

# ***RADIOAKTÍV HULLADÉKOK ÉS KIÉGETT KAZETTÁK KEZELÉSE ÉS ELHELYEZÉSE***



## TARTALOMJEGYZÉK

<b>19</b>	<b>RADIOAKTÍV HULLADÉKOK ÉS KIÉGETT KAZETTÁK KEZELÉSE ÉS ELHELYEZÉSE.....</b>	<b>7</b>
<b>19.1</b>	<b>Jogszabályi háttér .....</b>	<b>7</b>
<b>19.2</b>	<b>A radioaktív hulladékokra és kiégett fűtőelem-kazettákra vonatkozó törvényi szabályok .....</b>	<b>8</b>
19.2.1	A radioaktív hulladékokra és kiégett fűtőelem-kazettákra vonatkozó általános törvényi szabályok .....	8
19.2.1.1	Nemzeti politika és nemzeti program .....	9
19.2.1.2	Radioaktív és nukleáris anyagok nyilvántartása .....	10
19.2.1.3	Radioaktív hulladék, kiégett üzemanyag tárolása és elhelyezése .....	10
19.2.2	A radioaktív hulladékokra vonatkozó részletes szabályok .....	11
19.2.2.1	Radioaktív hulladékok osztályozása .....	11
19.2.2.2	Mentesség, felszabadítás, kibocsátás .....	12
19.2.2.2.1	<i>Mentesség (Exemption)</i> .....	12
19.2.2.2.2	<i>Felszabadítás (Clearance)</i> .....	13
19.2.2.3	NBSZ előírások .....	13
19.2.2.3.1	<i>Általános előírások</i> .....	13
19.2.2.3.2	<i>A radioaktív hulladék kezelése, tárolása</i> .....	14
19.2.2.3.3	<i>Kiégett nukleáris üzemanyag kezelése, átmeneti tárolása</i> .....	14
19.2.2.3.4	<i>Leszerelés</i> .....	15
19.2.2.4	Radioaktív hulladékok és kiégett üzemanyag-kazetták tárolása, végleges elhelyezése .....	15
19.2.2.5	Radioaktív anyagok szállítása .....	15
19.2.2.6	Nukleáris anyagok és radioaktív hulladékok nyilvántartása .....	17
<b>19.3</b>	<b>Radioaktív hulladékok kezelése .....</b>	<b>17</b>
19.3.1	Radioaktív hulladékok osztályozása, csoportosítása .....	17
19.3.2	Radioaktív hulladékok forrásai a nukleáris energiatermelés során .....	20
19.3.3	A radioaktív hulladékok kezelésének alapelvei .....	20
19.3.3.1	Hulladék menedzsment az atomerőmű üzemeltetés során .....	21
19.3.3.2	A hulladék minősítés stratégiája és módszere .....	22
19.3.3.3	Radioaktív hulladék leltár .....	22
19.3.4	Hulladékkezelési technológiák .....	22
19.3.4.1	Elvárások a feldolgozó technológiákkal szemben .....	22
19.3.4.2	Központi radioaktív hulladék feldolgozó létesítmények .....	23
19.3.5	A radioaktív hulladékok kezelésének fázisai .....	23
19.3.5.1	Előkezelés .....	25
19.3.5.2	Szilárd radioaktív hulladékok kezelése .....	26
19.3.5.2.1	<i>A szilárd radioaktív hulladékok előzetes feldolgozása</i> .....	26
19.3.5.2.2	<i>A szilárd radioaktív hulladékok mechanikus feldolgozási technológiái</i> .....	28
19.3.5.2.3	<i>A szilárd radioaktív hulladékok termikus feldolgozásának technológiái</i> .....	30
19.3.5.3	Folyékony radioaktív hulladékok kezelése .....	31
19.3.5.3.1	<i>Vizes alapú folyékony radioaktív hulladékok kezelése</i> .....	31
19.3.5.3.2	<i>Folyékony szerves hulladékok</i> .....	35
19.3.5.4	Hulladék-kondicionálási technológiák .....	36
19.3.5.4.1	<i>A radioaktív hulladékok szilárdítási módszerei</i> .....	36
19.3.5.5	A radioaktív hulladékok kezelésének lehetőségei .....	39
19.3.6	Végleges elhelyezés .....	41
<b>19.4</b>	<b>Kiégett fűtőelem-kazetták kezelése .....</b>	<b>42</b>
19.4.1	Kiégett fűtőelem-kazetták pihentetése .....	43
19.4.2	Kiégett fűtőelem-kazetták átmeneti tárolása .....	44
19.4.2.1	Nedves tárolás .....	44
19.4.2.2	Száraz tárolás, kamrás .....	45
19.4.2.3	Száraz tárolás, konténeres .....	45
19.4.3	Az üzemanyagciklus lezárásának lehetőségei .....	48
19.4.3.1	A kiégett üzemanyag végleges elhelyezése .....	48
19.4.3.2	Kiégett nukleáris üzemanyag feldolgozása .....	49

<b>19.5</b>	<b>Atomerőművi blokkok leszerelése</b> .....	<b>50</b>
<b>19.6</b>	<b>Alapállapot bemutatása</b> .....	<b>51</b>
<b>19.7</b>	<b>Paks II. létesítésének hatása</b> .....	<b>52</b>
19.7.1	Közvetlen hatások .....	52
19.7.2	Közvetett hatások .....	52
19.7.3	Paks II. létesítésének hatásterületei .....	52
19.7.4	Országhatáron áttérjedő környezeti hatások .....	52
<b>19.8</b>	<b>Paks II. üzemelésének várható hatásai</b> .....	<b>52</b>
19.8.1	Normál üzemelés.....	52
19.8.1.1	Radioaktív hulladékok várható mennyisége és megoszlása .....	53
19.8.1.1.1	<i>Kis, közepes és nagy aktivitású szilárd radioaktív hulladékok</i> .....	53
19.8.1.1.2	<i>Folyékony radioaktív hulladékok</i> .....	54
19.8.1.1.3	<i>Végleges elhelyezésre kerülő hulladékmennyiség</i> .....	54
19.8.1.2	Kiégett fűtőelem-kazetták várható mennyisége.....	55
19.8.1.3	Kis, közepes és nagy aktivitású hulladékok gyűjtése, kezelése, tárolása .....	55
19.8.1.3.1	<i>Szilárd radioaktív hulladék-kezelő rendszer</i> .....	56
19.8.1.3.2	<i>Folyékony radioaktív hulladék-kezelő rendszer</i> .....	59
19.8.1.4	Kiégett fűtőelem-kazetták kezelése, tárolása .....	61
19.8.2	Paks II. üzemelésének hatásterületei .....	63
19.8.2.1	Közvetlen hatások területe .....	63
19.8.2.1.1	<i>Kis- és közepes aktivitású hulladékok kezelésének / tárolásának hatásterülete</i> .....	63
19.8.2.1.2	<i>Nagy aktivitású hulladékok kezelésének / tárolásának hatásterülete</i> .....	64
19.8.2.1.3	<i>Kiégett kazetták kezelésének / tárolásának hatásterülete</i> .....	66
19.8.2.2	Közvetett hatások területe .....	66
19.8.2.2.1	<i>Kis- és közepes aktivitású hulladékok közvetett hatásterülete</i> .....	66
19.8.2.2.2	<i>Nagy aktivitású hulladékok közvetett hatásterülete</i> .....	66
19.8.2.2.3	<i>Kiégett kazetták közvetett hatásterülete</i> .....	66
19.8.2.3	Országhatáron áttérjedő környezeti hatások területe .....	67
19.8.3	Paks II. és a Paksi Atomerőmű együttes üzemelésének hatása .....	67
19.8.4	Paks II. és a Paksi Atomerőmű együttes üzemelésének hatásterületei.....	67
19.8.5	Tervezési alapba tartozó események hatása .....	68
19.8.5.1	Tervezési alapba tartozó események.....	68
19.8.5.2	Közvetlen, közvetett és országhatáron áttérjedő hatás .....	69
<b>19.9</b>	<b>Paks II. felhagyásának hatásai</b> .....	<b>69</b>
19.9.1	Leszerelési radioaktív hulladékok.....	69
19.9.2	Felhagyás közvetlen hatásterülete .....	70
19.9.3	Felhagyás közvetett és országhatáron áttérjedő hatásainak hatásterülete .....	70
<b>19.10</b>	<b>Irodalomjegyzék</b> .....	<b>70</b>

## ÁBRAJEGYZÉK

19.3.1-1. ábra: A radioaktív hulladékok osztályozásának koncepcionális sémája .....	19
19.3.5-1 ábra: A radioaktív hulladékok kezelésének fő fázisai [19-22].....	24
19.3.5-2. ábra: Hulladékgyűjtő hely a Paksi atomerőműben .....	27
19.3.5-3. ábra: Szilárd radioaktív hulladékok átmeneti tárolása [19-3].....	27
19.3.5-4. ábra: Gyémántköteles vágó berendezés [19-4] .....	28
19.3.5-5. ábra: 50 kN-os automata hulladéktömörítő prés [19-5].....	29
19.3.5-6. ábra: Szuperkompaktor és pellet tároló [19-6].....	29
19.3.5-7. ábra: Kis aktivitású szilárd hulladék szuperkompaktálás előtt és után [19-7].....	30
19.3.5-8. ábra: Plazma égető berendezés [19-8] .....	31
19.3.5-9. ábra: Fémek olvasztása [19-9].....	31
19.3.5-10. ábra: Szerves ioncserélő gyanta [19-10].....	32
19.3.5-11. ábra: Bepárló berendezés [19-11].....	33
19.3.5-12. ábra: Fordított ozmózis berendezés [19-12].....	34
19.3.5-13. ábra: Cementezett hulladék [19-31] .....	38
19.3.5-14. ábra: Üvegezett hulladékot tartalmazó konténer [19-32].....	38
19.3.6-1. ábra: Felszíni kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék tároló [19-26].....	41
19.3.6-2. ábra: VLLW tároló, Morvilliers, Franciaország [19-27] .....	41
19.3.6-1. ábra: Az 50 MWd / kgU kiegészítő UO <sub>2</sub> üzemanyag jellemző összetétele .....	42
19.4.2-1. ábra: Példa nedves tárolásra, AREVA, LaHague, Franciaország [19-15].....	44
19.4.2-2. ábra: MVDS típusú tároló, KKÁT Paks [19-33].....	45
19.4.2-3. ábra: Száraz, konténeres tárolás, csarnokban (CASTOR tartályok, Gorleben, Németország).....	46
19.4.2-4. ábra: MAGNASTOR típusú tárolótartály és a befoglaló vasbeton konténer [19-34] .....	46
19.4.2-5. ábra: Száraz, konténeres tárolás, függőleges elrendezésben [19-35], [19-36].....	47
19.4.2-6. ábra: Száraz, vízszintes elrendezésű tároló töltése [19-37], [19-38].....	47
19.4.2-7. ábra: Jellemző elrendezés, száraz konténeres tárolás esetén [19-39] .....	48
19.8.1-1. ábra: Száraz, konténeres tárolótér javasolt telepítési területe .....	62
19.8.2-1. ábra: Kis- és közepes aktivitású hulladékok szállítási útvonala az üzemi területről az M6 autópályára [19-40] .....	63
19.8.2-2. ábra: Kis- és közepes aktivitású hulladék szállítási útvonala az M6-tól az NRHT-ig [19-41] .....	64
19.8.2-3. ábra: Paks II. nagy aktivitású radioaktív hulladékainak hatásterület-határa.....	65

## TÁBLÁZATJEGYZÉK

19.2.2-1. táblázat: Radioaktív hulladék kis és közepes aktivitású osztályba sorolása aktivitás-koncentráció alapján .....	12
19.3.1-1. táblázat: Radioaktív hulladékok kategóriába sorolása az izotóp-összetétel segítségével számolt hulladékindexek és a felületi dózisteljesítmények alapján [19-2].....	18
19.3.5-1. táblázat: Főbb előkezelési technológiák jellemzői és alkalmazásuk korlátai [19-30], [19-19] .....	26
19.3.5-2. táblázat: A vizes alapú folyékony radioaktív hulladékok kezelésének technológiai [19-30] .....	35
19.3.5-3. táblázat: Szerves folyékony radioaktív hulladékok kezelési technológiai [19-30] .....	36
19.3.5-4. táblázat: A radioaktív hulladékok szilárdítási (immobilizálási) folyamatainak összehasonlító összegzése .....	39
19.3.5-5. táblázat: A radioaktív hulladék kezelési technológiák lehetséges alkalmazásai [19-25].....	40
19.8.1-1. táblázat: Keletkező radioaktív, szilárd hulladékok éves becsült mennyisége, blokkonként [19-28].....	53
19.8.1-2. táblázat: Keletkező radioaktív, szilárd hulladékok éves becsült mennyisége, blokkonként [19-28].....	54
19.8.1-3. táblázat: Keletkező radioaktív, szilárd hulladékok üzemidő alatti becsült mennyisége, 2 blokkra .....	55
19.8.5-1. táblázat: Normál üzemtől eltérő, belső események során képződő radioaktív hulladékok .....	68

## RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK

Rövid név	Teljes név
ADR	Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás
AK	Aktivitás-koncentráció
Atv.	Az atomenergiáról szóló 1996. Évi CXVI. törvény
BAF	Bodai Aleurolit Formáció, tervezett nagy aktivitású hulladék tároló
BSS	Basic Safety Standards – Biztonsági Alapszabályzat
DF	Dekontaminációs Faktor, tisztítási tényező
IAEA	International Atomic Energy Agency, Nemzetközi Atomenergia Ügynökség
ICRP	International Commission on Radiological Protection
KKÁT	Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója
MEAK	Mentességi aktivitás-koncentráció
MVDS	Modular Vault Dry System –moduláris felépítésű száraz tároló rendszer
MF	Micro Filtration, Mikroszűrés
NAÜ	Nemzetközi Atomenergia Ügynökség
NBSz	Nukleáris Biztonsági Szabályzat (118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet)
NRHT	Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló
OAH	Országos Atomenergia Hivatal
OTH	ÁNTSz Országos Tisztifőorvosi Hivatala
RHK Kft.	Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft.
RID	Veszélyes Áruk Nemzetközi Vasúti Fuvarozásáról szóló Szabályzat
RO	Reverse Osmosis, Fordított ozmózisra alapuló víztisztítási eljárás
UF	Ultra Filtration, Ultraszűrés, víztisztítási eljárás
VLLW	Very Low Level Waste – Nagyon kis aktivitású hulladék
VVER	Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reactor (Vízűtésű és moderálású energetikai reaktor)

## 19 RADIOAKTÍV HULLADÉKOK ÉS KIÉGETT KAZETTÁK KEZELÉSE ÉS ELHELYEZÉSE

### 19.1 JOGSZABÁLYI HÁTTER

#### Nemzetközi szabályozás

IAEA Nemzetközi Biztonsági Alapszabályzat - Az ionizáló sugárzások elleni védelem és a sugárforrások biztonsága (IBSS #115.)  
IAEA Safety Standards, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards General Safety Requirements Part 3 No. GSR Part 3  
IAEA Safety Standards, Predisposal Management of Radioactive Waste, General Safety Requirements Part 5, No. GSR Part 5  
IAEA Safety Standards, Decommissioning of Facilities, General Safety Requirements Part 6, No. GSR Part 6

#### Európai Unió joganyagok

A Tanács 2013. december 5-i 2013/59/EURATOM Irányelve az ionizáló sugárzás miatti sugárterhelésből származó veszélyekkel szembeni védelmet szolgáló alapvető biztonsági előírások megállapításáról, valamint a 89/618/EURATOM, a 90/641/EURATOM, a 96/29/EURATOM, a 97/43/EURATOM és a 2003/122/EURATOM irányelv hatályon kívül helyezéséről  
A Tanács 2011/70/EURATOM irányelve (2011. július 19.) a kiégett fűtőelemek és a radioaktív hulladékok felelősségteljes és biztonságos kezelését szolgáló közösségi keret létrehozásáról

#### Törvények

1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól  
1996. évi CXVI. törvény (Atv.) az atomenergiáról  
1997. évi I. törvény a nukleáris biztonságról a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség keretében Bécsben, 1994. szeptember 20-án létrejött Egyezmény kihirdetéséről  
2001. évi LXXVI. törvény a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség keretében a kiégett fűtőelemek kezelésének biztonságáról és a radioaktív hulladékok kezelésének biztonságáról létrehozott közös egyezmény kihirdetéséről  
2014. évi II. törvény a Magyarország Kormánya és az Oroszországi Föderáció Kormánya közötti nukleáris energia békés célú felhasználása terén folytatandó együttműködésről szóló Egyezmény kihirdetéséről

#### Kormányrendeletek

314/2005. (XII.25.) Korm. rendelet a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról  
118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről  
246/2011. (XI. 24.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmény és a radioaktív hulladék-tároló biztonsági övezetéről  
124/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet az atomenergiáról szóló 1996. Évi CXVI. törvény hatálya alá nem tartozó radioaktív anyagok, valamint ionizáló sugárzást létrehozó berendezések köréről  
155/2014. (VI. 30.) Korm. rendelet a radioaktív hulladékok átmeneti tárolását vagy végleges elhelyezését biztosító tároló létesítmények biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről  
190/2011. (IX. 19.) Korm. rendelet az atomenergia alkalmazása körében a fizikai védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről

#### Miniszteri rendeletek

23/1997. (VII. 18.) NM rendelet a radionuklidok mentességi aktivitás koncentrációja és mentességi aktivitása szintjének meghatározásáról  
47/2003. (VIII. 8.) ESZCSM rendelet A radioaktív hulladékok átmeneti tárolásának és végleges elhelyezésének egyes kérdéseiről, valamint az ipari tevékenységek során bedúsuló, a természetben előforduló radioaktív anyagok sugáregészségügyi kérdéseiről  
16/2000. (VI. 8.) EüM rendelete az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról

- 11/2010. (III. 4.) KHEM rendelet a radioaktív anyagok nyilvántartásának és ellenőrzésének rendjéről, valamint a kapcsolódó adatszolgáltatásról
- 7/2007. (III. 6.) IRM rendelet a nukleáris anyagok nyilvántartásának és ellenőrzésének szabályairól
- 51/2013. (IX. 6.) NFM rendelet a radioaktív anyagok szállításáról, fuvarozásáról és csomagolásáról

## Szabvány

MSZ 14344-1:2004 Radioaktív hulladékok. Fogalom meghatározások és osztályozás

## 19.2 A RADIOAKTÍV HULLADÉKOKRA ÉS KIÉGETT FŰTŐELEM-KAZETTÁKRA VONATKOZÓ TÖRVÉNYI SZABÁLYOK

A magyarországi szabályozás rendszere a különböző nemzetközi szervezetek által készített ajánlásoktól indul. Ezeket fogadja el és építi be jogrendszerébe az Európai Unió, majd a nemzetközi normák rendelkezései alapján születnek a hazai törvények és végül azokból az érintett minisztériumok szakértő testületei készítik a végrehajtási rendeleteket, amelyek a hazai jogalkalmazókra vonatkoznak. Ez a jogi háttér jelenti az alapját és feltételrendszerét azoknak a technológiai és módszertani elveknek, amelyek az új blokkok hulladékkezelési rendszerének megfelelőségét is biztosítják.

