulladékok is, az elhelyezésükkel kapcsolatos problémák továbbra is fennállnak.

A tartós tárolás bár általában nem tekinthető alternatívának, hanem inkább a geológiai elhelyezés felé vezető lépésnek, egy bizonyos ideig átmeneti megoldást nyújthat, amely időt és kellő rugalmasságot ad bármilyen jövőbeli kezelési eljárásához. Ebből a szempontból az átmeneti tárolók, köztük a Paksi Atomerőműben létrehozott modulrendszerű, száraz, kamrás tároló kiindulási pont gyanánt szolgálhat Magyarország esetében is, a további elemzésekhez és megfontolásokhoz. Kiegészítheti a hazai geológiai elhelyezést, vagy bármilyen más nemzetközi megoldást.

Megállapítható, hogy az összes stratégia, előbb vagy utóbb a geológiai elhelyezésre vezet, Magyarországon vagy azon kívül. A „hol” kérdés határozza meg a belföldi vagy nemzetközi megoldás szükségét, és a „mikor” kérdés a tartós tárolás iránti igényt, akár a kiégett fűtőelemekre, akár az egyéb együtt kezelendő hulladékokra –

a választott stratégiától függően. Ebből következően, ahhoz, hogy meg tudjuk határozni ezen stratégiák összehasonlításához szükséges vizsgálatokat, szem előtt kell tartanunk mind a mélygeológiai tárolót, mind a tartós tárolást.

6.2.1. Rövid távú stratégiák

Ez a csoport a geológiai elhelyezéssel kapcsolódó stratégiákat vizsgálja, amikor nincs szükség a tárolási időtartam meghosszabbítására.

Szinte az összes olyan országban, ahol létezik nukleáris energetikai program, ezen megoldás felé törekednek, bár más és más lépésekben és időbeli keretekben. Ez a módszer általánosan elfogadott a kiegészített fűtőelemek és a hosszú élettartamú és nagy aktivitású hulladék problémájának végleges megoldására, megfelelően a hulladékkezelés elveinek, beleértve az etikai és környezetvédelmi megfontolásokat is.

Ugyanakkor kellő rugalmassággal lehet megtervezni a megoldást, hogy ésszerű időtávlatokon belül kövesse a technológiai fejlődést.

Ebben a csoportban négy különböző alternatívát különböztetünk meg.

1.stratégia: Nyílt ciklus hazai tárolóval

A magyar nukleáris program során keletkezett kiegészített fűtőelemek, hosszú élettartamú és nagy aktivitású hulladékok geológiai elhelyezésére utal, akár a fűtőelem ciklusban, akár azon kívül keletkezett a hulladék. A geológiai tároló létesítményt Magyarország területén, a befogadásra megfelelő formációban alakítanak ki.

2.stratégia: Nyílt ciklus külföldi tárolóval

Azon az elképzelésen alapul, hogy regionális, vagy nemzetközi szinten egyezményt dolgoznak ki egy Magyarországon kívül kifejlesztendő elhelyezőre, ahol befogadnák a magyar programból származó összes nagy aktivitású hulladékot, és a kiegészített nukleáris fűtőelemeket. Ez a lehetőség pillanatnyilag nagyon bizonytalan, hiszen nem lehet elvárni, hogy egy nemzetközi regionális hulladéktároló a hazai időigényeknek megfelelően rendelkezésre álljon, ezért a 2. számú stratégia elemzését elvetem. Hosszú távon megfelelő kivárással azért megfontolás tárgyát képezheti, ezért jelenik meg a 6. sorszámmal.

3.stratégia: Zárt ciklus hazai tárolóval

Ha a jövőben valamilyen reprocesszási szerződést sikerül megkötni Oroszországgal, vagy más országgal, és az eljárás során keletkező hosszú

élettartamú, nagy aktivitású hulladékot visszazállítják Magyarországra, ez a stratégia ennek a hulladéknak, és az egyéb Magyarországon keletkezett hasonló típusú hulladéknak a hazai geológiai elhelyezését tartalmazza.

4.stratégia: Zárt ciklus külföldi és kiegészítő hazai tárolóval

Alternatívaként arra az esetre utal, amikor egy előnyös reprocesszási szerződést sikerül kötni, amely tartalmazza azt a feltételt, hogy nem kell a hulladékot Magyarországra visszazállítani. Ebben az esetben a hazai geológiai tároló csak az egyéb- az országban meglévő, vagy a Paksi Atomerőmű felszámolása során keletkező - nagy aktivitású és hosszú élettartamú hulladék elhelyezésére kell.

A 3. és 4. stratégiát az 1. számú változattal összevetve gazdaságtalannak tekinthetjük, hiszen ezeknél a reprocesszási költségét is figyelembe kell venni, ami hozzáadódik az amúgy is szükséges geológiai elhelyezési költségekhez.

A fentiek alapján a geológiai elhelyezés Magyarországon olyan szükséges következtetés, amelyet minden reális stratégiai elemzésben számításba kell venni, és ezekre a döntés kizárólag a magyar hatóságokra, illetékesekre hárul. Bármilyen más megoldást is sikerülne találni Magyarországon kívül, eltekintve attól, hogy ez mindig mások döntésétől függ, az csak részleges megoldást jelenthet.