A radioaktív hulladékokhoz kapcsolódó nemzetközi szabályozás hatósági előírásainak kidolgozásában, illetve harmonizációjában három szervezet játszik kiemelkedő szerepet:

- Nemzetközi Atomenergia Ügynökség
- OECD Nuclear Energy Agency (NEA)
- Európai Unió

A fentiekén kívül, a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (International Commission on Radiological Protection, ICRP), mint egy független nemzetközi bizottság működik, amelyik az aktuális tudományos ismeretanyag alapján tesz ajánlásokat.

A legátfogóbb nemzetközi ajánlásokat tartalmazó dokumentum, a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által 1995-ben kiadott "Nemzetközi Biztonsági Alapszabályzat - Az ionizáló sugárzások elleni védelem és a sugárforrások biztonsága (IBSS #115.)" című anyag, amely az ICRP 1990-ben megjelent ajánlása alapján készült. Az 1995-ben kiadott kötet az Európai Unió által is elfogadott, és a hazai sugárvédelem szabályozásának is az alapját képezi. Ezt váltotta le a 2014-ben kiadott, IAEA Safety Standards, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards General Safety Requirements Part 3, illetve A Tanács 2013. december 5-i 2013/59/EURATOM Irányelve, amely az elkövetkező néhány évben kerül átvételre a magyar jogszabályokba.

Az új BSS több változást fog hozni mind a radioaktív hulladékkezelés és a hozzákapcsolódó engedélyezés filozófiájában mind a vonatkozó határértékek terén. Általánosságban az mondható el, hogy az új ajánlások pragmatikusabbak és pontosabban definiálják az elvárásokat, így a helyenkénti szigorítások ellenére összességében több lehetőséget biztosítanak a radioaktív hulladékokhoz kapcsolódó tevékenységekre (mentességi szintek, nagyon kis aktivitású hulladékkategória stb.).

A KHT készítésének irányelvei szerint az aktuális jogi háttérnek megfelelő szabályozást kell alkalmazni, így a korábbi BSS rendelkezésein alapuló, és a jelenleg hatályos törvények és rendeleteket vettük figyelembe. Viszont ahol szerepe lehet a későbbiekben, ott informatív jelleggel röviden megemlítjük a változásokat is.

### 19.2.1 A RADIOAKTÍV HULLADÉKOKRA ÉS KIÉGETT FŰTŐELEM-KAZETTÁKRA VONATKOZÓ ÁLTALÁNOS TÖRVÉNYI SZABÁLYOK

A radioaktív hulladékok kezelésének és elhelyezésének korszerű jogi alapjait az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény teremtette meg. Az Atv. lefekteti az atomenergia alkalmazásának alapelveit, köztük a radioaktív hulladékokra és kiégett nukleáris-fűtőelemekre vonatkozó alapelveket is. A törvény kimondja, hogy az atomenergia alkalmazása során a biztonság minden más szemponttal szemben elsőbbsége van.



Az atomenergia alkalmazója köteles gondoskodni arról, hogy tevékenysége révén a radioaktív hulladékok keletkezése az ésszerűen megvalósítható lehető legkisebb mértékű legyen. Az atomenergia alkalmazása során a tudomány legújabb igazolt eredményeivel, a nemzetközi elvárásokkal, valamint tapasztalatokkal összhangban kell biztosítani a keletkező radioaktív hulladék és a kiégett üzemanyag biztonságos elhelyezését oly módon, hogy ne háruljon az elfogadhatónál súlyosabb teher a jövő generációkra.

Az Atv. rögzíti azt is, hogy a Magyarországon keletkező kiégett üzemanyag és radioaktív hulladék kezelésével kapcsolatban a végső felelősség a magyar államot terheli. A magyar állam viseli a végső felelősséget ezen anyagok biztonságos végleges elhelyezéséért, a melléktermékként termelődő hulladékot is beleértve, ha azokat feldolgozás vagy újrafeldolgozás céljából Magyarországról az Európai Unió valamely tagállamába vagy harmadik országba szállítják.

A Magyarországon keletkezett radioaktív hulladékot Magyarországon kell véglegesen elhelyezni, kivéve ha a szállítás időpontjában a végleges elhelyezést vállaló országgal – a radioaktív hulladékok és a kiégett fűtőelemek szállításának felügyeletéről és ellenőrzéséről szóló, 2006. november 20-i 2006/117/Euratom tanácsi irányelv 16. cikk (2) bekezdésével összhangban az Európai Bizottság által meghatározott kritériumok figyelembevételével – hatályban van olyan megállapodás, amely szerint a Magyarországon keletkezett radioaktív hulladék az érintett ország radioaktív hulladék-tárolójába szállítható végleges elhelyezés céljából. A végleges elhelyezést vállaló országba történő szállítást megelőzően Magyarország a lehető legteljesebb mértékben meggyőződik arról, hogy a célország:

- a) a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladék kezelésére vonatkozó megállapodást kötött az Európai Atomenergia-közösséggel, vagy részes fele a kiégett fűtőelemek kezelésének biztonságáról és a radioaktív hulladékok kezelésének biztonságáról szóló közös egyezménynek,
- b) a radioaktív hulladék kezelésére és végleges elhelyezésére vonatkozóan rendelkezik olyan programokkal, melyek magas szintű biztonsági céljai egyenértékűek az Atv-ben meghatározott célokkal, és
- c) radioaktív hulladék-tárolójának üzemeltetését a szállítandó radioaktív hulladékokra engedélyezték, már a szállítást megelőzően is üzemeltették, és a radioaktív hulladék kezelésére és végleges elhelyezésére vonatkozó programban meghatározott követelmények szerint irányítják.

### 19.2.1.1 Nemzeti politika és nemzeti program

Az Országgyűlés a Kormány előterjesztésére nemzeti politikát fogad el a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladékok kezelésére vonatkozóan (a továbbiakban: nemzeti politika). A nemzeti politika kidolgozása során az alábbi elveket kell érvényesíteni:

- a) a radioaktív hulladék keletkezését - megfelelő tervezési intézkedésekkel, valamint üzemeltetési és leszerelési eljárással, így különösen a nukleáris és a más radioaktív anyagok újrahaznosítása és újrafelhasználása révén - aktivitás és mennyiség tekintetében egyaránt az ésszerűen megvalósítható lehető legalacsonyabb szinten kell tartani,
- b) figyelembe kell venni a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladék keletkezésének és kezelésének valamennyi lépése közötti összefüggéseket,
- c) a kiégett üzemanyagot és a radioaktív hulladékot biztonságosan kell kezelni hosszú távon is, a passzív biztonság szempontjainak a figyelembevételével,
- d) az intézkedéseket a fokozatosság elve alapján kell végrehajtani,
- e) a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladék kezelésének költségeit annak kell viselnie, akinél ezek az anyagok keletkeznek, továbbá
- f) a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladék kezelésének valamennyi szakaszában tényeken alapuló és dokumentált döntéshozatali eljárást kell alkalmazni.

A Kormány a nemzeti politika céljainak végrehajtását bemutató nemzeti programot fogad el a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladék kezelésének a keletkezéstől a végleges elhelyezésig tartó valamennyi szakaszára és a nukleáris létesítmény leszerelésére kiterjedően (a továbbiakban: nemzeti program). A nemzeti programnak ki kell terjednie:

- a) a nemzeti politika általános célkitűzéseire,
- b) a kivitelezés jelentős szakaszaira és a szakaszok teljesítésének időbeli ütemezésére,
- c) valamennyi meglévő kiégett üzemanyag és radioaktív hulladék leltárára,
- d) a jövőben keletkező kiégett üzemanyag és radioaktív hulladék mennyiségek becslésére, ideértve a leszerelésből származó kiégett üzemanyagot és radioaktív hulladékot is,

- e) a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladék kezelésére vonatkozó koncepciókra vagy tervekre és műszaki megoldásokra, a keletkezéstől a végleges elhelyezésig,
- f) a végleges elhelyezésre szolgáló létesítmény fennállásának a lezárás utáni időszakára vonatkozó koncepciókra vagy tervekre, ideértve azt az időtartamot is, amíg az ellenőrzéseket fenn kell tartani, valamint azokat az eszközöket, amelyek segítségével a létesítménnyel kapcsolatos tudást hosszú távon meg lehet őrizni,
- g) azon kutatási, fejlesztési és demonstrációs tevékenységek leírására, amelyek révén a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladék kezelésével kapcsolatos megoldások kivitelezhetők,
- h) a nemzeti program végrehajtását illető felelősségi körökre és az előrehaladás nyomon követésére szolgáló fő teljesítménymutatókra,
- i) a nemzeti program költségeinek felmérésére, a felmérés alapjára és feltételezéseire, ideértve a költségek időbeli alakulását is,
- j) az érvényben lévő finanszírozási rendszerre,
- k) az átláthatóságot, tájékoztatást szolgáló eszközökre, eljárásokra, valamint
- l) más tagállammal vagy harmadik országgal kötött, a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladék kezeléséről, többek között a végleges elhelyezésre szolgáló létesítmények használatáról szóló megállapodásra.

### 19.2.1.2 Radioaktív és nukleáris anyagok nyilvántartása

Az atomenergia-felügyeleti szerv a radioaktív anyagokról – és ezen belül elkülönítetten a nukleáris anyagokról – központi nyilvántartást vezet. A központi nyilvántartás tartalmazza:

- a) a radioaktív anyagok helyét, fizikai és kémiai tulajdonságait,
- b) zárt sugárforrások esetében – ideértve a radioaktív hulladékká minősített zárt sugárforrásokat is – a radioaktív anyagok engedélyezett maximális készletét, aktuális készletét, fajtáját, aktivitását,
- c) radioaktív hulladékok esetében – ide nem értve a radioaktív hulladékká minősített zárt sugárforrásokat – a radioaktív hulladékok mennyiségét, készletváltozását és fajtáját, radioaktív hulladék osztályonként, valamint amennyiben ismert, radionuklidonként.

A központi nyilvántartás nukleáris anyagok esetében tartalmazza továbbá:

- a) a nukleáris üzemanyagciklussal kapcsolatos tevékenységeket és telephelyeket,
- b) az egyes nukleáris anyaggal rendelkező szervezetek rendelkezése alá tartozó nukleáris anyagok minőségét és mennyiségét elemenként (urán, plutónium, tórium), valamint hasadóanyag tartalmát,
- c) az összes nukleáris anyaggal rendelkező szervezet rendelkezése alá tartozó nukleáris anyagok minőségét és összesített mennyiségét elemenként (urán, plutónium, tórium), valamint összesített hasadóanyag tartalmát,
- d) a nukleáris anyagoknak a nukleáris anyaggal rendelkező szervezetek közötti forgalmát,
- e) a nemzetközi jelentésekben és adatszolgáltatásokban szereplő adatközlések helyességét.

Az atomenergia alkalmazója a birtokában lévő radioaktív anyagok helyéről, fizikai, kémiai tulajdonságairól és a velük kapcsolatos tevékenységekről helyi nyilvántartást vezet és adatokat szolgáltat a központi nyilvántartás számára.

### 19.2.1.3 Radioaktív hulladék, kiégett üzemanyag tárolása és elhelyezése

Az atomenergia alkalmazására engedély csak akkor adható, ha biztosított a keletkező radioaktív hulladék és a kiégett üzemanyag biztonságos elhelyezése, összhangban a tudomány legújabb igazolt eredményeivel, a nemzetközi elvárásokkal, valamint tapasztalatokkal.

A radioaktív hulladék elhelyezése (átmeneti tárolása vagy végleges elhelyezése), és a kiégett üzemanyag elhelyezése (átmeneti tárolása vagy a nukleárisüzemanyag-ciklus lezárása) akkor tekinthető biztonságosnak, ha:

- a) biztosított az emberi egészség és a környezet védelme e tevékenységek teljes időtartamára; és
- b) az emberi egészségre és a környezetre gyakorolt hatás az országhatárokon túl sem nagyobb a belföldön elfogadottnál.

A Kormány által kijelölt szerv (jelenleg a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Társaság) gondoskodik a radioaktív hulladék végleges elhelyezésével, a kiégett üzemanyag átmeneti tárolásával, a nukleárisüzemanyag-ciklus lezárásával, és a nukleáris létesítmény leszerelésével összefüggő feladatok elvégzéséről.

A Központi Nukleáris Pénzügyi Alap a radioaktív hulladék végleges elhelyezésének, a kiégett üzemanyag átmeneti tárolásának és a nukleárisüzemanyag-ciklus lezárásának, továbbá a nukleáris létesítmény leszerelésével összefüggő feladatok finanszírozását biztosító elkülönített állami pénzalap.

Az atomerőmű a radioaktív hulladék végleges elhelyezésének, valamint a kiégett üzemanyag átmeneti tárolásának – beleértve a tároló leszerelését is –, és a nukleárisüzemanyag-ciklus lezárásának, továbbá az atomerőmű leszerelésének, valamint az ellenőrzési és információs célú önkormányzati társulásoknak nyújtott támogatás költségeit a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapba történő befizetés útján köteles biztosítani.

Atomerőmű esetében a befizetés mértékét úgy kell megállapítani, hogy az teljes mértékben fedezze:

- a) az atomerőmű teljes üzemideje alatt és a leszereléskor keletkező radioaktív hulladék végleges elhelyezésével, valamint a kiégett üzemanyag átmeneti tárolásával és a nukleárisüzemanyag-ciklus lezárásával,
- b) az első előzetes leszerelési terv költsége kivételével valamennyi, az atomerőmű, továbbá a kiégett üzemanyag átmeneti tárolója leszerelésével,
- c) az ellenőrzési és információs célú önkormányzati társulásoknak nyújtott támogatással, valamint
- d) a Központi Nukleáris Pénzügyi Alap létrejöttét megelőzően létesített radioaktív hulladék-tárolóban a befizetési kötelezettségből származó bevételből nem fedezett, a véglegesen elhelyezett radioaktív hulladék tárolásával, a tároló biztonság növelésével és üzemeltetésével

járó költségeket.

## 19.2.2 A RADIOAKTÍV HULLADÉKOKRA VONATKOZÓ RÉSZLETES SZABÁLYOK

### 19.2.2.1 Radioaktív hulladékok osztályozása

Az Atv. definíciója szerint a radioaktív hulladék: „további felhasználásra már nem kerülő olyan radioaktív anyag, amely sugárvédelmi jellemzők alapján nem kezelhető közönséges hulladékként”.

A radioaktív hulladékok besorolását a radioaktív hulladékok átmeneti tárolásának és végleges elhelyezésének egyes kérdéseiről, valamint az ipari tevékenységek során bedúsuló, a természetben előforduló radioaktív anyagok sugár-egészségügyi kérdéseiről szóló 47/2003 (VIII. 8.) ESzCsM rendelet 2. számú melléklete szabályozza.

Kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladék:

- amelyben a hőfejlődés az elhelyezés (és tárolás) során elhanyagolható.
  - Rövid élettartamú: az izotópleltárban lévő radionuklidok meghatározó részének a felezési ideje 30 év, vagy annál kisebb, és csak korlátozott koncentrációban tartalmaz hosszú élettartamú alfa-sugárzó radionuklidokat.
  - Hosszú élettartamú: a benne lévő izotópok számottevő részét kitevő radionuklidok felezési ideje és / vagy az alfa-sugárzó radionuklidok koncentrációja meghaladja a rövid élettartamú radioaktív hulladék határértékeit.

Nagy aktivitású hulladék:

- a hőtermelést a tárolás és elhelyezés tervezése és a tároló üzemeltetése során figyelembe kell venni.

A radioaktív hulladék kis- és közepes aktivitású osztályba sorolását a benne lévő radioizotóp aktivitás-koncentrációja és mentességi aktivitás-koncentrációja (MEAK) alapján kell elvégezni.

Radioaktív hulladék osztály	Aktivitás-koncentráció (Bq/g)	Aktivitás-koncentráció viszonyítás több izotóp jelenléte esetén
Kis aktivitású	1 MEAK - 10 <sup>3</sup> MEAK	$\sum_i \frac{AK_i}{MEAK_i} \leq 10^3$
Közepes aktivitású	> 10 <sup>3</sup> MEAK	$\sum_i \frac{AK_i}{MEAK_i} > 10^3$

ahol:

$AK_i$  a radioaktív hulladékban előforduló  $i$ -edik radioizotóp aktivitás-koncentrációja [Bq/g],

$MEAK_i$  az  $i$ -edik radioizotóp mentességi aktivitás-koncentrációja [Bq/g].

19.2.2-1. táblázat: Radioaktív hulladék kis és közepes aktivitású osztályba sorolása aktivitás-koncentráció alapján

A MEAK szinteket a 23/1997. (VII. 18.) NM rendelet állapította meg a NAÜ I BSS #115 kiadványa alapján.

### 19.2.2.2 Mentesség, felszabadítás, kibocsátás

#### 19.2.2.2.1 Mentesség (Exemption)

Az atomenergia hazai, békés célú felhasználását szabályozó 1996. évi CXVI. törvény meghatározása szerint: „radioaktív anyag: a természetben előforduló vagy mesterségesen előállított anyag, amelynek egy vagy több összetevője ionizáló sugárzást bocsát ki”. Ha ezt a meghatározást egybevetjük a törvény hatályára vonatkozó 1. § (2) bekezdésével: „E törvény hatálya ... nem terjed ki az olyan radioaktív anyagokkal kapcsolatos tevékenységekre, amelyek – a létrehozható ionizáló sugárzás jellege és mértéke folytán – az emberi életre és egészségre, továbbá az élő és élettelen környezetre nem minősülnek veszélyesnek”, akkor látható, hogy vannak olyan radioaktív anyagok, amelyek nem tartoznak a törvény hatálya alá, azaz a sugárvédelemben használatos megfogalmazás szerint „mentesek” a törvény hatálya, a szabályozás alól.

A mentességre vonatkozó részletes szabályozást a 124/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet és az ehhez kapcsolódó, 23/1997. (VII. 18.) NM rendelet tartalmazza. Az előbbi mentesség fogalmát a következőképpen adja meg (1. § (1)):

„Nem tartozik az Atv. hatálya alá az a radioaktív anyag, a) amelyben a radionuklid teljes aktivitása, vagy b) amellyel kapcsolatos tevékenység során az anyagban előforduló radionuklid egységnyi tömegre vonatkoztatott aktivitás koncentrációja nem haladja meg a külön jogszabályban meghatározott mentességi szintet”.

A meghatározás szerint tehát bizonyos – majd látni fogjuk, hogy az anyagban lévő radionuklidoktól függő – aktivitás- vagy aktivitáskoncentráció-szintek alatt tekinthető egy anyag mentesnek. Hangsúlyozni kell a „vagy” kapcsolatot, azaz pl. egy kis aktivitású pontforrás (amelynek a kis tömeg miatt nagy lehet az aktivitás-koncentrációja) ugyanúgy lehet mentes, mint egy (viszonylag) nagy mennyiségű, de kis aktivitás-koncentrációjú anyag.

Az aktivitás-, illetve aktivitás-koncentráció szinteket (a 19.2.2.1 fejezetben ismertetettek szerint) a 23/1997. (VII. 18.) NM rendelet adja meg a gyakorlatban szóba jöhető radionuklidokra.

A rendelet rögzíti azt is, hogy ha nem egyetlen radionukliddal kapcsolatos mentességet kell értékelni. Ebben az esetben a mentesség feltételei a következőképpen alakulnak: „Amennyiben a radioaktív anyag egynél több radionuklidot tartalmaz, vagy egy munkahelyen többféle radioaktív izotóp kerül felhasználásra, minden egyes radionuklid aktivitása vagy aktivitás koncentrációja és a hozzá tartozó mentességi szint hányadosaiból képzett összegre teljesüljön, hogy az nem eredményez 1-nél nagyobb értéket”.

A mentesség számszerűen a következő formula alapján dönthető el:

$$\sum_i \frac{AK_i}{MEAK_i} \leq 1$$

ahol:

$AK_i$ : Az anyagban lévő  $i$ . radioizotóp aktivitás-koncentrációja [Bq/g],

$MEAK_i$ : Az  $i$ . radionuklidra vonatkozó mentességi aktivitás-koncentráció [Bq/g].

Ebből az is következik, hogy a mentes anyagok valójában tartalmaznak radioaktív izotópokat, tehát gyakorlatilag radioaktív anyagok, de a radioaktív anyagok egy csoportját alkotják amelyeket (elhanyagolható sugárhatásuk miatt), jogilag nem kell radioaktívnak tekinteni.

Meg kell még említeni, hogy a NAÜ szabályzata (IBSS115) kitér a szabályozásból való kizárás esetére is, amikor egyes sugárterhelések (pl. a <sup>40</sup>K izotóp által okozott belső sugárterhelés, aminek átlagos koncentrációja a talajban 370 Bq/kg, vagy a föld felszínén tapasztalható kozmikus sugárzás) szabályozhatatlansága eredményezi a kizáró okot.

#### 19.2.2.2 Felszabadítás (Clearance)

A felszabadítás célja, hogy egy korábban a szabályozás hatálya alá tartozó radioaktív anyagot ki lehessen vonni a szabályozás hatálya alól, azaz pl. ne kelljen radioaktív hulladékként kezelni.

A radioaktív anyagok a sugár-egészségügyi hatósági ellenőrzés alól történő felszabadítását 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet definiálja:

„a radionuklidokat tartalmazó anyag felszabadítható a hatósági felügyelet alól, ha:

- a) az újrafelhasználásából, újrahasznosításából vagy nem-radioaktív hulladékként való kezeléséből származó egyéni évi sugárterhelés nem haladja meg a 30  $\mu$ Sv effektív dózist, és
- b) az elemzés a felszabadítást mutatja a legjobb megoldásnak.”

A felszabadítás lehet feltételekhez kötött, ekkor feltételes felszabadításról beszélünk, vagy feltétel nélküli felszabadítás. Első esetben a felszabadított anyag, csak a felszabadítást megalapozó tanulmányban, illetve az engedélyben megadott feltételek mellett ártalmatlanítható vagy használható fel. A feltétel nélküli felszabadítás azt jelenti, hogy a hatósági ellenőrzés alól kikerült anyag a továbbiakban mindenféle korlátozás nélkül használható, ártalmatlanítható.

A 30  $\mu$ Sv éves lekötött lakossági dózis betartására felszabadítási tanulmányt kell készíteni, amelyben a felszabadítandó anyag fizikai-kémiai jellemzőiből, a tervezett elhelyezési, vagy felhasználási hely műszaki technológiai paramétereiből és szervezési intézkedések adataiból kiindulva meghatározhatók a besugárzási útvonalak, amelyek alapján a radioaktívan szennyezett anyagok közelében dolgozó személyzet vagy a környéken élő lakosság többlet sugárterhelése kiszámítható, illetve a vonatkozó felszabadítási korlátok megállapíthatók.

Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy mindig ún. feltételes felszabadítási eljárásokra került sor. A felszabadított anyag csak az elemzésben megvizsgált módon ártalmatlanítható, vagy használható tovább. Pl. a felszabadított mennyiség maximalizálva van, ahogy a benne előforduló radioizotópok köre, és azok aktivitás koncentrációi is; a hulladék csak adott lerakón helyezhető el, a szállításhoz és lerakáshoz szükséges műveletek is pontosan definiáltak stb. A felszabadítás gyakorlata pedig összetett és megfelelően minőségbiztosított mérési és szállítási folyamatokat követel meg.

Tehát felszabadítás mindig csak egyedi (és körültekintően elemzett) esetekben végezhető. A felszabadítás alapja pedig nem az aktivitás szintje, hanem a felszabadított hulladék, vagy egyéb anyagok által okozott lakossági sugárterhelés.

#### 19.2.2.3 NBSZ előírások

A nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről szóló 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet radioaktív hulladékokkal és kiégett üzemanyaggal kapcsolatos főbb előírásai kitérnek a radioaktív hulladék és kiégett üzemanyag kezelő, tároló rendszerek tervezési és üzemeltetési követelményekre is.

##### 19.2.2.3.1 Általános előírások

A nukleáris létesítmény üzemeltetése, leszerelés, továbbá a radioaktív anyagoknak ezen tevékenységekhez kapcsolódó szállítása és a radioaktív hulladék kezelés során a következő biztonsági célkitűzéseket kell érvényesíteni:

1. Általános nukleáris biztonsági célkitűzés, hogy a lakosság egyedei és csoportjai, valamint a környezet védelme biztosított legyen az ionizáló sugárzás veszélyével szemben.
2. Sugárvédelmi célkitűzés, hogy a nukleáris létesítmény üzemeltetése során az üzemeltető személyzet és a lakosság sugárterhelése mindenkor az előírt határértékek alatti, az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szintű legyen. Ezt biztosítani kell a tervezési alaphoz tartozó üzemzavarok és – amilyen mértékben

ésszerűen lehetséges – a tervezésen túli üzemzavarok és a balesetek következtében fellépő sugárterhelések esetén is.

3. Műszaki biztonsági célkitűzés, hogy az üzemzavari események bekövetkezése nagy biztonsággal megelőzhető, vagy megakadályozható legyen, a nukleáris létesítmény tervezésénél figyelembe vett valamennyi feltételezett kezdeti esemény esetén a lehetséges következmények az elfogadható mértékeken belül legyenek, valamint a balesetek valószínűsége kellően alacsony legyen.

Az engedélyesnek biztosítani kell a felhasznált, előállított, tárolt vagy szállított radioaktív anyag, és minden keletkező radioaktív hulladék biztonságos ellenőrzését. A radioaktív hulladék keletkezését, mind aktivitásuk, mind mennyiségük tekintetében minimális szinten kell tartani.

A nukleáris üzemanyagok és a radioaktív hulladékok telephelyen belüli kezelési, tárolási követelményeit, a telephelyen szükséges mértékű tárolókapacitást a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladékok kezelésének és végleges elhelyezésének nemzeti stratégiájával összhangban kell meghatározni.

#### **19.2.2.3.2 A radioaktív hulladék kezelése, tárolása**

A radioaktív hulladékokat kezelő rendszereket és az alkalmazott eljárásokat úgy kell megtervezni, hogy a végtermékként keletkező hulladék megfeleljen a szállítási, átmeneti tárolási követelményeknek, valamint – amennyiben ismert – a végső elhelyezés átvételi követelményeinek.

A hatékony hulladékkezelés érdekében a keletkező radioaktív hulladékokat szét kell választani a halmazállapotuk szerint, és aktivitástartalmuk szerint osztályozni kell őket. Feldolgozásuk során fizikai és kémiai tulajdonságaikat figyelembe kell venni.

A keletkező radioaktív hulladékokat minősíteni kell. Nuklidspecifikus mérésekkel meg kell határozni a radioaktív hulladékok reprezentatív izotóp összetételét és aktivitását.

Az atomerőmű területén a tárolást úgy kell megtervezni, hogy minden radioaktív hulladékcsoomag ellenőrizhető, szükség esetén visszanyerhető legyen.

Az üzemelés során keletkező minden hulladékot radioaktív hulladékként kell kezelni mindaddig, míg az ellenkezője dokumentált ellenőrző méréssel nem bizonyított.

El kell kerülni az olyan radioaktív hulladék képződését, amely nem kompatibilis a rendelkezésre álló tárolási, feldolgozási technológiával és a végleges elhelyezés követelményeivel.

A tárolóban lévő radioaktív hulladékcsoomag helyét és jellemzőit nyilván kell tartani.

#### **19.2.2.3.3 Kiégett nukleáris üzemanyag kezelése, átmeneti tárolása**

A besugárzott nukleáris üzemanyag kezelésére, szállítására és átmeneti tárolására szolgáló rendszerek és rendszerelemeknek az alábbi követelményeket kell teljesíteni:

- a) minden üzemi állapotban biztosítják a maradványhő elvitelét,
- b) megakadályozzák nehéz tárgyaknak a fűtőelem-kötegekre történő ráesését,
- c) biztosítják a besugárzott fűtőelem-kötegek vizuális vizsgálatát, és a fűtőelemek hermetikusságának ellenőrzését és minősítését, valamint
- d) a feltételezhető vagy kimutatható hibákkal rendelkező fűtőelemek vagy fűtőelem-kötegek esetében biztosítják az állapotuknak megfelelő tárolást.

A besugárzott fűtőelem-kötegek részére szükséges tárolási kapacitás meghatározásánál biztosítani kell, hogy az atomreaktorban lévő fűtőelem-kötegek tervezett kezelési eljárásának megfelelően, minden esetben el lehessen végezni a szükséges mennyiségű fűtőelem-köteget atomreaktorból történő kirakását.

A besugárzott fűtőelem-kötegek víz alatti tároló rendszerének biztosítani kell:

- a) a besugárzott fűtőelemek szükség szerinti vizsgálatát,
- b) a tároló-közeg vízkémiai és radiológiai ellenőrzésére szolgáló eszközöket,
- c) víztisztító, szivárgásgyűjtő és szivárgás-ellenőrző rendszereket, valamint
- d) a tárolómedence szintjét és hőmérsékletét szabályozó és monitorozó rendszereket.

#### 19.2.2.3.4 Leszerelés

A nukleáris létesítmény tervezése során figyelembe kell venni a létesítmény végleges leállítására és a leszerelésére vonatkozó követelményeket is.

Biztosítani kell az atomerőmű területén tartózkodó személyek és a lakosság sugárterhelésének, valamint a radioaktív kibocsátásoknak az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szinten tartását és a környezet radioaktív szennyeződésének elkerülését a leszerelés során is. Ennek érdekében olyan tervezési megoldásokat kell alkalmazni, amelyek lehetővé teszik a leszerelés alatt várhatóan fellépő sugárterhelések optimalizálását, a keletkező radioaktív hulladékok mennyiségének és aktivitásának ésszerűen alacsony szinten tartását.

Az engedélyes leszerelési stratégiát dolgoz ki az összes telephelyére vagy telephelycsoportjára vonatkozóan. Amennyiben egy telephelyen több, különböző engedéllyel rendelkező nukleáris létesítmény is van, akkor az összes nukleáris létesítmény-specifikus előzetes leszerelési tervben a nukleáris létesítmények közötti kölcsönhatást és kapcsolatokat is figyelembe kell venni. A stratégiának összhangban kell lennie a leszerelésre és a radioaktív hulladék kezelésére és elhelyezésére vonatkozó érvényes nemzeti stratégiákkal, valamint más a leszerelési stratégiát befolyásoló nemzeti stratégiákkal és nemzetközi kötelezettségekkel.

Az engedélyesnek már a létesítés engedélyezése során el kell készítenie a létesítmény Előzetes Leszerelési Tervét, amelyet öt évente aktualizálnia kell.

#### 19.2.2.4 Radioaktív hulladékok és kiégett üzemanyag-kazetták tárolása, végleges elhelyezése

A 155/2014. (VI. 30.) Korm. rendelet a radioaktív hulladékok átmeneti tárolását vagy végleges elhelyezését biztosító tároló létesítmények biztonsági követelményeit szabályozza. A radioaktív hulladékok tároló létesítményben való átmeneti tárolásának és végleges elhelyezésének biztonsági célja a radioaktív hulladékban lévő, az emberre és a környezetre veszélyt jelentő radioaktív izotópok elszigetelése a bioszférától és az arra hatást gyakorló környezeti elemektől, ezáltal a jelenlegi és a jövőbeni nemzedékek, valamint a környezet védelme.