6.2.2. Hosszú távú stratégiák

Ez a csoport olyan stratégiákat vizsgál, amelyekhez a tárolást meg kell hosszabbítani, tekintet nélkül arra, hogy milyen végső megoldásra esik a választás. A meghatározatlan ideig tartó tárolás, amint már tárgyaltam – bár sok hulladékkezelési programon kívül álló érvel mellette – nem tekinthető olyannak, hogy a mély geológiai elhelyezéshez képest reális alternatívát nyújtana. A tartós felszíni tárolás, racionálisan tekintve, nem tekinthető megoldásnak, csak az elhelyezés elhalasztásának.

5.stratégia: Nyílt ciklus késleltetett hazai tárolóval

Lehetséges alternatívaként a magyar programban szerepelhet kiégett fűtőelem és a hosszú élettartamú, nagy aktivitású hulladék átmeneti jellegű, tartós tárolása magyarországi, megfelelő tárolókban. Ezt nevezhetjük „kivárjuk, és majd meglátjuk” alternatívának is. Maga a halasztás nem végleges megoldás. Ez a módszer a távolabbi jövőben igyekszik egy jobb megoldást, vagy jobb társadalmi – politikai támogatást elérni a hazai geológiai elhelyezés számára.

Több lehetséges stratégiában a tartós tárolásra alapoznak, hogy kellő idő maradjon az országon kívüli megoldások kiváráására, akár reprocesszási szerződésekkel (ami részleges megoldás), (7, 9), akár regionális, vagy nemzetközi elhelyezőkkel

(6, 8 és 10). Ebben az összefüggésben az említett stratégiák a jövőre nézve megnyitnak néhány lehetőséget, amelyeket – bár a jelen perspektívákból nehezen lehet előre jelezni – az elemzések során számításba kell venni, hogy a döntéshozatali folyamatot minden lehetséges érveléssel és adattal ellássuk. Az alábbi lehetőségeket érdemes látóköruinkbe vonni:

6.stratégia: Nyílt ciklus késleltetett külföldi tárolóval

Azon alapul, hogy sikerül olyan együttműködési egyezményt elérni, amelynek során mind a kiégett fűtőelemet, mind a nagy aktivitású és hosszú élettartamú hulladékot ki lehet küldeni az országból, és regionális, vagy nemzetközi elhelyezőkben lerakni.

A 7-és 8. stratégia: Zárt ciklus késleltetett hazai tárolóval / Zárt ciklus késleltetett külföldi tárolóval

Azon alapul, hogy a kiégett fűtőelemet külföldre szállítják reprocesszálásra, azzal a feltétellel, hogy a keletkező hulladékot visszaszállítják. Ehhez is változatlanul szükséges a végleges megoldás, akár a késleltetett hazai (7), akár a késleltetett külföldi (8), geológiai tárolókban. A keletkező hulladék volumene és radiotoxicitása nagyjából ugyanakkora lesz, mint amekkorával a kiégett fűtőelemek esetében számolni lehet.

A 9. és 10. stratégia: Zárt ciklus külföldi tárolóval és késleltetett kiegészítő hazai tárolóval / Zárt ciklus külföldi tárolóval és késleltetett kiegészítő nemzetközi tárolóval

Azt feltételezi, hogy a kiégett fűtőelemet reprocesszálásra külföldre küldik, azzal a feltétellel, hogy a hulladékot nem szállítják vissza. Ez a megoldás ugyan biztosan enyhítené a hulladék elhelyezési problémát, de az országban meglévő és a Paksi Atomerőmű felszámolása során keletkező hulladék számára azonban változatlanul szükség van a végleges megoldásra, akár belföldön (9), akár nemzetközi együttműködésben (10) megépített mélygeológiai tároló révén.

A lehetséges stratégiáknak ez a csoportja, bár abban az értelemben reális, hogy a hozzá szükséges technológiák rendelkezésre állnak, és vélhetően – megfelelő ellenőrzési és karbantartási programokkal együtt – megvalósíthatók, nyilvánvalóan fontos felelősséget hagynak a jövő generációkra, és társadalmi állandóságot tételnek fel. A stratégiák ezen köre a program számára rugalmasságot biztosít, a lehetséges megoldások az országhatáron kívülről származnak, de a költségeket nem elegendő csak rövid távon vizsgálni, hanem hosszú távra is előre kell tekinteni. Ez a kritikus pont, mert a tárolás, mint megoldás, vonzó lehet, mivel a költséges tárolók nagy beruházásait ideig – óráig el lehet halasztani, de azzal is számolni kell, hogy a végleges megoldáshoz változatlanul szükségesek lesznek a pénzforrások.

A Magyarországhoz hasonló országok esetében a most meghozott ilyen típusú döntés feltehetően ahhoz a gondolatmenethez kapcsolódik, hogy időt és rugalmasságot kell nyerni egy külső megoldás megtalálásához. A technológiai fejlesztésre szükséges idő megnyerése, vagy az erőforrások megkímélése ezen döntésekben kisebb szerepet játszik.

A harmadik fejezetben áttekintettem a hazai nukleáris hulladékkezelés történetét, elemeztem a forrásoldal és tárolási lehetőségek viszonyait, azok várható alakulását. Feladat ütemezési javaslatot dolgoztam ki Püspökszilágyi tároló kapacitásának bővítésére, valamint az atomerőművi eredetű kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezését biztosító új tároló létesítmény kivitelezésére. Ráműtattam a nagy aktivitású radioaktív hulladékok és kiégett nukleáris üzemanyag kezelését célzó nemzeti program kidolgozásának szükségességére, javaslatot dolgoztam ki az elhelyezés egy lehetséges ütemezésre. A nemzeti program kidolgozásához elemeztem és összehasonlítottam a Magyarország számára lehetséges stratégiákat, melyek következtetéseként szükségesnek ítélem Magyarországon megvalósítani egy mélygeológiai formációban a nagyaktivitású hulladéktároló létesítését.