Általános biztonsági célkitűzés, hogy az ember és a környezet védelme biztosított legyen az ionizáló sugárzás káros hatásaival szemben.

Sugárvédelmi célkitűzés, hogy az érintett munkavállalók és a lakosság sugárterhelése mindenkor az előírt határértékek alatti, az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szintű legyen. Ezt biztosítani kell a tervezési alaphoz tartozó üzemzavarok és – amilyen mértékben ésszerűen lehetséges – a tervezésen túli üzemzavarok és a balesetek következtében fellépő sugárterhelések esetén is.

Műszaki biztonsági célkitűzés, hogy a tároló létesítmény tervezésénél figyelembe vett valamennyi feltételezett esemény esetén a lehetséges következmények az elfogadható mértéken belül legyenek, valamint a balesetek valószínűsége kellően alacsony legyen.

A radioaktív hulladékok tároló létesítményben történő átvételét megelőzően meg kell határozni a radioaktív hulladékok átvételi követelményeit. Szükség szerint korlátokat kell meghatározni és alkalmazni többek között az izotóptartalomra és aktivitás-koncentrációra az egyes hulladék csomagokban, továbbá minden egyéb (a biztonság szempontjából) fontos paraméterre. A hulladék átvételi követelmények legalább a következőket meghatározzák:

- a) a hulladék összetételének korlátai,
- b) a hulladék formájának korlátai,
- c) a hulladékcsomagokat tároló konténer korlátai, és
- d) ha szükséges, a hulladékcsomagokra vonatkozó korlátok.

A tároló létesítményben csak olyan radioaktív hulladékot lehet tárolni, amelynél az átvételt megelőző kezelés során olyan hulladékformát és csomagolást alakítottak ki, amely megfelel hulladék átvételi követelményeknek.

#### 19.2.2.5 Radioaktív anyagok szállítása

A veszélyes anyagok – és ezen belül a radioaktív hulladékok – szállítását nemzetközi egyezmények szabályozzák, bár Európában külön egyezmények vonatkoznak a különböző, a tengeri, a közúti, a folyami, a légi és a vasúti szállítási módokra, ezek nagymértékben hasonlóak. A szállítási módok közül a legjelentősebb szerepet a közúti szállítás jelenti,

mivel az összes többi esetében a berakodás helyére (pl. a pályaudvarra) a radioaktív anyagokat többnyire csak közúton lehet eljuttatni.

A radioaktív anyagok szállítása során a legfontosabb védelmi cél a szennyezés elkerülése, valamint a személyek, az anyagi javak, és a környezet védelme a sugárzás hatásaival szemben. A csomagolás mérete, anyaga, kialakítása a szállításra váró radioaktív anyag tulajdonságaitól függ. A megfelelő csomagolás kiválasztását radioaktív anyag jellege, a szállítandó radioaktív izotópfajtája, aktivitása és a fizikai, kémiai tulajdonságai (pl. halmazállapot) határozza meg.

Az ionizáló sugárzást kibocsátó radioaktív anyagok és az önfenntartó, nukleáris láncreakcióra képes vagy képessé tehető anyagok biztonságos alkalmazását szigorú hatósági rendszer felügyeli. Az atomenergiáról szóló törvény szerint az Országos Atomenergia Hivatal (OAH) hatáskörébe tartozik többek között a radioaktív anyagok szállításának engedélyezése a veszélyes áruk szállításáról szóló jogszabályok rendelkezései szerint, és a radioaktív anyagok csomagolásának jóváhagyása és ellenőrzése. Ezek szerint az OAH engedélyezi a nemzetközi szállítást és a különösen nagy aktivitású radioaktív anyagok belföldi szállítását. A Hivatal feladata továbbá az ezzel kapcsolatos nemzetközi értesítések kiadása és fogadása, valamint a nemzetközi szállítás közben esetleg bekövetkezett rendkívüli eseményeknél szükséges operatív intézkedések kezdeményezése.

A radioaktív anyagok szállításáról rendelkező 51/2013. (IX. 6.) NFM rendelet (a radioaktív anyagok szállításáról, fuvarozásáról és csomagolásáról) lényegében az egyes hatóságok engedélyezési és ellenőrzési illetékességi köréről rendelkezik.

A 190/2011. (IX. 19.) Korm. rendelet (az atomenergia alkalmazása körében a fizikai védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről) pedig a szállítás során szükséges fizikai védelem (őrzés, biztonság) feltételeit rögzíti.

Tartalmi kérdésekben közúti szállítás esetén az ADR (Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás) 7. osztályára vonatkozókat kell alkalmazni.

Vasúti szállítás esetén pedig a RID a Veszélyes Áruk Nemzetközi Vasúti Fuvarozásáról szóló Szabályzat rendelkezik. Az ADR-rel összehangolt szövegének hatályos változatát a RID 2011-et a 2011. évi LXXX. törvény tartalmazza.

A csomagolás típusára vonatkozó követelmények alapjául a radiológiai kockázatot kiváltó aktivitásértékek szolgálnak, melyeket izotóponként határoztak meg. A jelenlegi szabályozásban külön határérték (A1) vonatkozik a vízben nem oldódó, nem diszpergálódó, ún. "különleges formájú", és egy másik (A2) a vízben oldódó vagy diszperzióra képes radioaktív anyagokra. Az értékek meghatározása során azokat a lehetséges besugárzási útvonalakat elemezték, amelyek személyek jelentős külső és / vagy belső dózisterhelését okozhatják egy szállítási baleset következtében.

A csomagolás a szállítandó anyag jellemzőitől függően lehet:

- Az "A" típusú csomagolás: A klasszikus csomagolási forma a radioaktív anyagok esetében. Az ilyen csomagolásnak a normál szállítási körülmények között, beleértve a kisebb rakodási anomáliákat is (pl. a rakomány véletlen leborulása, eldőlése) meg kell tartania radioaktív-anyag tartalmát és sugárvédelmi árnyékoló képességét. Az "A" típusú csomagolásban szállítható maximális aktivitásokat az A1 / A2 értékek határozzák meg.
- A "B" típusú csomagolás: Az A1 / A2 értékeket meghaladó – vagyis nagy radiológiai kockázatot rejtő – radioaktív anyagok szállításakor kell alkalmazni. Ezért ennek a csomagoltípusnak egy baleset esetén is meg kell tartania sugárvédelmi árnyékoló-képességét, illetve a radioaktív anyagok kijutása csak korlátozott lehet. A csomagolás hatósági jóváhagyás szempontjából lehet "B(U)" jelölésű, ún. egyoldalú (unilaterális) – amikor is csak adott ország hatósága hagyja jóvá –, vagy "B(M)" jelölésű többoldalú (multilaterális), amikor több ország hatósága is engedélyezi a csomagolást. Ez utóbbi megoldás nemzetközi szállításokkor lényeges.
- A "C" típusú csomagolás: Olyankor kell alkalmazni, amikor nagy aktivitású radioaktív anyagot kívánnak légi úton továbbítani. A "C" típusú küldeménydarabokat úgy kell kialakítani, hogy valószínűtlen legyen a radioaktív anyag kiszabadulása és az árnyékolásfolytonosságának elvesztése a szállítás közbeni baleseti körülmények között, beleértve a légi szállítás baleseti körülményeit is.
- Hasadó anyagok csomagolása: Az aktivitástól függően a már felsorolt csomagolási típusok valamelyikével történhet. Ilyen anyagok szállításakor a csomagolásnak azt is biztosítania kell, hogy a szubkritikus állapot mind a normál szállítás, mind baleseti körülmények között fennmaradjon a szállítás teljes ideje alatt.



### 19.2.2.6 Nukleáris anyagok és radioaktív hulladékok nyilvántartása

A 11/2010. (III. 4.) KHEM rendelet szabályozza a radioaktív anyagok és radioaktív hulladékok nyilvántartásának és ellenőrzésének rendjét. Radioaktív hulladékok esetében a helyi nyilvántartásnak a következő adatokat kell tartalmaznia:

- a) radioaktív hulladék osztálya;
- b) az osztályba sorolás alapja;
- c) tárolás jellege;
- d) hulladékforma;
- e) csomagolás;
- f) mennyiség, mennyiség egysége;
- g) radionuklid eleme és tömegszáma (amennyiben ismert);
- h) aktivitás, aktivitás dátuma (amennyiben ismert);
- i) aktivitás meghatározásának módja;
- j) hulladékká minősítés dátuma, minősítési jegyzőkönyv számát, minősítést végző neve és címe.

A 7/2007. (III. 6.) IRM rendelet szabályozza a nukleáris anyagok nyilvántartását és ellenőrzését. A központi nyilvántartás célja Magyarország által a Biztosítéki Egyezményben és a Kiegészítő Jegyzőkönyvben vállalt, illetve Magyarország részére az Euratom Szerződésben és az Euratom rendeletben előírt kötelezettségek teljesítése.

A nukleáris anyaggal rendelkező szervezet a rendelkezése alá eső nukleáris anyagokról helyi nyilvántartást vezet. A helyi nyilvántartásnak meg kell felelnie a Biztosítéki Egyezményben foglalt követelményeknek.

## 19.3 RADIOAKTÍV HULLADÉKOK KEZELÉSE

Radioaktív hulladék minden olyan anyag, amely valamilyen tervezett nukleáris tevékenység során keletkezik, és további felhasználására már nincs igény vagy mód, ugyanakkor a benne lévő radioizotópok koncentrációja meghaladja a környezetbe történő, és biztonságosnak tekintett kibocsátás, vagy kihelyezés (deponálás) határértékeit.

Kezelési szempontból a radioaktív hulladék:

- olyan gáz, folyékony vagy szilárd halmazállapotú radioaktív anyag, amelynek további használatát nem tervezik, és amelynek radioaktív hulladékként való ellenőrzését valamely hatóság végzi;
- további felhasználásra már nem kerülő olyan radioaktív anyag, amely sugárvédelmi jellemzők alapján nem kezelhető közönséges hulladékként.

### 19.3.1 RADIOAKTÍV HULLADÉKOK OSZTÁLYOZÁSA, CSOPORTOSÍTÁSA

A Radioaktív hulladékok osztályozása többféle szempont alapján történhet:

- Eredet szerint (nukleáris ciklus, nem nukleáris ciklus)
- Radiológiai tulajdonságok szerint:
  - sugárzás fajtája szerint (kis-, nagy-áthatoló képességű)
  - aktivitás-koncentráció szerint (kis, közepes, nagy)
  - dózisteljesítmény szerint (kis, közepes, nagy)
  - felületi szennyezettség szerint (fixált, nem fixált)
  - felezési idő szerint (rövid, közepes, hosszú)
- Fizikai tulajdonságok szerint:
  - halmazállapot szerint: (szilárd, folyékony, légnemű)
  - hőtermelés
  - kritikusság
  - méret
- Kémiai tulajdonságok szerint (toxikus, korrozív, gyúlékony, éghető, szerves)
- Hulladékkezelési módszerek szerint (préselhető, égethető, cementezhető stb.)

A radioaktív hulladékokat a típusuktól függetlenül a nemzetközi gyakorlatban elfogadott módon a bennük található radioaktív izotópok aktivitás-koncentrációi ( $AK_i$ ) és a mentességi aktivitás-koncentrációik ( $MEAK_i$ ) hányadosainak összege segítségével számolt ún. hulladék index alapján a 19.3.1-1. táblázatban megadott paraméterek szerint sorolják kategóriákba.

A magyar szabvány az aktivitás-koncentrációkat tartalmazó táblázata mellett egy hasonló, kifejezetten gyakorlati jellegű kiegészítést is közöl: a hulladékokat tartalmazó göngyölegek felületén mérhető gamma-dózisteljesítmény értéke alapján is meghatározza a hulladékok osztályait. Ez az osztályozási mód inkább a gyakorlati hulladékkezelési tevékenységekhez kapcsolódik, mivel dózisteljesítményt egyszerű kézi műszerrel is könnyen és pontosan lehet mérni, míg az izotópszelektív aktivitás-koncentráció méréshez (a képletben szereplő  $AK_i$ -k meghatározásához) hosszúságú és bonyolult eljárások szükségesek. Az egyes kategóriákhoz tartozó értékeket szintén a 19.3.1-1. táblázatban foglaltuk össze.

Radioaktív hulladék	$\sum \frac{AK_i}{MEAK_i}$	Felületi dózisteljesítmény
		[ $\mu$ Gy/h]
Kis aktivitású	1,0 - 1 000	< 300
Közepes aktivitású	1 000 - 1 000 000	300 - 10 000
Nagy aktivitású	> 1 000 000	> 10 000

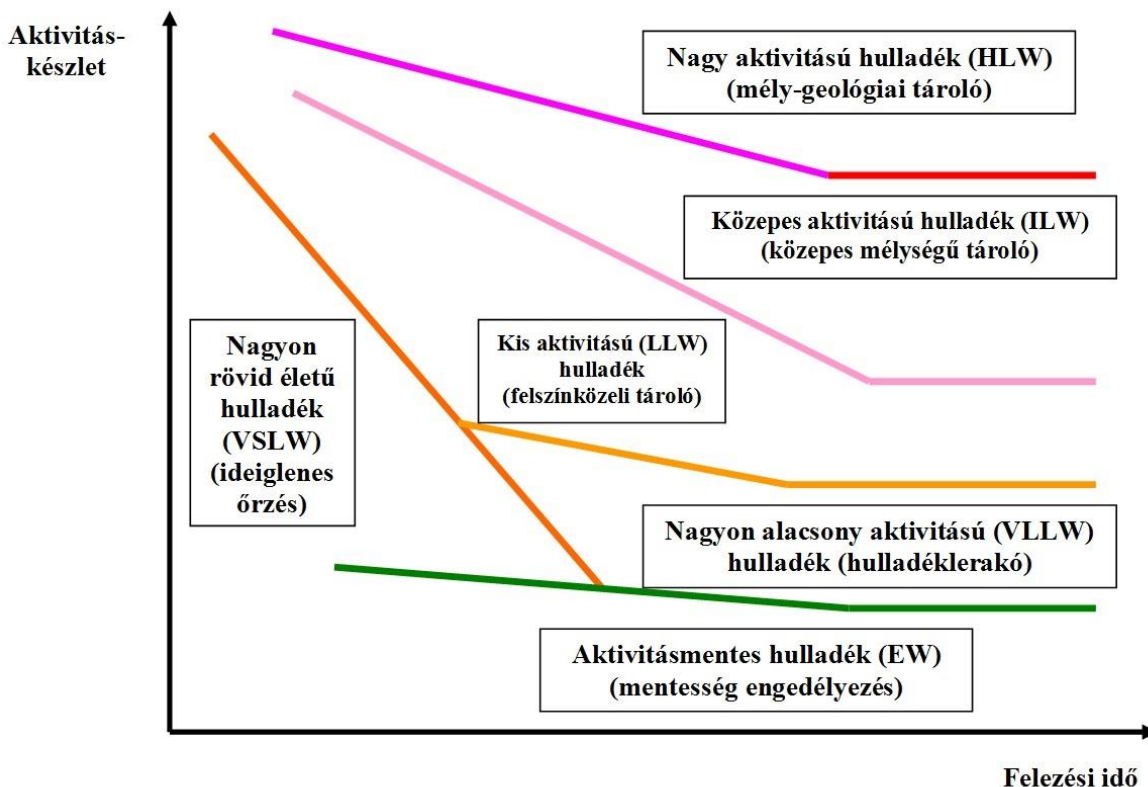
19.3.1-1. táblázat: Radioaktív hulladékok kategóriába sorolása az izotóp-összetétel segítségével számolt hulladékindexek és a felületi dózisteljesítmények alapján [19-2]

Az utóbbi években, a nemzetközi gyakorlatban egyre inkább terjedő, nagyon kis aktivitású hulladékok elhelyezésére irányuló törekvések nyomán a NAÜ új, a hulladékkezelési rendszert megalapozó biztonsági útmutatójában [19-20] megjelent a nagyon kis aktivitású radioaktív hulladék (VLLW) kategória. A NAÜ definíció szerint a nagyon kis aktivitású hulladék (VLLW) olyan hulladék, mely nem feltétlenül elégíti ki a felszabadítási / mentességi hulladéokra vonatkozó kritériumokat, ám amely nem igényel hatékony elzárást.

A hulladékok halmazállapota alapján megkülönböztetünk szilárd, folyékony és gáz formájú radioaktív hulladékokat. Ezek közül a fejezet csak a szilárd és folyékony hulladékok környezeti hatásaival foglalkozik, mivel a gáz fázisú hulladékok hatásai az atomerőmű légnemű kibocsátásánál kerültek bemutatásra. A folyékony és szilárd fázisok egy-egy hulladékformán belül akár együtt is jelen lehetnek, pl. az iszapok folyékony és abban diszpergált szilárd részecskéket tartalmaznak, vagy a nedves hulladékok szilárd fázisában jelentős mennyiségű póruszvíz lehet. Ezért ezeket a gyakorlatban a radioaktív hulladékokat a kezelési lehetőségeik alapján sorolják be szilárd vagy folyékony hulladékok közé.

A hulladékok **feldolgozhatósága** alapján megkülönböztetünk:

- szilárd tömöríthető (műanyag, papír, textil, gumi stb.)
- szilárd nem tömöríthető (építési törmelék, fémhulladékok, alkatrészek, szerszámok stb.)
- szilárd nagyméretű (gőzfejlesztő, tartály, hőcserélő stb.)
- szilárd nedves (iszapok, ioncserélő gyanták, szűrők stb.)
- szilárd égethető (papír, műanyag, fa, szerves anyagok stb.)
- szennyeződött technológiai oldatok (különböző bórsavoldatok, dekontamináló oldatok stb.)
- szennyezett oldószerek és olajok (gyúlékony, szerves anyagok)
- fémek (dekontaminálás után újrahasznosítható, felszabadítható stb.)



19.3.1-1. ábra: A radioaktív hulladékok osztályozásának koncepcionális sémája

A radioaktív hulladékokat keletkezésük helye alapján az alábbiakkal jellemezhetjük:

- a létesítmény üzembe helyezése, illetve párhuzamos kapcsolása után a napi tisztítási és karbantartási munkák során főként a primer körhöz köthető keletkezéssel lehet számolni (pl.: technológiai tisztítás műszakonként, a konténment teljes belső terére kiterjedően, elszennyeződött borsavoldat)
- felaktiválódott alkatrész vagy berendezés cseréje, továbbá a csere során használt eszközök, törőkendők, tisztító / felítató anyagok,
- primerköri hűtőközeg szivárgásából (tervezett vagy nem tervezett módon).

A keletkezés időbelisége szerint nem szükséges további csoportosítást kialakítani a radioaktív hulladékok esetében, mivel a teljesítményüzem során keletkező radioaktív hulladékoktól a leállítás / karbantartás / átrakás során képződő hulladékok kisebb részben minőségben, nagyobb részben mennyiségben térnek el, és ezek a mennyiségi növekmények csak szakaszosan, a tervezett leállások jellegéből adódóan másfél évente várhatóak.

Az **elhelyezhetőség** szerinti csoportosításnál a hagyományos hulladékokat is jellemző osztályokat is figyelembe kell venni (gyúlékony, toxikus, instabil, oldható, szerves, lebomló stb.), de a radioaktív hulladék-elhelyezés szempontjai szerinti hulladékkategóriák a következő jellemzőket veszik figyelembe:

- radioaktivitás szintje
- hőfejlődés mértéke
- a radioaktív hulladék élettartama.

Ezen tényezőktől, jellemzőktől függ, hogy a radioaktivitás szintje mennyi idő alatt csökken egy elfogadható értékre, melynek ismerete elengedhetetlen a hulladéktároló tervezésekor.

### 19.3.2 RADIOAKTÍV HULLADÉKOK FORRÁSAI A NUKLEÁRIS ENERGIATERMELÉS SORÁN

A tervezett atomerőmű üzemeltetése, karbantartása során többféle hulladék keletkezik. Ezek egy része, ami a reaktorok, vagy azokhoz közvetlenül kapcsolódó rendszerekben keletkezik, szennyeződhet a fűtőelemekből kijutó radioizotópokkal, vagy a reaktortérben a neutronsugárzás hatására felaktiválódó anyagokból képződő radionuklidokkal. A nukleáris alapú villamos energia-termelés elkerülhetetlen melléktermékei a radioaktív hulladékok, melyek kezeléséről, átmeneti és végleges tárolásáról gondoskodni kell. Szilárd és folyékony radioaktív hulladékok keletkeznek a normál üzemelés és a karbantartás során, illetve a nukleáris létesítmény leszerelése során.

A normál üzem és üzemfenntartás során keletkező **szilárd radioaktív hulladékok** a következők lehetnek:

- felaktiválódott, reaktorból eltávolított berendezések és azok alkatrészei
- karbantartásból származó felületileg szennyezett szerelvények, berendezések, csővezetékek, hőszigetelések stb.
- átalakításokból származó építési anyagok (betontörmelék, faanyag, üveg stb.), illetve különböző kontaminálódott fémhulladékok, kábelek stb.
- karbantartó műhelyekben képződött fémhulladékok, elhasznált szerszámok, forgácsok
- karbantartás és üzemeltetés során keletkezett ruhák, egyéni védőfelszerelések, szűrőbetétek, törlerongyok, fóliák stb.
- a folyékony radioaktív hulladékok kezelése során keletkező radioaktív iszapok és egyéb másodlagos hulladékok (ioncserélő gyanták, szorbensek, szűrőbetétek, stb.).

A normál üzem és üzemfenntartás során keletkező folyékony radioaktív hulladékok a következők lehetnek:

- primerköri szervezetlen szivárgások, leürítések és légtelenítések bórsavas hulladékai
- primerköri víztisztítók regenerálási hulladékai és lazító vizei
- primerköri víztisztítók elhasznált ioncserélő gyantái
- berendezés dekontaminálások vegyszeres hulladékai (gőzfejlesztő)
- helyiség dekontaminálások folyékony hulladékai és egyéb padlóvizek
- primerköri laboratóriumi és mosodai hulladékok
- szennyezett zuhanyvizek
- szennyezett szerves oldószerek (mosóbenzin, alkohol stb.) és olajok.

### 19.3.3 A RADIOAKTÍV HULLADÉKOK KEZELÉSÉNEK ALAPELVEI

A radioaktív hulladékok kezelésének alapvető célja megteremteni a jelen emberiség egészségének, s környezetének, valamint a jövő generációjának védelmét. Ez alapján a NAÜ hulladékkezelési útmutatásának alapelvei [19-19] a következők:

- az emberi egészség és a környezet védelme az adott országban és annak határain túl is,
- a jövő generációjának védelme,
- egy nemzeti szabályozó rendszer létrehozása,
- a hulladékképződés kontrolálása,
- a hulladékképződés és kezelés / kezelhetőség kölcsönös vizsgálata, valamint
- a biztonsági szempontok, biztonságosság megjelenítése.

A kapcsolódó szakirodalmak alapján összefoglalóan azt lehet mondani, hogy a radioaktív hulladékok kezelésre létező nemzetközi ajánlások, útmutatók, általános alapelvek, és nem utolsósorban a tapasztalatok megadják a határokat, s ez által létrehoznak egy keretet, melyen belül minden ország a saját iparának, alkalmazott technológiájának, kibocsátási előírásainak, elhelyezési lehetőségeinek és költségvetésének figyelembevételével, kialakítja a maga hulladékkezelési gyakorlatát.

A tapasztalat az, hogy az általános hulladékkezelési alapelvek teljesítését, az elérhető legjobb technológia alkalmazása mellett, az országok gazdasági (pénzügyi) helyzete, kultúrája, gondolkodása, valamint az erőművek, hulladékkezelők, végső tárolók tulajdonviszonyai is befolyásolják. Ebben a folyamatban különböző (érdek-)csoportok – úgymint, hulladéktermelők, a hatósági előírások, kibocsátási korlátok meghatározói, hulladék-átvevők, független laboratóriumok –

együttműködésére, valamint a szereplők közötti információáramlás biztosítására, folyamatkontrollálásra, visszacsatolásra, s egy mindent átfogó minőségbiztosításra is szükség van.

A hulladékkezelés egy komplex rendszer, melynek számos eleme, változója van. A tárgy ugyanaz, vagyis maga a hulladék, melynek általános tulajdonságai a halmazállapota, sűrűsége, formája, radionuklid tartalma, dózisteljesítménye, kezelhetősége (préselhetősége, éghető vagy sem, stb.). A probléma abból adódik, hogy sokféle hulladék keletkezik, miközben általában 3 féle elhelyezési lehetőség áll rendelkezésre (felszíni / felszín közeli, mélygeológiai, illetve felszabadítható hulladék esetében a nem radioaktív hulladéktároló). Ezért teljesen lehetetlen, még a hasonló hulladékformákra, csomagokra is, meghatározni, előírni egy sablon hulladékkezelési rendszert.

A hulladéktermelő szempontjából, a radioaktív hulladék életciklusát nézve, a stratégia alappilléreit a (mennyiségi, minőségi) tervezési, keletkezési (és szelektív gyűjtési), kezelési, kondicionálási, belső tárolási, szállítási és elhelyezési lehetőségek jelentik. A keletkezés és kezelés / kondicionálás szakaszok között az egyik legfontosabb lépés a hulladék lehető legpontosabb azonosítása, a hulladékcsomagok minősítése, címkézése, a nyomon követhetőség biztosítása érdekében. Az alkalmazható feldolgozási és kondicionálási technológiákat befolyásolják a tárolók hulladék átvételi követelményei, az elhelyezhetőség.

### 19.3.3.1 Hulladék menedzsment az atomerőmű üzemeltetés során

A radioaktív hulladékkal kapcsolatos tevékenységeket a keletkezéstől a végleges elhelyezésig egységes rendszerben kell szemlélni és az egyes fázisokban szükséges intézkedéseket ennek megfelelően kell meghozni. A hulladékkal kapcsolatos tevékenységek rendszere a hulladék menedzsment, akár egy szervezet keretében létezik, akár több szervezetbe tagolódik. Az alábbiakban ismertetésre kerülnek a hulladékkal kapcsolatos tevékenységek, és a velük szemben támasztott követelmények.

- Az üzemeltető szervezet az általános stratégiai tervezés keretében létesítsen radioaktív hulladék menedzsment programot, amely tartalmazzon intézkedéseket az alábbiakra:
  - alkalmas technológia használatával tartsa a radioaktív hulladék keletkezését a gyakorlatilag lehetséges minimumon mind aktivitás, mind térfogat tekintetében,
  - az anyagok többszöri felhasználása és újrahasznosítása a lehetséges mértékig,
  - a hulladék megfelelő osztályozása, szétválogatása és pontos leltár fenntartása minden hulladék áramra, figyelembe véve a felszabadítás és végleges elhelyezés lehetőségét,
  - radioaktív hulladék gyűjtése, minősítése és tárolása oly módon, hogy az elfogadhatóan biztonságos legyen,
  - a feltételezett radioaktív hulladék keletkezéséhez mérten megfelelő tároló kapacitás létesítése,
  - biztosítani, hogy a tárolási periódus végén a hulladék visszanyerhető legyen,
  - a radioaktív hulladék kezelése és kondicionálása oly módon, ami megfelel a biztonságos tárolás és végleges elhelyezés követelményeinek,
  - radioaktív hulladék biztonságos mozgatása, szállítása,
  - környezetbe történő kibocsátások kézbentartása,
  - monitorozás végzése a hulladék forrásánál és a környezetben a megfelelés ellenőrzésére,
  - radioaktív hulladék csomagolás állapotának monitorozása a tárolás helyén,
  - radioaktív hulladék jellemzőinek változás monitorozása szemrevételezéssel és rendszeres elemzéssel, különösen, ha a tárolás kiterjedt időn át történik.
- A folyékony radioaktív hulladék keletkezését a gyakorlatilag lehetséges minimumon kell tartani.
- A folyékony radioaktív hulladékot, amely főként vizes alapú, osztályozni kell a feldolgozási célok szempontjából, a fajlagos aktivitás és a vegyi anyag tartalom szerint.
- A szilárd radioaktív hulladékok keletkezését minimumon kell tartani a gáznemű és folyékony hulladékok termelődésének minimalizálásával, ezáltal csökkentve a feldolgozott hulladékok mennyiségét többek között jó szétválogatási gyakorlattal beleértve az anyagok felszabadítását a hulladék termelődési helyén.
- A szilárd radioaktív hulladékot osztályozni kell annak típusa és aktivitása szerint.

### 19.3.3.2 A hulladék minősítés stratégiája és módszere

A radioaktív hulladék fizikai, kémiai, radiológiai paramétereinek megfelelő ellenőrzése a teljes hulladék életcikluson át, a végső hulladékformák és hulladékcsomagok alapos tesztelése alapvető részei minden hulladék menedzsment stratégiának. Az ellenőrzési folyamat hibája bármelyik lépésben jelentős következményekkel járhat, nem csak a következő lépésekre nézve, hanem olyan hulladékcsomag keletkezéséhez vezethet, amely nem felel meg a hulladék átvételi követelményeknek, amelyek a hosszú idejű tárolásra vagy a végleges elhelyezésre kerültek felállításra.

A hulladék minősítés céljai:

- létrehozni egy folyamatot a radioaktív hulladék minősítésére annak teljes életciklusa alatt;
- hozzájárulni a biztonsághoz a radioaktív hulladék életciklusa különböző fázisai alatt, úgymint: keletkezés, feldolgozás, tárolás és végleges elhelyezés;
- annak demonstrálása, hogy az elfogadási kritériumok (átvétel, feldolgozás, tárolás, végleges elhelyezés) teljesülnek, amelyek a végleges elhelyezési koncepció értékelése alapján kerültek megállapításra; és
- műszaki adatok előállítása az alábbiakhoz:
  - a szükséges és elégséges (odaillő és költséghatékony) hulladék minősítési követelmények azonosítása;
  - pontossági követelmények (különös tekintettel a szabályozó hatóságra) azonosítása;
  - a hulladék kategorizálása, és a kapcsolódó szabályozási követelmények (szükségletek, válogatási folyamat) azonosítása;
  - a minőségbiztosítási szükségletek és kapcsolódó tevékenységek;
  - hozzájárulás az optimális hulladékformák kiválasztásához (a végleges elhelyezés tekintetében); és
  - annak demonstrálása, hogy a szóba került hulladékformák kielégítik a specifikációkat.

### 19.3.3.3 Radioaktív hulladék leltár

A radioaktív hulladék minősítés stratégiájának legfontosabb követelménye a folyamatosan aktualizált leltár. Ennek elsődleges oka, hogy a környezetvédelmi és a sugárvédelmi szempontok szigorodásával a radioaktív hulladékok kezelés is formálódott, s ma már minden műveletében szigorú elvárások vannak, azaz a sugárvédelem szempontja a hulladékkezelés minden fázisában kell, hogy érvényesüljön. Ezen igény nemcsak a dolgozókra, hanem a lakosság tagjaira (beleértve a jövő generációt is) és a környezetre is kiterjed, azaz a radioaktív hulladékok kezelése sugárvédelmi tervezés és ellenőrzés nélkül el sem képzelhető.

Ezért az atomerőműben a hulladékok gyűjtésén és hulladékkezelési technológiák üzemeltetésén túl a legfontosabb feladat a radioaktív hulladékok majdani elhelyezhetőségének igazolása.

Ennek érdekében a lehető legpontosabban ismerni kell:

- az erőműben lévő radioaktív hulladékok mennyiségét, fizikai-kémiai formáját és aktivitását,
- a különböző hulladékfajták keletkezési ütemét és
- a majdani elhelyezésre kerülő hulladékmennyiséget és annak aktivitás-összetételét.

Az előző fejezetben ismertetettek szerint ezen információk az erőmű hulladékkezeléshez kapcsolódó stratégiai céljai mellett elengedhetetlenek az atomerőmű teljes életciklusához kapcsolódó kockázatok meghatározásához.

## 19.3.4 HULLADÉKKEZELÉSI TECHNOLÓGIÁK

### 19.3.4.1 Elvárások a feldolgozó technológiákkal szemben

Az atomerőmű radioaktív hulladék feldolgozó technológiáinak meg kell felelni a következő alapvető követelményeknek:

- A keletkező radioaktív hulladékok az erőmű teljes működési ideje alatt annak üzemét ne korlátozzák.
- Az erőmű területén keletkező hulladékok az optimálisan elérhető legkisebb mennyiségben és térfogatban, visszanyerhető módon kerüljenek átmeneti tárolásra.
- A szükséges beruházások minimálisak legyenek, felesleges tároló kapacitás ne épüljön.

- A technológiák a meglévő rendszerekhez illeszthetők, optimálisan kihasználhatók és költségtakarékosak legyenek.
- A feldolgozás eredményeképpen kevés másodlagos hulladék keletkezzen.
- A feldolgozás és kondicionálás eredményeképpen keletkező hulladékcsomagok feleljenek meg minden szempontból a végleges tárolás követelményeinek is (csomagolás, összetétel, fizikai, kémiai, biológiai jellemzők).