IV. ÖSSZEGZÉS

A legtöbb magyar állampolgár úgy véli, hogy a nukleáris energia fontos a villamos energia ellátása szempontjából és a lakosságnak akár 50 %-a elfogadná egy új blokk üzembe helyezését.

Ezen túlmenően, az országban végzett intenzív és igen kiterjedt információs programnak köszönhetően a társadalom meglehetősen pontosan a tudatában van annak, hogy a Magyarországon keletkezett radioaktív hulladék kezelésére egy megfelelő rendszert kell létrehozni.

Amikor a hulladék elhelyezésére vonatkozó különböző szempontokat összeállítják, a biztonság a legfontosabb követelmény, de figyelemmel vannak a környezetszennyezésre, az egészségügyi hatásokra és az ingatlanok értékének csökkenésére is.

Mivel a nukleáris technológia alkalmazása speciális ismereteket igényel, ezért a közvélemény részéről jelentős bizalom érezhető annak irányába, hogy ez a szakmai közösség oldja meg a keletkezett nukleáris hulladék elhelyezésének problémáját is.

Végül teljesen világosnak tűnik, hogy a nemzetközi közvélemény a hulladék importja vagy exportja tekintetében meghatározó többséggel olyan véleményen

van, hogy minden ország maga kell, hogy megoldja a saját hulladékának problémáit.

Amikor a lehetséges megvalósítandó stratégiákat összehasonlítjuk, nagyon fontos a közvélemény figyelembevétele és bevonása az elvi kérdések megvitatásába.

Természetesen az egyik legjelentősebb megfontolandó kérdés az a dilemma, hogy a nagy aktivitású hulladékot és/vagy a kiégett nukleáris fűtőelemeket el kell-e helyezni a Pakson létesített átmeneti tároló várható élettartamán belül vagy a döntés elhalasztásával a távoli jövőben kell megoldást keresni a tartós tárolás módszerének bevezetésével.

Itt számos elvi kérdés merül fel, részben etikai jellegű, a generációk közti egyenlőség kérdése és a felelősség, rugalmasság, a finanszírozás, stb. problémái. A magyar társadalomnak kell véglegesen eldönteni, hogy mikor és hol valósuljon meg a megfelelő tároló létesítmény.

Össze kell hasonlítani pl. a mélygeológiai tároló természetéből következő hosszú távú bizonytalanságokat azzal a bizonytalansággal, hogy a társadalomnak lesz-e a kapacitása az ideiglenes tároló hosszú távú üzemeltetésére és milyen időtávon belül kíván dönteni a végleges elhelyezés szükségszerű tényéről.

1. KÖVETKEZTETÉSEK

Az előző fejezetekben elvégzett elemzésekből az alábbi következtetéseket vontam le:

- A jelen perspektívájából nézve, világszerte a mély geológiai tárolót tartják a nagy aktivitású és/vagy hosszú élettartamú hulladék és a kiégett nukleáris fűtőelemek egyetlen végleges megoldásának, melyhez minden nemzetnek ki kell dolgoznia a nukleáris hulladékok elhelyezésére vonatkozó nemzeti programot.
- Az a kérdés, hogy az energiatermelő reaktorok felhasznált fűtőelemeit reprocessálják vagy sem, elsősorban energia-stratégiai opció, semmint hulladékkezelési probléma.
- A szétválasztás és transzmutáció a műszaki fejlesztés igen kezdeti szakaszában van és jelenleg világméretű egyetértés van abban, hogy ez a technológia nem helyettesíti a geológiai elhelyezést; legjobb esetben olyan hulladékkészletet eredményez, amelyik kevesebb hosszú élettartamú radionuklidot tartalmaz.

- A tartós tárolás lehetősége amellett, hogy nem tekintik alternatívának, hanem inkább a végső geológiai elhelyezés felé vezető lépésnek, egy bizonyos időre megoldást nyújthat, ami rugalmasságot kínál minden kezelésfajta későbbi alkalmazására.
- A nagy aktivitású és/vagy hosszú élettartamú hulladék és a kiégett nukleáris fűtőelemek elhelyezése kapcsán a „hol” és a „mikor” nem csak műszaki kérdés, hanem elsősorban társadalom-politikai és egyben gazdasági.

A kutatás az itt bemutatott elvi és gyakorlati kérdések vonatkozásában nem tekinthető lezárt folyamatnak, a radioaktív hulladékok elhelyezésének lehetősége a műszaki tudomány haladásával bővíthet, mely új alternatívák feltárását eredményezheti. Kívánatos továbbá annak az igénynek a kielégítése, hogy minden kutatási területen érvényesüljön a környezetbiztonság szempontjainak figyelembevétele.

2. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. **Rendszerbe foglaltam** a nukleáris hulladékkezelés lehetséges módozatait, **vizsgáltam** a módozatok viszonyait, melynek alapján megállapítottam, hogy mindezek elemzése csak egységes rendszertechnikai szemlélettel végezhető.
2. **Összegeztem** a hazai nukleáris hulladékkezelés történetét, **bemutattam** egyes nukleáris nagyhatalmak nukleáris hulladékkezelési koncepcióit, melyekből azt a következtetést vontam le, hogy a nemzetközi tapasztalatokkal megegyezően hazánkban is egyedül a mélygeológiai formációban történő elhelyezésnek van reális jövőképe.
3. **Feltártam** a hazai nukleáris hulladékkezelés jelenlegi helyzetét, **bizonyítottam** a nagyaktivitású radioaktív hulladékkezelő nemzeti program kidolgozásának szükségességét.
4. **Összehasonlítottam** a lehetséges tárolási stratégiákat, **bemutattam** azok előnyeit-hátrányait, melyekből arra a következtetésre jutottam, hogy a végleges biztonságos elhelyezés gazdasági feltételeit a Központi Nukleáris Pénzügyi Alap biztosítja.
5. **Megállapítottam**, hogy a lehetséges módozatok közül stratégiai célként az ország területén mélygeológiai formációban kialakítandó tároló létesítésére kell felkészülni, mely kialakításához **kidolgoztam** a nemzeti program egy lehetséges változatát.

3. TÁBLÁZATOK

1.sz. táblázat – A radioaktív hulladékok besorolása az MSZ 14344 – 1989. 2.3. alapján

2. sz. táblázat – Az RHFT és a PA Rt területén tárolt radioaktív hulladékok és kiégett üzemanyag mennyisége (2002. január 1.)

3. sz. táblázat – A KFKI AEKI és a BME NTI területén tárolt kiégett üzemanyag mennyisége 2002. január 1-jén

4. sz. táblázat – Atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású hulladékok keletkezési üteme, kumulált mennyisége és azok tárolási lehetősége az Atomerőmű területén

5. sz. táblázat – A nagy aktivitású radioaktív hulladékok keletkezési üteme, kumulált mennyisége az atomerőmű üzemidejének végéig és a rendelkezésre álló tároló kapacitás bemutatása

6. sz. táblázat – A költségvetési intézmények várható kiadásai a kiégett nukleáris üzemanyag kezelésével és a létesítmények leszerelésével kapcsolatban 2003. évi áron.

7. sz. táblázat: A kiégett nukleáris fűtőelemek és a nagy aktivitású hulladék kezelésének Magyarországra meghatározott stratégiái

1.sz. táblázat – A radioaktív hulladékok besorolása az MSZ 14344 – 1989. 2.3. alapján

| Radioaktív hulladék kategóriája | Aktivitáskoncentráció [kBq/kg] | Levegőben elnyelt dózisteljesítmény [μGy/h] |
|--|---------------------------------------|--|
| kis aktivitású | kisebb mint 5×10^5 | kisebb mint 300 |
| közepes aktivitású | $5 \times 10^5 - 5 \times 10^8$ | 300 - 10^4 |
| nagy aktivitású | 5×10^8 felett | 10^4 felett |

Megjegyzés: Ha a hulladék transzuránumokat tartalmaz, akkor egyedi osztályozás szükséges.

2. sz. táblázat – Az RHFT és a PA Rt területén tárolt radioaktív hulladékok és kiégett üzemanyag mennyisége (2002. január 1.)

| Tárolás helye | Kis és közepes aktivitású | | | | Nagy aktivitású | | Kiégett nukleáris üzemanyag | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|--|------------------------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------------|
| | Tárolt mennyiség [m ³] | | Tárolótér kihasználtsága [%] | | Tárolt mennyiség [m ³] | Tárolótér kihasználtsága [%] | Tárolt mennyiség | | Tárolótér kihasználtsága [%] |
| | szilárd ^[1] | folyékony | szilárd ^[1] | folyékony | | | [db] | [tU] ^[3] | |
| RHFT | 4936 | -- | 97 | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| PA Rt telephely | 1246^[1] | 4860 | ~ 63,5 | ~ 87 | 54 | 25 | -- | -- | -- |
| PA Rt pihentető medencéiben | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 2205 | 255,8 | 78 |
| KKÁT Pakson | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 2597 | 301,3 | [4] |

Megjegyzés:

- [1] Elfoglalt tárolótér bruttó térfogat
- [2] PA Rt technológiai helyiségeiben 200 l-es szilárd hulladékös hordókra vonatkoztatva
- [3] 1 db kazetta = 116 kg /csak orosz kazetták/
- [4] Modulrendszerben – igény szerint – bővül, így a kihasználhatóság meghatározása nem informatív

3. sz. táblázat – A KFKI AEKI és a BME NTI területén tárolt kiégett üzemanyag mennyisége 2002. január 1-jén

| INTÉZMÉNY | TÍPUS | DB | NEHÉZFÉM- TÖMEG (kgU) | ÖSSZES NEHÉZFÉM (kgU) |
|------------------|--------------|---------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| KFKI | EK 10 | 82 | 101 | 274,9 |
| | VVRSM | 1135 ⁽¹⁾ | 156 | |
| | VVRM2 | 130 ⁽¹⁾ | 17,9 | |
| BME | 0 | 0 | 0 | 0 |

Megjegyzés:

(1) a darabszám “egyes elem” egyenértékben szerepel

4. sz. táblázat – Atomerőművi eredetű kis és közepes aktivitású hulladékok keletkezési üteme, kumulált mennyisége és azok tárolási lehetősége az Atomerőmű területén

| Tárolás helye | Kis és közepes aktivitású hulladék keletkezési üteme | | Üzemidő végéig felhalmozódó mennyiség | | Tárolási kapacitás | | Leszerelési mennyiség ^[1] [M ³] |
|---------------|--|---|--|-----------------------------|--|-----------------------------|--|
| | szilárd ^[1] keletkezési ütem [m ³ /év] | folyékony keletkezési ütem [m ³ /év] | szilárd ^[1] [m ³] | folyékony [m ³] | szilárd ^[1] [m ³] | folyékony [m ³] | |
| PA Rt | 210 ^[1] | 250 | 635 + 15x210 = 3785 ^[1] | 3434 + 15x250 = 7184 | 1960 ^[1] | 5580 | 20 000 |

Megjegyzés:

[1] Elfoglalt bruttó tárolótér

5. sz. táblázat – A nagy aktivitású radioaktív hulladékok keletkezési üteme, kumulált mennyisége az atomerőmű üzemidejének végéig és a rendelkezésre álló tároló kapacitás bemutatása

| Tárolás helye | Üzemviteli nagy aktivitású radioaktív hulladékok | | | Leszerelési nagy aktivitású radioaktív hulladékok [m ³] |
|---------------|--|--|---|---|
| | keletkezési ütem [m ³ /év] | üzemidő végéig összegyűlik [m ³] | atomerőmű tároló kapacitása [m ³] | |
| PA Rt | 2,5 | ~ 100 | 222 | ~ 3703 |

6. sz. táblázat – A költségvetési intézmények várható kiadásai a kiégett nukleáris üzemanyag kezelésével és a létesítmények leszerelésével kapcsolatban 2003. évi áron.

| | | ESEDÉKES | KÖLTSÉG/ MFt |
|------------------|--------------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| KFKI AEKI | Kiégett üzemanyag elhelyezése | 2047 | 867,49 |
| | Kutatóreaktor lebontása | 2023 | 561,02 |
| BME NTI | Kiégett üzemanyag elhelyezése | 2047 | 97,14 |
| | Oktatóreaktor lebontása | 2027 | 2003-ban kerül meghatározásra |

7. sz. táblázat: A kiégett nukleáris fűtőelemek és a nagy aktivitású hulladék kezelésének Magyarországra meghatározott stratégiái

| Stratégia | Hulladék típusa Magyarországon | Döntés | Hazai igények | Külső igények | Előzetes értékelés | |
|-----------|---|------------------------------------|--|--|---|---|
| 1 | Nyílt ciklus hazai tárolóval | KK HÉ-LH Ü-NAH HÉ-NAEH | Hazai GT építése | KKÁT Hulladék kezelése és kondicionálása Hazai GT | ----- | Tovább értékelni |
| 2 | Nyílt ciklus külföldi tárolóval | ----- | Várakozás egy nemzetközi GT építésére | KKÁT Hulladék kezelése és kondicionálása | Nemzetközi GT | Jelenleg bizonytalan |
| 5 | Nyílt ciklus késleltetett hazai tárolóval | KK HÉ-LH Ü-NAH HÉ-NAEH | Tárolási időtartam meghatározása + Hazai GT építése | KKÁT Hulladék kezelése és kondicionálása Tartós tároló Hazai GT | ----- | Tovább értékelni |
| 6 | Nyílt ciklus késleltetett külföldi tárolóval | ----- | Várakozás egy nemzetközi GT építésére | KKÁT Hulladék kezelése és kondicionálása Tartós tároló | Nemzetközi GT | Tovább értékelni |
| 3 | Zárt ciklus hazai tárolóval | R-NAH HÉ-LH Ü-NAH HÉ-NAEH | Hazai GT építése | KKÁT Hulladék kezelése és kondicionálása Hazai GT | Reprocesszáló üzem, U/Pu kezeléssel | Nem gazdaságos a nyílt ciklussal összevetve |
| 7 | Zárt ciklus késleltetett hazai tárolóval | | Tárolási időtartam meghatározása + Hazai Gt építése | KKÁT Hulladék kezelése és kondicionálása Tartós tároló Hazai GT | | Tovább értékelni |
| 8 | Zárt ciklus késleltetett külföldi tárolóval | ----- | Várakozás egy nemzetközi GT építésére | KKÁT Hulladék kezelése és kondicionálása Tartós tároló | - Reprocesszáló üzem, U/Pu kezeléssel - R-NAH kezelés - Nemzetközi GT | Tovább értékelni |
| 4 | Zárt ciklus külföldi tárolóval és kiegészítő hazai tárolóval | HÉ-LH Ü-NAH HÉ-NAEH | Hazai GT építése | KKÁT Hulladék kezelése és kondicionálása Hazai GT | - Reprocesszáló üzem, U/Pu kezeléssel - R-NAH kezelés | Nem gazdaságos a nyílt ciklussal összevetve |
| 9 | Zárt ciklus külföldi tárolóval és késleltetett kiegészítő hazai tárolóval | | Tárolási időtartam meghatározása + Hazai GT építése | KKÁT Hulladék kezelése és kondicionálása Tartós tároló Hazai GT | | Tovább értékelni |
| 10 | Zárt ciklus külföldi tárolóval és késleltetett kiegészítő nemzetköz tárolóval | ----- | Várakozás egy nemzetközi GT építésére | KKÁT Hulladék kezelése és kondicionálása Tartós tároló | - Reprocesszáló üzem, U/Pu kezeléssel - R-NAH kezelés - Nemzetközi GT | Tovább értékelni |

Magyarázat: 1 – 4 rövid távú stratégia
5 – 10 hosszú távú stratégia

KKÁT üzemidején belül
KKÁT üzemidején túl

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Schemes for financing radioactive waste storage and disposal (Radioaktív hulladék tárolása és elhelyezés finanszírozási sémák), EC Report, EUR 18185 report 1999.
2. Schemes for financing radioactive waste storage and disposal (Radioaktív hulladék tárolás és elhelyezés finanszírozási sémák), Annex, EC Report, EUR 18185 report 1999.
3. Decommissioning of nuclear facilities. An Overview of the variability of cost estimates (Nukleáris létesítmények leszerelése. Áttekintés a költségbecslések változékonyságáról), OECD, 1991.
4. Different radioactive waste management agency schemes available in the countries of the European Union (Különböző radioaktív hulladékkezelő ügynökségek EU-ban), PHARE programme final programme, 1997.
5. Low-level radioactive waste repositories: An analysis of costs, OECD 1999.
6. IR. J. Vrijen, Az európai radioaktív hulladék-elhelyezés költségeinek összehasonlítása, Middelburg, 1996.
7. Radioactive waste management programmes in OECD/NEA member countries (Az OECD/NEA tagországok radioaktív hulladékkezelési programjainak ismertetése), 1988.
8. A radioaktív hulladékokat kezelő alapok szervezeti felépítése és működése, Tanulmány, TS ENERCON Kft. 2001.
9. Nemzetközi áttekintés a nagy aktivitású radioaktív hulladék és az elhasznált fűtőanyag elhelyezési programokról Tanulmány, ENRESA, 2001.
10. A radioaktív hulladékokat kezelő szervezetek felépítése és működése. Tanulmány, RHK Kht. 2001.
11. Solymosi József, Vincze Árpád, Ormai Péter, Fritz András: „A radioanalitika újabb hazai eredményei: a scaling-faktorok alkalmazásának lehetősége az atomerőművi radioaktív hulladékok minősítésére”, Magyar Kémikusok Lapja, 53. Évf. Különszám, december 1998.
12. Solymosi József, Vincze Árpád, Ormai Péter, Fritz András: „Radioaktív hulladékok kezelése és végleges elhelyezése, Hadtudomány, IX. Évf. 2. szám, 1999. június pp. 96-103.

13. Á. Vincze, J. Solymosi, P. Ormai, G. Volent: „Determination of 89-Sr and 90-Sr from Low- and Intermediate Level Radioactive Liquid Waste” – S.S. Hecker et al. (eds.), Nuclear Physical Methods in Radioecological Investigations of Nuclear Test Sites, 2000 Kluwer Academic Publisher. Printed in the Netherlands- NATO Science Series: 1. Disarmament Technologies – Vol. 31. pp.: 145-150.
14. P. Ormai, I. Gresits, J. Solymosi: Hungarian Strategy for Management of Radioaktiv Waste of Nuclear Power Plant Origin. Mixes Wastes and Enviromental Restoration – Working Towards A Cleaner Enviroment, Tucson, Arizona (USA), 1995.
15. Bódizs D., Csongor J., Gresits I., Gulyás J., Frizs A., Hertelendi E., Mikecz P., Molnár Zs., Ormai P., Pintér T., Solymosi J. Svingor É., Szűcs Z., Tölgyesi S. Vajda N., Zagyvai P.: A scaling módszer alkalmazhatósága atomerőművi eredetű hulladék nehezen mérhető izotópjainak koncentráció becslésére. Magyar Intézmények mérési pontosságának nemzetközi kontrollja. Őszi radiokémiai napok Imre Lajos Professzor emlékére, Szeged, 1995. október 25-27.
16. Gresits I., Tölgyesi S. Solymosi J., Past T., Szabó L., Ormai P., Volent G.: Transzuránok elválasztása atomerőművi hulladékokból és kibocsátásokból. Magyar Kémikusok Egyesülete Analitikai Napok, 1995. január 18.
17. Gresits I., Tölgyesi S. Solymosi J., Nagy L.Gy., Past T., Szabó L., Ormai P.: Quantitative determination of the alpha-emitting isotopes from evaporating tailings and purified water discharges of Nuclear Power Plant Paks, 3rd Symposium on Instrumental Analysis, 2-5 May, 1995. Pécs.
18. P.Ormai, A. Fritz, E. Hertelendi, I. Gresits, J. Solymosi: Hungarian Program for Inventory Determination of LLW-ILW of Paks NPP origin, Waste Management 96 Conference, Tucson, Arizona (USA) 1996.
19. Ormai P., Fritz A., Pintér T., Hertelendi E., Szűcs Z., Solymosi J., Gresits I., Zagyvai P., Molnár Zs., Bódizs D.: Atomerőművi radioaktív hulladékok komplex minősítési programjának kidolgozása, Vegyészkonferencia, Eger, 1996.
20. E. Hertelendi, Z. Szűcs, J. Csongor, É. Svingor, P. Ormai, A. Fritz, I. Gresits, J. Solymosi, N. Vajda, Zs. Molnár: Application of scaling technique for estimation of radionuclide inventory in radioactive waste. 3rd Regional Meeting in Central Europe, Portoroz, Slovenia, 1996.
21. Á. Vincze, I. Gresits, S. Tölgyesi, E. Erdős, J. Solymosi, P. Ormai, A. Fritz: „Application of the scaling technique for the characterisation of different

radioactive waste at npp Paks”, RADIATION PROTECTION IN NEIGHBOURING COUNTRIES OF CENTRAL EUROPE 1997, Prague, Czech Republic, September 8-12, 1997.