#### 19.3.4.2 Központi radioaktív hulladék feldolgozó létesítmények

Központi radioaktív hulladék feldolgozó létesítmény még viszonylag kevés van a világon. A [19-23] dokumentum szerint Európában csak a Szlovákiában lévő Bohunicében van egy központi létesítmény, míg az USA összes atomerőművi blokkja (104 üzemelő és 9 leszerelés alatt álló) számára több mint 15 központi, regionális hulladékkezelő és kondicionáló létesítmény áll rendelkezésre. A szlovák hulladék feldolgozó az atomerőművi blokkokkal egy telephelyen létesült, beszállított hulladékot is feldolgoznak. A rendkívül nagy beruházási költség csak jelentős mennyiségű hulladék feldolgozása esetén térül meg. A műszaki dokumentációt készítő szakértői bizottság megállapítása szerint ott érdemes létrehozni központi létesítményt, ahol legalább 10 blokk üzemel, pl. Oroszország, Ukrajna. Felvetik az országhatárokon átívelő, regionális létesítmény lehetőségét Kelet- és Közép-Európában (Csehország, Magyarország, Szlovákia), de a jelenlegi jogi és gazdasági körülmények alapján ez a lehetőség egyelőre kizárható.

A gyakorlati szempontokat figyelembe véve a közös hulladékkezelés a Paksi Atomerőmű és Paks II. esetén sem célravezető, mivel:

- A VVER 440 és a tervezett blokkok primerköri rendszerei jelentősen különböznek, így a hulladékáramok is eltérőek, mind a hulladékok jellegében és összetételében mind a képződés ütemében.
- A két atomerőmű üzemideje csak viszonylag rövid időszakban fedi egymást, a hulladékkezelési technológiáknak pedig elsősorban azokhoz kell, hogy illeszkedjenek.

Előzőek miatt indokolt önálló radioaktív hulladékkezelési technológiát létesíteni az új blokkokhoz.

Természetesen a későbbiekben nem zárható ki kisebb mennyiségű egyedi hulladékok közös feldolgozása, de a kezelőkapacitásokat a tervezés fázisában célszerűbb a létesítendő blokkok hulladékáramaihoz igazítani.

#### 19.3.5 A RADIOAKTÍV HULLADÉKOK KEZELÉSÉNEK FÁZISAI

Az atomerőmű üzemeltetése során keletkező radioaktív hulladékok kezelése függ azok fajtáitól, amelyet a fizikai, kémiai és radiológiai tulajdonságaik határoznak meg. A kezelés fő fázisait a [19-22] alapján a **Error! Reference source not found.** mutatja be.

A feldolgozást követően a hulladékok egy része felszabadítható lesz, illetve ismételt felhasználásra küldhető. A többi osztályozott radioaktív hulladék különböző feldolgozásra kerül a tárolási és elhelyezési követelmények biztosítására.

A radioaktív hulladékok előzetes feldolgozása rögtön a keletkezésüket követően kezdődik, és a későbbi feldolgozás lehetőségeit is meghatározza. A hulladék egy részét inaktívnak minősítik, míg a többit a feldolgozás és tárolás alapján szétválogatják.

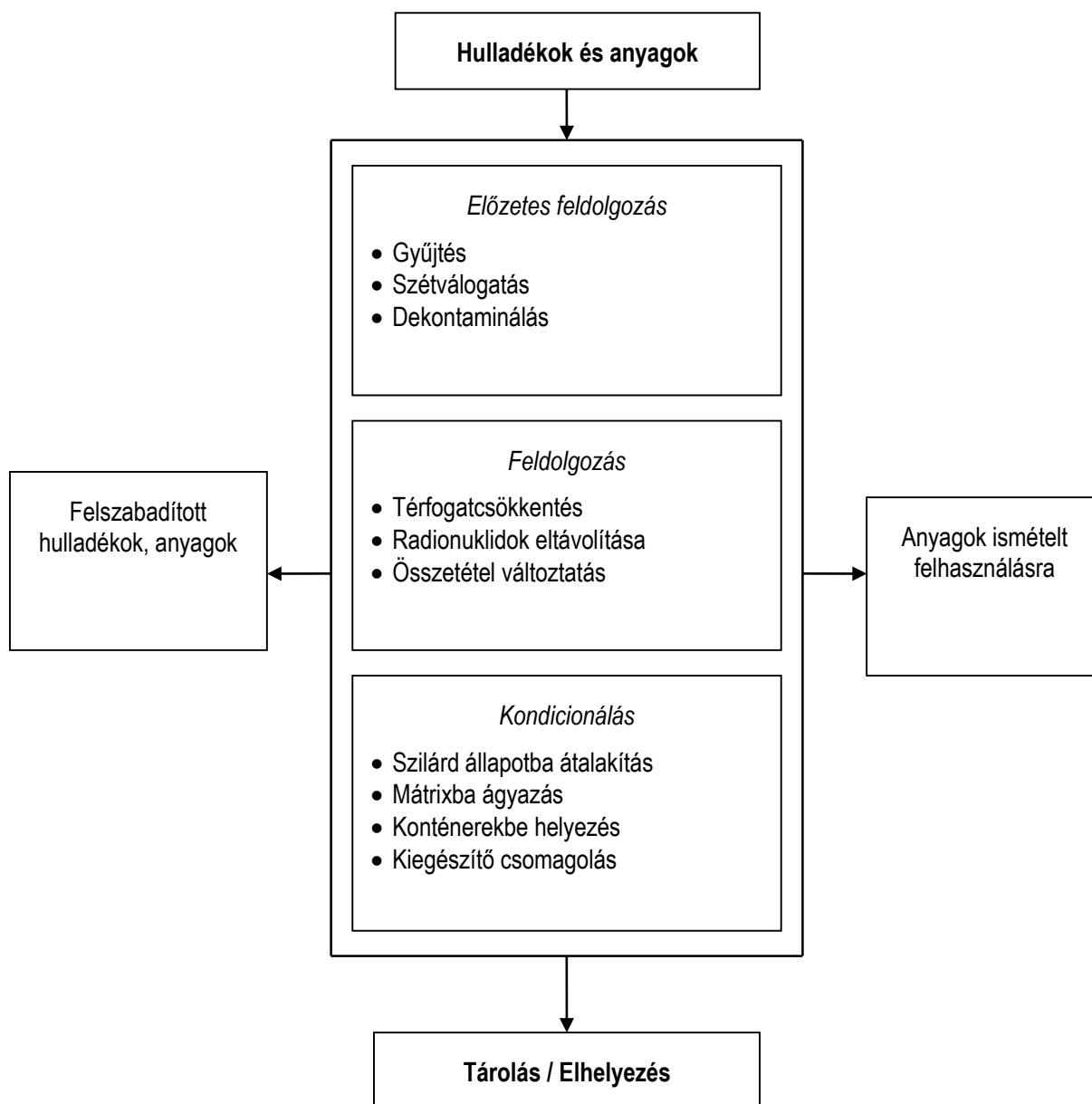
Amennyiben az átmeneti tárolás célja annak kivárása, hogy a radionuklidok lebomlása következtében a későbbi feldolgozás egyszerűbb és biztonságosabb legyen, akkor annak időtartama elég jelentős is lehet.

A radioaktív hulladékok feldolgozása a biztonság és a gazdaságosság növelésére irányul a hulladékok jellemzőinek változtatása útján. A feldolgozás hatásfokának javítása céljából gyakran kombináltan alkalmazzák a módszereket.

A radioaktív hulladékok kondicionálása olyan műveleteket foglal magába, amelyek a feldolgozott hulladékot a szállításhoz, tároláshoz és elhelyezéshez alkalmas, kémiai, hőtechnikailag és radiológiai ellenálló, stabil formába alakítják át.

A hulladék megszilárdítását, beágyazását valamilyen mátrixba és beépítését hermetikus köpenybe immobilizációnak nevezik. Az immobilizált radioaktív hulladékot a szokványos 200 dm<sup>3</sup>-es acélhordóktól kezdve bonyolult felépítésű vastag falú konténerekbe helyezhetik. A mátrix anyagának (vagyis a megszilárdítás technológiájának) kiválasztása függ a hulladék jellemzőitől és tulajdonságaitól, a tárolás / elhelyezés feltételeitől, a szállítási követelményektől stb. A hulladék összekötő anyagának jó izoláló tulajdonságokkal (kilúgozóadási ellenállóképesség), a hulladék komponenseivel

való kompatibilitással, amely magas radioaktív hulladék feltöltési arányt és kis térfogatot biztosít, valamint elegendő szilárdsággal kell rendelkeznie. Ilyenek lehetnek a szerves (bitumen, polimerek), nem szerves (cement, üveg, kerámia, üveg-kerámia), fém és vegyes anyagok. A legellenállóbbak a homogén formájú kondicionált radioaktív hulladékok, amelyekben a komponensek molekuláris szinten épülnek be a struktúrába, például az üveg és a kerámia. A heterogén formájú hulladékok, amelyekben a részecskék mechanikusan keverednek el, kevésbé ellenállóak.



19.3.5-1 ábra: A radioaktív hulladékok kezelésének fő fázisai [19-22]

Jelenleg a kis- és közepes aktivitású folyékony radioaktív hulladékok megszilárdítására legelterjedtebben cementet és bitument, a nagy aktivitásúakra pedig üveget használnak. Az utóbbi időben a kis és közepes aktivitású hulladékokra is kezd elterjedni az üvegezés módszere. A feldolgozást és a kondicionálást gyakran szoros kapcsolatban hajtják végre. A fázisok között, illetve akár a fázisokon belül is előfordul a hulladék tárolása és szállítása.

A végleges elhelyezés a kezelés lezáró fázisa, amely a hulladék hosszú távú, biztonságos és felügyelt tárolását jelenti. A biztonságos tárolás jelenleg elfogadott megközelítése a több gátas izoláció létrehozása.



### 19.3.5.1 Előkezelés

Mind a folyékony, mind a szilárd hulladékokat feldolgozás előtt előkezelik. Az előkezelés az alábbi főbb elemekre bontható:

- hulladékok szétválasztása aktív és inaktív (felszabadítható) hulladékáramokra,
- a leválasztott aktív hulladékáramban lévő komponenseket olyan formába kell hozni, hogy azokat a lehető legkönnyebben lehessen kezelni, kondicionálni és csomagolni a tároláshoz,
- a visszanyerhető termékeket újrahasznosítani.

Az alábbi főbb megfontolások alapján lehet előkezeléskor a keletkezett hulladékokat szelektálni:

- sugárvédelmi szabványok és célok,
- hulladékminimalizálás,
- az előkezelési technológiák alkalmazhatósága,
- környezetvédelmi megfontolások,
- a hulladék további kezelése, kondicionálása, tárolása, szállítása és végleges elhelyezésének követelményei.

Az 19.3.5-1. táblázatban összefoglaltuk a főbb előkezelési technológiákat, azok jellemzőit, és az alkalmazásukat korlátozó tényezőket.

Előkezelés módja	Jellemzők	Korlátok
Gyűjtés és válogatás	Csomagolás és hulladékminősítés előtt. A különböző fajta és eltérő fizikai-kémiai jellemzőjű hulladékok szétválasztása A radioaktív hulladék mennyiségnek minimalizálása. A későbbi hulladékfeldolgozás és hasznosítás is csak szétválogatást követően hatékony	A személyzet járulékos dózisa behatárolja az előkezelhető hulladékok aktivitását és mennyiségét. Nagyobb dózisteljesítményű hulladékok speciális technológiákat igényelnek (válogatóbox, kamrák, manipulátorok stb.) A mintavételek és folyamatos ellenőrzés megvalósíthatósága és időigénye technikai és munkaszervezési korlátokba ütközhet
Kémiai kezelés	A folyékony hulladékok előkészítése a kondicionáláshoz, beágyazáshoz, azok kémiai jellemzőinek előzetes beállításával: szerves és korrozív anyagok elbontása, pH beállítása stb.	Technológia összetettsége, a beruházás és üzemeltetés magas költsége miatt nem minden esetben gazdaságos Vegyszerigény A keletkező másodlagos hulladékokat (kiváló sók, iszapok stb.) kezelni kell.
Folyadékok fizikai előkezelése	Ülepítés, szűrés, centrifugálás stb. A folyékony hulladékból az iszapok, lebegő (diszperz vagy kolloid) részecskék, szerves anyagok stb. leválasztása.	Keletkező másodlagos hulladék kezelhetősége. A szétválasztott fázisok új hulladékáramokat képeznek, ezeknek meg kell felelniük a meglévő technológiáknak Oldott anyagokkal közvetlenül nem alkalmazható (csak pl. kémiai kezelést követően) Technológiától függően a diszperz és kolloid részecskék elválaszthatósága korlátozott.
Szilárd hulladékok fizikai kezelése	Méret csökkentés, darabolás, Hulladékok méretének igazítása konténer dimenzióihoz Ezzel javul a térkitöltés, és a befoglaló térfogat csökkenése gyakorlatilag a hulladék mennyiségének csökkenését jelenti Konténerben csökken a szállítási kockázat	A személyzet járulékos dózisa miatt nagyobb aktivitású hulladékok előkezelése szükséges (pl. dekontaminálás) Kis mennyiségek esetén nem alkalmazható (pl. néhány darab miatt nem érdemes daraboló technológiát létesíteni)
Csomagolás	Megakadályozza a szennyezés szétterjedését (a felületi szennyeződések már nem juthatnak ki) Megfelelő csomagolással elkerülhető a dekontaminálás. Előkészítő művelet a szállításhoz, kezeléshez, kondicionáláshoz, illetve végleges csomagolás	A személyzet járulékos dózisa. hulladék fizikai-kémiai jellemzőinek megjelelő csomagolás elérhetősége (pl. kemény hulladékok kiszakíthatják a zsákokat, szerves vagy korrozív anyagok tönkreteszik a csomagolás anyagát) A fenti problémák drágább csomagolást (pl. acélhordó),

Előkezelés módja	Jellemzők	Korlátok
	az átmeneti és / vagy végleges tároláshoz	vagy a hulladék kondicionálását igénylik (pl. beágyazás).
Dekontaminálás	Hulladék csökkentése az újra felhasználhatóvá tétellel Megakadályozza a nem fixált felületi szennyeződés szétterjedését (hulladék környezetének elszennyezése radioizotópokkal, radionuklidok levegőbe jutása) Külső dózis csökkentés a felületi aktivitás eltávolításával. Belső sugárterhelés kockázatának csökkentése	Kézi dekontaminálás (letörlés) nem mindig hatékony. Ipari módszerek (bemerítés, ultrahangos, elektrokémiai eljárások stb.) összetett technológiákat igényelnek A keletkező másodlagos radioaktív hulladékok (agresszív vegyszerek, toxikus oldószerek stb.) kezelését is meg kell oldani. A szekunder hulladékok kondicionált mennyisége meghaladhatja a megtisztított anyagokét. Ezért költség-haszon elemzés szükséges: Csökken-e hulladékmennyiség? Kisebb lesz a kollektív dózis? Az egyszerűbb technológia biztonságosabb? Gazdaságosabb?
Hulladék osztályozás	Lehetővé teszi az izotópleltár meghatározását, evvel tervezhető a későbbi feldolgozás és az elhelyezés. A különböző jellemzők függvényében vizsgált izotóp összetétel alapján szétválaszthatók a radioaktív hulladékok a különböző feldolgozáshoz és elhelyezéshez (pl. felezési idő, aktivitás, veszélyességi index, sugárzási energia stb.)	A szükséges berendezések (pl. szegmentált gamma szkennerek) és analitikai módszerek (pl. alfa spektroszkópia) nagyon költségesek. Egyes izotópok csak hosszas preparatív módszereket követően hosszú mérési idővel határozhatók meg. Ezért már a válogatáskor puffer tárolás lehet szükséges. A különböző hulladékfajtákra és egyes izotópokra egyedi mintavételi és mérési módszerek kidolgozása szükséges. A radioaktivitás tartalom változhat a későbbi kezelések folyamán (pl. tömörítéssel nő az aktivitás-koncentráció, szűréssel valamelyik fázis csökken, a másiké nő stb.) Az izotópleltár követéséhez informatikai háttér szükséges (radioaktív bomlás, leányelemek felépülése, más hulladékokkal való keveredés, fizikai kémiai kezelések hatása stb. miatt)

19.3.5-1. táblázat: Főbb előkezelési technológiák jellemzői és alkalmazásuk korlátai [19-30], [19-19]

A fenti táblázatban szereplő előkezelési módok közül a létesítendő atomerőműben a következők kerülnek alkalmazásra:

- gyűjtés és szétválasztás hulladékminimalizálás és kezelhetőség szerint,
- izotópszelektív aktivitástartalom meghatározás felszabadítás céljából,
- kémiai kezelés a csurgalékvizek térfogatcsökkentésének növelése érdekében,
- Nagyméretű szilárd hulladékok darabolása,
- csomagolás (gyűjtés különböző göngyölegekbe a szennyeződés szétterjedésének megakadályozása céljából),
- alacsony szennyezettségű fém hulladékok dekontaminálása felszabadítás céljából, egyéni védőruházat mosása,
- csurgalékvizek üleptítése és szűrése.

### 19.3.5.2 Szilárd radioaktív hulladékok kezelése

A szilárd radioaktív hulladékok kezelése két fő irányra bontható: a hulladékok feldolgozása a térfogatuk csökkentése céljából, valamint a közvetlen kondicionálásuk konténerbe helyezéssel.

#### 19.3.5.2.1 A szilárd radioaktív hulladékok előzetes feldolgozása

Az előkezelő tevékenységek megkönnyítik és megnövelik a radioaktív hulladék-kezelés hatásosságát. A keletkező hulladékok előzetes feldolgozásának lépései: gyűjtés, szelektálás és átmeneti tárolás.

## A szilárd radioaktív hulladékok szelektálása

A szelektálást a további kezelés módja és a hulladék átvételi követelmények határozzák meg.

A radiokémiai válogatást követően éghető és nem éghető, összenyomható és nem összenyomható csoportosítást alkalmaznak, annak megfelelően, hogy elégetést illetve tömörítési technológiákat terveznek alkalmazni.

Külön csoportot képeznek a darabolást igénylő radioaktív hulladékok (leginkább a nagyméretű szennyezett berendezések), amelyek a darabolást követően közvetlenül mátrixba kerülnek beágyazásra.

Külön kerülnek gyűjtésre a fémek és az öntvények, amelyek dekontaminálás után újra hasznosíthatók lehetnek.

A megfelelő konténerekbe történő szelektív gyűjtés meggyorsítja a későbbi szelektálást.



19.3.5-2. ábra: Hulladékgyűjtő hely a Paksi atomerőműben

## Átmeneti tárolás

Az átmeneti tárolást általában a nukleáris létesítmény telephelyén végzik. Ennek egyik célja annak kivárása, hogy a rövid felezésű idejű radionuklidok lebomoljanak. Másrészt a kampányokban végzett kezelés esetén a kampányok között össze kell gyűjteni a szükséges hulladékmennyiséget. Ez utóbbi esetben az átmeneti tárolást minimalizálni szükséges, mivel a feldolgozás helyén megfelelőbbek lehetnek a feltételek.



19.3.5-3. ábra: Szilárd radioaktív hulladékok átmeneti tárolása [19-3]

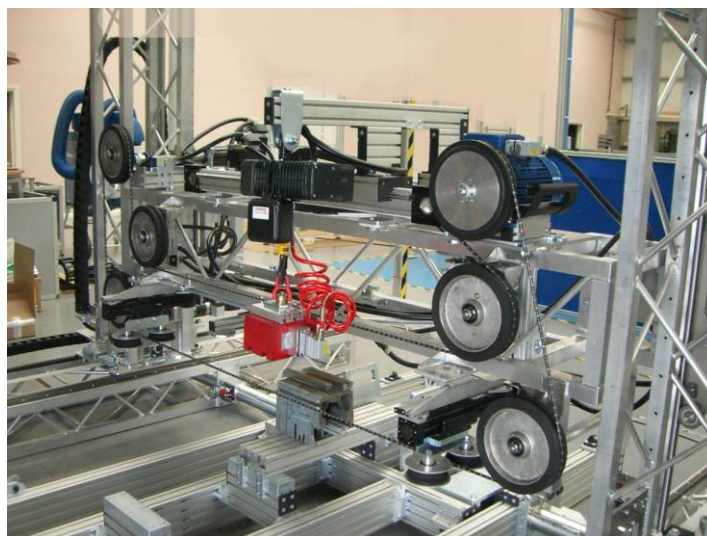
### 19.3.5.2.2 A szilárd radioaktív hulladékok mechanikus feldolgozási technológiái

#### Darabolás

A szennyezett nagyméretű berendezések, építőipari egységek, amelyek sokféle anyagból (például betonból) készültek nehezen kezelhetők, ezért az ilyen hulladékokat kisebb darabokra kell vágni.

A nemzetközi gyakorlatban a következő módszereket alkalmazzák a darabolásra: plazma-íves, „ív fűrész” módszer, gyémánt szalagos, hagyományos vágós módszer stb. A beton / vasbeton elemekre ez a lista kibővül a fúrás, hasítás, láng illetve hő vágás, gyémánt szalagos vágás, nagy nyomású vízszugár módszereinek alkalmazásával.

A hagyományos folyamatok nem eredményeznek nehezen feldolgozható másodlagos hulladékokat. Ezekhez a műveletekhez késeket, fűrészeket, hidraulikus vágókat használnak, amelyeket nagy szilárdságú acélokból és ötvözött anyagokból készítenek. Ezek alkalmazhatóak víz alatt is.



19.3.5-4. ábra: Gyémántköteles vágó berendezés [19-4]

#### Tömörítés (préselés)

Elterjedt technológia, amely a szilárd hulladékok térfogatcsökkentésének legegyszerűbb és gazdaságos módszere. A préselést mindig megelőzi a hulladék előkészítése, mivel a nagyobb fém elemek, beton darabok és egyéb nem tömöríthető anyagok tönkreteszik a présgépet. Folyékony hulladék bennmaradása a feldolgozandó hulladékban a berendezés elszennyeződéséhez vezethet, ennek ellenére a berendezésnek rendelkeznie kell folyadékgyűjtővel. Ki kell zárni a toxikus, kémiai agresszív, robbanásveszélyes és gyúlékony anyagok bekerülését a préselendő anyagok közül azonban a préselés során a hulladékból kiszabadulhatnak gáznemű radioaktív aeroszolok, ezért a berendezéseket ellátják gázsűrőkkel is. A préselés előtt ellenőrizni kell a hulladék összetételét.

A berendezések hidraulikus illetve pneumatikus működtetésűek, de alkalmaznak csavarmentes préseket is, ezek kialakításuktól függően 5-500 tonna nyomóerőt fejtenek ki. Az összpréselt hulladék lehet brikett, csomag vagy köteg formájú.

Egyes anyagoknál a préselés nem hatásos, mivel visszanyerhetik eredeti formájukat (például fóliák, gumi stb.). Ezeket csak olyan acél hordókban vagy hulladékokkal együtt lehet préselni, amelyek ellenállnak a tágulásnak. Az anyagok jellemzőitől függően a térfogatcsökkentési tényező 2-5 között van. Az értékek függenek a hulladékok előzetes összeválogatásától. A vegyes anyagösszetétel miatt nehéz meghatározni a szükséges nyomóerőt, valamint a tömörítés mértékét.

A tömörítés eredményeképpen – mivel adott térfogatban nagyobb mennyiségű radioaktív hulladék kerül – a radioaktív hulladék csomag fajlagos aktivitása nőhet és szélsőséges esetben szükséges lehet sugárvédelmi eszközök alkalmazása.

Legelterjedtebb módja a szabványos hordóba préselés módszere. Az alkalmazott szabványos hordók 200 dm<sup>3</sup>-esek literesek. A tárolási és végleges elhelyezési feltételektől függően a hordót konténerbe helyezik és becementezik. A préselés jó hatásfoka, a berendezések megbízhatósága és piaci elérhetősége miatt a módszer igen elterjedt.



19.3.5-5. ábra: 50 kN-os automata hulladéktömörítő prés [19-5]

### Szuperkompaktálás

A szuper (vagy nagynyomású) kompaktálást 1000-1500 t nyomóerővel végzik. Így ez a módszer már nemcsak a szokásos anyagokra (papír, szövet, stb.) hanem fémre, betonhulladékra, üvegre, fára, homokra is alkalmazható. Általában 10-12-szeres térfogatcsökkentés érhető el a technológiával. A radioaktív hulladékban lévő összes hízag megszüntetése csak jelentős nyomással érhető el, ezért a 70-90%-os tömörítés elfogadható kompromisszumot jelent. Az összepréselt hulladékot ezt követően általában becementezik.

A szuperkompaktorok drága berendezések, ezért alkalmazásukat gazdaságilag meg kell alapozni. Leginkább ott gazdaságosak, ahol nagy mennyiségű szilárd radioaktív hulladék keletkezik.



19.3.5-6. ábra: Szuperkompaktor és pellet tároló [19-6]





19.3.5-7. ábra: Kis aktivitású szilárd hulladék szuperkompaktálás előtt és után [19-7]

### 19.3.5.2.3 A szilárd radioaktív hulladékok termikus feldolgozásának technológiái

Gazdaságilag és ökológiailag is célszerű az éghető szilárd hulladékok termikus feldolgozása, amely a szilárd hulladékok 70%-át jelenti. A feldolgozás eredményeképpen jelentősen csökken a hulladék térfogata, ami csökkenti a tárolás és az elhelyezés költségét, valamint növeli a biztonságát is.

A leghatásosabb eljárás az égetés, amely 50-100-ad részére csökkenti a hulladék térfogatot. Az eljárások a magas hőmérsékleten történő fizikai és kémiai folyamatokon alapulnak.

Többféle termikus eljárás létezik, amelyek az alábbiak:

- égetés levegőtöbblet hozzáadásával,
- oxidálás nedves levegőben,
- elégetés olvasztott sóban,
- elégetés olvasztott üvegben,
- égetés plazma ívvel,
- ciklon égetés,
- pirolitikus szétbontás,
- plazma pirolízis,
- fémek olvasztása.

A radioaktív hulladékok termikus kezelési technológiáinak beruházási és üzemeltetési költségei magasak. Tekintettel arra, hogy a létesítendő blokkokon keletkező éghető hulladékok mennyisége nem éri el a termikus technológiák gazdaságos üzemeltetéséhez szükséges mennyiséget (pl. hagyományos égető 5000 m<sup>3</sup>/év), ezért ezek alkalmazására nem kerül sor.



19.3.5-8. ábra: Plazma égető berendezés [19-8]



19.3.5-9. ábra: Fémek olvasztása [19-9]

### 19.3.5.3 Folyékony radioaktív hulladékok kezelése

A folyékony radioaktív hulladékkezelő rendszer kiválasztásához az alábbi szempontokat veszik figyelembe:

- a keletkező hulladék jellemzők szerinti szétválasztása,
- a tisztított folyadékok kibocsátási követelményei,
- a lehetséges technológiák és költségei,
- a kezelésből származó koncentrátumok kondicionálása,
- a kondicionált koncentrátumok tárolása és végleges elhelyezése,
- a másodlagos hulladékok mennyisége.

#### 19.3.5.3.1 Vizes alapú folyékony radioaktív hulladékok kezelése

A vizes alapú folyékony radioaktív hulladékok kezelésének technológiái a következők (azok főbb jellemzői és az alkalmazásuk korlátait jelentő tényezők összefoglalóan a 19.3.5-2. táblázatban kerülnek bemutatásra):

#### Csapadék képzés

A kémiai csapadék képzés egy jól megalapozott elmélet a radioaktív szennyezők kivonására. A kémiai csapadék képzés célja oldhatatlan apró szilárd formában kinyerni a radioaktív nuklidokat a folyékony hulladékból. A legfőbb kémiai csapadékképző anyagok a fémhidroxidok, amelyeket semleges, vagy lúgos közegben használnak a radionuklidok kinyerésére. A folyamatban számos radionuklid hidratálódik és vannak olyanok, amelyek szorbeálódnak a kialakult

pelyhekben (koprecipitáció). Adagolhatnak a folyékony hulladékba különböző adszorbenseket, amelyek további radionuklidokat képesek adszorbeálni a hulladékból.

A kémiai kicsapatás az alábbi szakaszokból áll:

- koaguláló adagolása és / vagy pH beállítása,
- flokkulálás,
- ülepítés,
- szilárd-folyékony szétválasztás.

### **Ioncsere**

Az ioncsere sok éve ismert és alkalmazott vízkezelési technológia, amely már akkor jól kidolgozott volt mielőtt az atomerőművekben azt alkalmazták. Az ioncserélő technológiákat számos helyen alkalmazzák az atomerőművi technológiákban.

### **Szerves ioncserélő gyanták**

A szerves ioncserélő gyanták jól kifejlesztett anyagok, amelyeket széles körben lehet alkalmazni anion és kation cserélőként. Az ioncserélőket lehet alkalmazni erős és gyenge savas, illetve lúgos anyagokhoz. A gyantákban a funkciócsoportok gondos megválasztásával néha lehetőség van jelentős mértékű ionszelektivitás megvalósítására. Ezeket széles körben alkalmazzák a kiégett fűtőelem tároló medence vízének kezelésénél.

A szerves ioncserélők hajlamosak a hő és sugárzás hatására bomlani, és bizonyos kémiai kezelések esetén is előfordulhat a gyanta bomlása, ami a korábban megkötött aktivitás lemosódásával járhat.



19.3.5-10. ábra: Szerves ioncserélő gyanta [19-10]

### **Szervetlen ioncserélő gyanták**

A szervetlen szorbenseket széles körben alkalmazzák a vizes alapú radioaktív hulladékok kezelésénél. Általában jó sugártűrők, jó vegyszerállóságúak, valamint kompatibilisek a potenciális beágyazó mátrixanyagokkal. A szervetlen ioncserélők lehetnek természetes ásványok, vagy szintetikus anyagok.

A természetben előforduló ásványi anyagok közé tartoznak az alumino-szilikátok, ilyen anyagok

- a zeolitok,
- az agyagok,
- a földpátok.

A szintetikus ioncserélők általában az alábbi kategóriákba sorolhatók:

- hidratált fénoxid pl.: hidratált titánoxid, poliantimon-sav,
- több vegyértékű fémek oldhatatlan sói pl. titán foszfát,
- változó polaritású savak oldhatatlan sói pl. ammónium molibdén-foszfát,
- komplex sók oldhatatlan hexacianoferrátokban,
- szintetikus zeolitok.



## Bepárlás

A bepárlást, mint hulladékkezelési eljárást széles körben alkalmazzák, jó dekontaminálási és térfogat-csökkentési faktora miatt. A vízfázis gőzként távozik a hulladékból, amit további szűrés és ioncsere után újra felhasználnak, vagy kibocsátásra kerül megfelelő ellenőrzést követően. A bepárlási maradékot lehet cementezni, vagy más anyagba ágyazva hosszú ideig tárolni vagy végleges elhelyezésre elszállítani.



19.3.5-11. ábra: Bepárló berendezés [19-11]

## Membrán technológia

A membrán technológia segítségével lehetőség nyílik a hulladékvízben lévő néhány radioaktív komponens szelektív leválasztására. Az anyag a membránon keresztül nyomás hatására megy át. Az alábbi membrán technológiák ismertek:

- Fordított ozmózis (RO),
- Ultraszűrés (UF),
- Mikroszűrés (MF),

Attól függően, hogy a membrán pórusok mérete mekkora.

A pórus méretek:

- RO < 1 nm,
- UF 1-100 nm,
- MF 0,1-1  $\mu\text{m}$ .

A membrán technológiát alkalmazzák atomerőművi mosodák szennyvizeinek és laboratóriumi hulladékvizek keverékének tisztítására, illetve bórsav oldat tisztításra, újrafelhasználásra.



19.3.5-12. ábra: Fordított ozmózis berendezés [19-12]

### Elektrokémiai technológiák

A technológiát főleg a másodlagos hulladékok kezelésénél lehet jól alkalmazni.

Az alábbi technológiákat alkalmazzák:

- Elektrokémiai vagy elektroflotációs technológia,
- Elektroozmózis víz-telenítés,

Főleg alacsony vezetőképességű iszapok víz-telenítésére használják. A szilárdanyag tartalom 2-5 wt%,

- Elektrodialízis,
- Elektrokémiai ioncsere.

A 19.3.5-2. táblázat: ban összefoglaltuk a vizes alapú folyékony radioaktív hulladékok kezelésének technológiák jellemzőit és alkalmazásuk korlátait.