22. Solymosi J.: A nukleáris környezetvédelem radioanalitikája – különös tekintettel az atomerőművi radioaktív hulladékok minősítésére. MTA Kémiai Tudományok Osztálya Analitikai Kémiai Bizottság kibővített ülése, Budapest, 1997. november 18.
23. F. Frigyesi, P. Ormai, I. Gresits, J. Solymosi, A. Vincze: „How Hungary is Facing Waste Disposal Problem” International Conference on Hazardous Waste Sources, Effects and Management-HAWA '98, 12-16 December, 1998. Cairo, Egypt, Bopok of Abstract 26.3.
24. Vincze Á., Solymosi J., Vanda N., Molnár Zs., Bódizs D., Svingor É., Szántó Zs., Ormai P., Fritz A., Frigyes F., Gresits I., Tölgyesi S.: Radioaktív hulladékok minősítése scaling faktorok alkalmazásával. Vegyészkonferencia, Debrecen, 2000. július 5-7.
25. Vincze Á., Solymosi J., Vajda N., Molnár Zs., Bódizs D., Svingor É., Szántó Zs., Ormai P., Fritz A., Frigyesi F., Gresits I., Tölgyesi S., Mell P.: Radioactive Waste Characterization by Scaling Technique at NPP Paks 5th International Nuclear Technology Symposium, Paks Oct 4-6. 2000. 97.
26. Telekes, G.: „Soil Mechanic Characterisation of the Seismic Focus Region of the Earthquake in Hungary in 1985” Fifth Australia-New Zealand Conference on Geomechanics, Institution of Engineers, Australia, Preprints of Papers, Sydney, Australia, pp. 432-434a.
27. Szakál B.: Veszélyes anyagok és kárelhárításuk I., II. és III. rész, főiskolai jegyzet, SZIE-YMMFK, 2002.
28. Grósz Z.: Környezetvédelmi NATO tudományos ülés – Nemzetvédelmi Egyetem Fórum – 1999/1 sz. 4-5. o.
29. Halász L.-Grósz Z.: ABV védelem – Jegyzet – 2000. ZMNE Könyvtár.

5. BIBLIOGRÁFIA A NEMZETKÖZI KITEKINTÉSHEZ

Németország

- Az Atomenergia Békés Felhasználásáról és a Veszélyeivel Szembeni való Védelemről szóló Törvény (7/96 kiadás)
- A Sugárzásnak kitett Lakosság Előzetes Védelméről szóló Törvény (6/96 kiadás)

Egyesült Államok

- Az 1982-ben elfogadott és 1987-ben módosított Nukleáris Hulladéktörvény

Franciaország

- Az 1975. július 15-én elfogadott 75-633 számú, a Hulladékok Eliminálásával és Visszanyerésével kapcsolatos Törvény
- Az 1976. július 19-én elfogadott 76-663 számú, Környezetvédelmi Szempontból minősített létesítményekkel kapcsolatos Törvény
- Az 1991. december 30-án elfogadott 92-1311 számú, a Radioaktív hulladékok kezelésére vonatkozó rendelet
- Az 1991. december 30-án elfogadott 92-1391 számú, a Radioaktív Hulladékkezelési Ügynökségre vonatkozó rendelet
- Az 1992. december 30-án elfogadott 92-1391 számú, a Radioaktív Hulladékkezelési Ügynökségre vonatkozó rendelet
- Az 1993. július 16-án elfogadott 93-940-es számú, az 1991 decemberében jóváhagyott 91-1381 számú radioaktív hulladékkezelési és föld alatti laboratóriumok létrehozása és működtetésére vonatkozó törvény végrehajtási rendelete
- Az 1999. augusztus 3-i rendelt, amely felhatalmazza az Országos Radioaktív Hulladékkezelési Ügynökséget Bure (Meuse) helyszínnel a radioaktív hulladékok elhelyezésére esetlegesen alkalmas geológiai formációk tanulmányozása céljára földalatti laboratórium létrehozására
- Számviteli Bíróság. Jelentés az Állami szektor működéséről 1998. V. fejezet 18. pontja: A nukleáris szektor jövőbeli terhei, 1999.

Finnország

- Atomenergia Törvény (990/87)
- Atomenergia Rendelet (161/88)
- Az Államtanács döntése a reaktorok hulladékának elhelyezésére szolgáló létesítmény általános biztonsági szabályozásával kapcsolatosan (398/91)
- Kormánydöntés az elhasznált nukleáris hulladék biztonságos elhelyezésével kapcsolatosan (478/1999.)

Hollandia

- A holland kormány álláspontja a geológiai mélytárolással kapcsolatosan, 1993. május

Nagy Britannia

- British Energy Share Offer, British Energy, 1996. június
- A British Energy eladása, Kereskedelmi és Ipari Minisztérium, 1998. május
- A British Energy 1998-ban, 1999. június
- A kormány válasza a Lordok Háza Különleges Bizottsága által kidolgozott Nukleáris Hulladék Kezelés c. Jelentésre. Környezetvédelmi, Szállítási és Területfejlesztési Minisztérium, 1999. október

Svédország

- A Nukleáris Tevékenységeket Szabályozó Törvény (1984:3)
- Az elhasznált nukleáris fűtőanyaggal kapcsolatos jövőbeli terhek finanszírozásával kapcsolatos törvény (1992:1537)
- A nukleáris tevékenységekkel kapcsolatos Rendelet (1984:14)
- A Sugárvédelmi Törvény (1988:220)
- A Sugárvédelmi Szabályzat (1988:293)
- Az SKB Műszaki Jelentés 98-07. Az atomerőművekből származó radioaktív hulladékkezelés költsége, 1998. június
- SKI Jelentés 96:56. Az SKB 95-ös kutatás-fejlesztési programjának értékelése

Svájc

- EKRA Jelentés: Radioaktív Hulladék elhelyezés, 2000. február
- Az atomenergia békés felhasználására vonatkozó szövetségi törvény (1996. januári változat)
- Az 1991. március 22-én elfogadott sugárvédelmi törvény (1995-ös változat)
- Az 1978. október 6-án elfogadott atomenergia törvényre vonatkozó szövetségi rendelet
- Rendelet az atomerőművekből származó radioaktív hulladékok kezelésére szolgáló Alapról, 2000. március 6.

6. *Publikációs jegyzék*

1. Lévai Zoltán – Cseh Gábor – Dr. Halász László – Dr. Solymosi József
A SEVESO II: direktíva hazai bevezetésének várható ütemezése.
Katasztrófavédelmi Szemle 2001/1. szám 33-41. oldal.
2. Lévai Zoltán – Földi László
A 2000. évi tiszai árvízhelyzet főbb tapasztalatai.
Katasztrófavédelmi Szemle 2000/3. szám 13-18. oldal.
3. Dr. Szakál Béla – Lévai Zoltán
A veszélyes vegyi anyagok mentesítéséről.
Védelem, katasztrófa- és tűzvédelmi szemle 2001/3. szám 9. oldal.
4. Dr. Solymosi József – Dr. Szakál Béla – Tatár Attila – Lévai Zoltán
A súlyos balesetek megelőzéséért.
Katasztrófavédelmi Szemle 2001/2. szám 1-31 oldal.
5. Frigyesi Ferenc – Dr. Rónaky József – Lévai Zoltán – Dr. Solymosi József
Nemzetközi áttekintés a nagy aktivitású radioaktív hulladékok és az
elhasznált fűtőanyagok elhelyezési programokról.
Technika című folyóiratban megjelentetésre elfogadva. Várható megjelenés
2002. december. I-IV cikkben, önálló részenként megjelentetve.
6. Frigyesi Ferenc – Lévai Zoltán – Dr. Solymosi József
Radioaktív hulladékok biztonságos hazai elhelyezése.
Hadtudomány című folyóiratban megjelentetésre elfogadva. Várható
megjelenés 2002. november.
7. Dr. Szakál Béla – Lévai Zoltán – Dr. Solymosi József
Útmutató a veszélyes üzemek belső védelmi terveinek készítéséhez.
Verlag, Dashöfer – Munkavédelmi kézikönyv
15. aktualizálása 2002. szeptember.
8. Dr. Szakál Béla – Lévai Zoltán – Dr. Solymosi József
Útmutató a veszélyes üzemek külső védelmi terveinek készítéséhez.
Verlag, Dashöfer – Munkavédelmi kézikönyv
16. aktualizálása. Kiadásra elfogadva 2002. november.
9. Lévai Zoltán – Tatár Attila – Dr. Szakál Béla
A súlyos ipari balesetekkel kapcsolatos kockázatértékelési eljárások
vizsgálata (A magyar szabályozás kialakításakor felmerült szakmai dilemmák
elemzése).

Examination of risk assessment procedures of major industrial accidents (analyses of professional dilemma surfaced when drafting the respective Hungarian regulations.

AARMS folyóirat (ZMNE) 1 évfolyam 2. számában megjelenésre elfogadva, várható megjelenés 2002. november.

10. Lévai Zoltán

Offset-ellentételezés, mint a gazdaságélénkítés sikerfilozófiája.
Elektronikus publikáció ZMNE.

11. Dr. Rónaky József – Lévai Zoltán – Dr Solymosi József

A nukleáris létesítmények terrorfenyegetettsége.

Technika című folyóiratban megjelentetésre elfogadva. Várható megjelenés 2003. február.

Nemzetközi konferencia kiadványában idegen nyelvű előadás

1. Béke, Biztonság – Eurorégiók Nemzetközi Konferencia
Ukrajnában (2000.).

Előadás címe: Környezetvédelemi Ipar, Technológiai Transzfer.

2. NATO szimpózium a Kelet–Európai régió Hadiipari Konverziójáról. Minszk (1994).

Magyar nyelvű előadás

1. Ipari Biztonsági Konferencia /METESZ Sopron/.

2. Országos Katasztrófaelhárítási Konferencia /METESZ Sopron/.

3. Zöld Kereszt Nemzetközi Szervezet Konferencia.

4. Biztonságvédelmi Konferencia /Göd/.

Részvétel és előadás számos konferencián, tudományos szimpóziumon, tanácskozáson.