Kezelési technológia	Jellemzők	Korlátok
Kémiai csapadék képzés és elválasztás	Nagy mennyiségű és só-tartalmú hulladékoknál optimális Csökkenti az oldat radioaktív szennyezettségét és kémiai koncentrációját Viszonylag egyszerű ipari üzemeltetés Alacsony fajlagos üzemeltetési költség	Általában alacsonyabb dekontaminációs faktor (DF) mint más technológiáknál ( $10 < DF < 10^2$ ( $\beta, \gamma$ ) $10^3$ ( $\alpha$ )) A kibocsátást követően kémiai összetevők kirakódása, felhalmozódása a természetben Hatékonysága függ a szilárd-folyadék szétválasztási lépéstől Másodlagos hulladék keletkezik
Ioncsere szerves gyantával	Jó DF alacsony só-tartalmú hulladéknál $> 10$ -tól $10^3$ -ig, átlagosan $10^2$ Jó mechanikai tulajdonság és meglehetősen könnyű kezelés Szükség szerint regenerálható	A radiológiai és kémiai hatások károsíthatják a gyantát Egyes kémiai szennyezők megátolhatják a szorpciót, vagy lemoshatják a korábban megkötött radionuklidokat (pl. $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ ionok a radioaktív $\text{Cs}^+$ ionokat). A gyanta ára meghatározó Kondicionálásához kémiai kezelés szükséges Másodlagos hulladék keletkezik
Ioncsere szervesetlen szorbensekkel	A kémiai, radiológiai és hő-stabilitása jobb mint a szerves ioncsereelőké. Relatív könnyű véglegesen elhelyezni A termékek nagy választéka biztosítja a magas szelektivitást $DF > 10 - > 10^4$ , átlag $10^2 - 10^3$	Hatással van rá a magas só-tartalom és a komplexek, de kevésbé, mint a szerves ioncsereelőkre Szűrő ágy eltömődési problémák Magas lehet az árak Regenerálásuk és újrahasznosításuk gyakran nehéz Másodlagos hulladék keletkezik
Bepárlás	Magas dekontaminációt tud elérni: $DF 10^4 - 10^6$ Jól megalapozott technológia Magas térfogat redukciós faktor lehetséges	A technológia alkalmazhatósága esetenként korlátozott (lerakódás, habzás, korrózió, illékony izotópok) Magas üzemeltetési költségek Magas beruházási költségek

Kezelési technológia	Jellemzők	Korlátok
Fordított ozmózis, RO	Oldott sók kivonása DF100 - 1000 Mennyiség csökkentési faktor (VRF) 100 - 1000 Gazdaságos Elfogadott nagy tisztaságú üzemeltetéshez	Nagy nyomású rendszer, Drága Nem visszamosható Hajlamos az eldugulásra Másodlagos hulladék keletkezik
Ultraszűrő, UF	Elválasztja a sóoldatból a diszperz és kolloid részecskéket Szerves és szervesetlen membránokat használnak. A szervesetlenek jobb kémiai és radiológiai stabilitással rendelkeznek, valamint magasabb üzemi hőmérsékleten üzemelhetnek Az üzemi nyomás < 1MPa	Eltömődés miatt időnként kémiai tisztítás vagy visszamosatás szükséges A szerves membránok hajlamosak a radiológiai bomlásra Másodlagos hulladék keletkezik
Mikroszűrés, MF	Alacsony üzemi nyomás (100 – 150 kPa) Magas leválasztás (99 %) Előkezelő technológia az RO számára Szervesetlen membránok beszerezhetőek Eltömődés levegős lazítással is kezelhető	A visszamosási gyakoriság túl nagy lehet, függ a hulladékáram szilárdanyag tartalmától Másodlagos hulladék keletkezik
Elektrokémia	Kiegészítő technológiai paraméterként Segít minimalizálni a reagens használatot Alacsony energiafogyasztás Fokozza a reakciók hatásosságát	Érzékeny a hulladékban lévő szennyeződésekre A hulladék ionerőssége kihat a teljesítményre Gázfejlődés veszélye Eltömődési problémák 10 g/l szilárdanyag tartalom felett

19.3.5-2. táblázat: A vizes alapú folyékony radioaktív hulladékok kezelésének technológiai [19-30]

A 19.3.5-2. táblázatban szereplő technológiák közül egyszerűségük, magas dekontaminációs faktoruk és jó térfogatcsökkentési tényezőjük miatt a következők alkalmazására kerül sor:

- ioncsere szerves és szelektív szervesetlen gyantával,
- bepárlás.

### 19.3.5.3.2 Folyékony szerves hulladékok

A szerves folyékony hulladék mennyisége az atomerőművi folyékony radioaktív hulladékok körében jóval kevesebb, mint a vizes alapú folyékony radioaktív hulladék mennyisége. Azonban bármennyi is a mennyisége, a helytelen kezelés a veszélyességét megnövelheti. A vizes hulladékok megfelelő kezelést követően kibocsáthatók a környezetbe bizonyos korlátok között, míg a szerves radioaktív hulladékok a nuklid tartalom mellett egyéb szervesanyag tartalmuk miatt is veszélyt jelentenek az egészségre és a környezetre egyaránt. A vizes hulladékoknál jól bevált hígítás és oldás gyakorlata a legtöbb folyékony szerves hulladék esetében nem alkalmazható.

Általában az alábbi kezeléseket alkalmazzák a folyékony szerves hulladékok esetében:

- szilárd formába történő átalakítás,
- mennyiség csökkentés,
- tisztítás és újrafelhasználás,
- a cementezéssel kompatibilis formába való átalakítás.

A folyékony szerves hulladékok helyi kezelésének legegyszerűbb módja az abszorpciós eljárás. A folyékony hulladékot a szállító konténerben lévő abszorbenshez adagolják, amely végső soron minden folyadékot abszorbeál. Ezt a technológiát rutinszerűen alkalmazzák a radioaktívan szennyezett turbina és szivattyú olajok szilárdításához.

Általában az alábbi abszorbenseket alkalmazzák:

- természetes rostszálak (pamut, fűrészpor),
- szintetikus rostszálak (polipropilén),
- vermikulit (csillám),
- agyag,
- kovaföld.

A főbb kezelési technológiák összehasonlítását a 19.3.5-3. táblázatban mutatjuk be.

Kezelési technológia	Jellemzői	Korlátok
Égetés	A hulladékok szerves anyag tartalma elbomlik Jelentős mennyiségcsökkenés Más hulladékokkal keverve is használható A biológiai aktivitás (fertőzés veszély) megszüntetése	Másodlagos hulladék kezelése Magas hőmérséklet szükséges a teljes elbontáshoz A kilépő füstgázok tisztítása és ellenőrzése szükséges a környezeti kibocsátás előtt
Emulgeálás	A folyékony szerves hulladék cementmátrixba ágyazását teszi lehetővé	Alacsony folyadék-cement tényező (a cementmátrixban az emulgeált folyadék tartalom határértéke jelent korlátot)
Abszorpció	Szerves folyadékok megkötése szilárd adszorberen Egyszerű és olcsó	A szorpció jellemzők miatt (kevés folyadékot képes jól fixálni a szilárd fázis) csak viszonylag kis térfogatú hulladék esetén ideális Az ilyen hulladék jellemzői nem mindig felelnek meg a hulladéklerakó átvételi kritériumainak
Fázis szétválasztás (pl. extrakció)	Folyadék és toxikus anyagok eltávolítása a hulladékból Megtisztíthatók az oldószerek	Speciális technológia, ami ritkán alkalmazható A technológia relatív drága ipari mennyiségű hulladékhoz
Nedves oxidáció	Alacsony hőmérséklet Egyszerűbb, mint az égetés Alkalmos biológiai hulladékokhoz	Az oxidálószer tárolás veszélyes A feldolgozó technológia bonyolult A kezelt anyagok utókezelése szükséges

19.3.5-3. táblázat: Szerves folyékony radioaktív hulladékok kezelési technológiái [19-30]

A 19.3.5-3. táblázatban szereplő technológiák közül a várhatóan alacsony szerves folyékony radioaktív hulladék-keletkezés, és az egyszerű megvalósíthatóság miatt az abszorpció kerül alkalmazásra.

### 19.3.5.4 Hulladék-kondicionálási technológiák

#### 19.3.5.4.1 A radioaktív hulladékok szilárdítási módszerei

A radioaktív hulladék kezelésének fontos része a feldolgozás utáni kondicionálás, amely csökkenti a radionuklidok kikerülésének potenciális lehetőségét a további kezelés, tárolás, szállítás és elhelyezés során.

A szilárdítást a gyakorlatban négy módszerrel végzik:

- cementezéssel,
- bitumenezéssel,
- polimerbe ágyazással,
- és üvegezéssel.

A folyékony hulladékok szilárdítása azért szükséges, mert folyékony állapotban a biztonságos tárolás csak néhány évtizedig valósítható meg. A szilárdítás módszere több tényezőtől függ: a hulladék kémiai és fizikai jellemzői, a radionuklid összetétel, a hulladéktemető átvételi kritériumai, a végtermék követelményei, a technológia és az anyagok elérhetősége, a kötőanyag összeférhetősége a hulladék komponenseivel stb.

Jelenleg a kis és közepes radioaktív hulladéokra legelterjedtebb feldolgozási módszer a cementezés és a bitumenezés. Az üvegezés és geopolimerizálás az utóbbi időben kezd teret nyerni, mint a cementezés alternatívája.

A szilárdított hulladékoknak a következő követelményeket kell teljesíteniük:

- magas kémiai, hő- és sugárállóság,
- homogén struktúra,
- magas mechanikai szilárdság.

A nukleáris ipari gyakorlatban elterjedt kondicionálási technikák a következők:

### **Cementezés**

A cementezés a kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok megszilárdításának és kondicionálásának egyik legelterjedtebb módszere, a technológia hozzáférhetősége és egyszerűsége, a berendezések olcsósága, a végtermék nem éghetősége és nem képlékenysége miatt. A folyékony hulladékoknál felhasználják a cement vízmegkötő képességét, szilárd hulladékoknál pedig kiegészítő védőgátként használják.

A cementek meghatározó mutatói: finomítási szint, megszilárdulás / megkötés ideje, térfogatváltozás mértéke, hőfejlődés víz hatására, a megkötött cement szilárdsági mutatói. Nagy szilárdsága miatt a legelterjedtebb a portland cement.

A különböző receptúrával készített cementeknek eltérőek a fizikai és kémiai jellemzői, amelyek hatással vannak a hulladékok megszilárdítására is, ezért az összetételt a szilárdítandó hulladék szerint változtatják.

Cementezésre kerülő folyékony hulladékok típusai:

- bepárlási maradékok,
- a folyékony radioaktív hulladékok feldolgozásának koncentrátumai,
- dekontamináló oldatok,
- regeneráló oldatok, stb.

Cementezésre kerülő szilárd hulladékok:

- ioncserélő gyanták,
- szorbensek,
- égetéskor keletkező hamuk,
- különböző előkezelt berendezés.

A cementezett hulladékok minőségét leginkább meghatározó tulajdonságok:

- mechanikai szilárdság,
- kémiai tartósság,
- a tárolási környezetben való ellenálló képesség.

A technológia jól kidolgozott és nem igényel bonyolult berendezést, de fontos a folyamat komponenseinek ésszerű kiválasztása.

A cementezés során a borátok cementmérgek, amelyek kedvezőtlenül hatnak a végtermék jellemzőire (szélsőséges esetben meg sem köt a cement), ezért viszonylag kevés borát-tartalmú hulladékvíz keverhető a cementhez.

A cementezés hátránya a hulladék térfogat növekedése.

### **Geopolimerizálás**

A technológia a cementezés egy speciális fajtájának tekinthető. Míg a cementet kalcium szilikát alkotja a geopolimerek szervesen polimer szerkezetű amorf alumínium-szilikátok.

A technológia nagy előnye, hogy a folyékony radioaktív hulladékok jelentős részét kitevő bórsavoldatok borát tartalma beépül a kristályrácsba, ezért a cementezéssel elérhetőnél jóval kedvezőbb a hulladékvíz-kötőanyag arány.



19.3.5-13. ábra: Cementezett hulladék [19-31]

### A radioaktív hulladékok bitumenezése

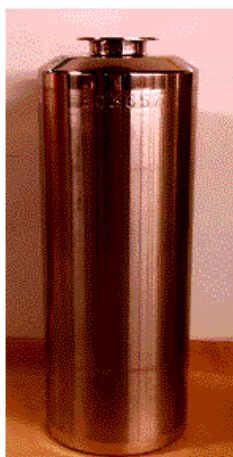
A folyékony és nedves radioaktív hulladékok feldolgozásának egyik módszere a bitumenes anyagokba ágyazása. A bitumenezés széles elterjedésének oka a hőképlékenysége és a vízszigetelő képessége, amely hatására stabil homogén és vízálló végterméket kapunk. Az alapanyag igen olcsó és elterjedt, így könnyen hozzáférhető. Mivel a folyamat során elpárologtatják a vizet, a cementezéssel ellentétben nem jár térfogatnövekedéssel a feldolgozás. A technológia bonyolultsága és költségei, az elsődleges hulladék térfogatának csökkentése és a radionuklidok végtermékbe kerülése a cementezés és az üvegezés között helyezkedik el.

### A radioaktív hulladékok üvegezése

Költségei miatt elsősorban nagy aktivitású radioaktív hulladékok feldolgozására alkalmazzák.

A technológia előnyei: elég magas korróziós ellenálló képesség vizes környezetben, nagy hőtechnikai és sugárállóság, jó mechanikai tartósság, alacsony érzékenység a hulladék összetételére, maximális térfogatcsökkentés, a technológia kiforrottsága és megbízhatósága.

A technológia hátrányai: az üveg pontos összetételét alapvetően meghatározza a hulladék összetétele. Ennek meghatározásánál minden esetben törekedni kell az egyenetlen anyageloszlás kiküszöbölésére. Az üvegezett hulladék fázis kiválásai kerülendőek, mivel a fázisok tulajdonságai eltérőek és érzékenyek a struktúrára. A végtermék fázisonkénti kialakulása a szilárdsági mutatók romlásához vezet.



19.3.5-14. ábra: Üvegezett hulladékot tartalmazó konténer [19-32]

A 19.3.5-4. táblázat összefoglalja a szilárdítási technológiák általános jellemzőit és korlátait.

Mátrix	Előnyök	Hátrányok
Cement	Könnyen elérhető, olcsó anyag; Az anyagok széles tartományával kompatibilis; Kitűnő sugárzási stabilitás; Nem gyúlékony; A magas pH-jú termék a legtöbb radionuklid jó kémiai visszatartását eredményezi.	A szerves gyanta bevonatok duzzadása a mátrix repedéséhez vezethet A bekeverhető radioaktív hulladék és cement aránya alacsony. A végtermék térfogata nagyobb, mint az eredeti hulladéké. Mérsékelt kilúgozódási ellenálló képesség néhány radionuklidra (pl. Cs, K stb.)
Geopolimer	Viszonylag olcsó Nem gyúlékony Stabil végtermék Cementnél kisebb térfogat növekedés	Csak bórsav tartalmú oldatokra előnyös a használata Viszonylag új módszer és kevés tapasztalat van az öregedéséről
Bitumen	Jó kilúgozódási ellenállóképesség; Minden vizet eltávolítanak, így kedvező hulladék-bitumen arány érhető el.	A végtermék lágyul hőmérséklet emelkedésével; A szerkezeti mechanikai stabilitás miatt konténerrel szükséges A szerves gyanta megduzzadhat, ha víz kerül a mátrixba A szerves hulladékforma gyúlékony és hajlamos a biológiai lebomlásra; Alacsonyabb a sugárzási stabilitása, mint a cementnek. Drága és veszélyes technológia
Polimerek	Viszonylag sok féle polimer alkalmazható. Jó kilúgozódási ellenállóképesség.	Általában drágább, mint a cement vagy bitumen; A polimerizációs reakciókra kihatással vannak a hulladék nyomelemei; Alacsonyabb a sugárzási stabilitása, mint a cementnek.
Nagy integritású konténer	Egyszerű, olcsó, könnyen kezelhető Az acél konténereknek nagyon jó a sugárállósága	Csak a konténer integritása gátolja a kikerülést Több országban nem felel meg a szabályozási környezetnek A műanyag konténerek sugárállósága korlátozott
Üvegezés	Az üvegforma jó kilúgozódási ellenálló képességű; Jó a sugárzástűrése; Jó térfogatcsökkentés érhető el.	Magas hőmérsékletű folyamat. Magas beruházási és üzemeltetési költség Alkáli ionok (K, Cs stb.) kioldódhatnak belőle

19.3.5-4. táblázat: A radioaktív hulladékok szilárdítási (immobilizálási) folyamatainak összehasonlító összegzése

A 19.3.5-4 táblázatban szereplő technológiák közül a folyékony radioaktív hulladékok fizikai és kémiai tulajdonságait és ismertetett előnyeit is figyelembe véve a cementezés kerül alkalmazásra. A cementezési eljárás általánosan elfogadott és alkalmazott módszer a nukleáris iparban.

### 19.3.5.5 A radioaktív hulladékok kezelésének lehetőségei

Napjainkban sok, nagy hatékonyságú kezelési és kondicionálási technológia áll rendelkezésre, melyek alkalmazása jelentősen növeli a meglévő tároló kapacitás kihasználtságát, szükségtelenné teszi az átmeneti tárolás utáni újracsomagolást, minimalizálja vagy csökkenti a tárolási periódus alatt a csomagból történő szivárgást.

A különböző technológiák alkalmazhatóságát az egyes radioaktív hulladéktípusokra vonatkozóan a 19.3.5-5. táblázat foglalja össze.

Létesítés során az előrelátó tervezésnek és a megfelelő szabályozásnak a feladata, hogy a fejlett kondicionáló technikák alkalmazását már az átmeneti tárolás alatt is biztosítsák, mivel a hulladékfeldolgozás optimális kezelése magába foglalja a gazdaságossági szempontok figyelembe vételét is. A megfelelő hulladékkezelési technológiák gazdaságossági prioritása gyakran alacsony, különösen, amikor elegendő átmeneti vagy végleges tároló kapacitás áll rendelkezésre a keletkező hulladék elhelyezésére kis hatékonyságú térfogatcsökkentő technológiák alkalmazása mellett is. Azokban az országokban, ahol megengedett a telephelyen a hulladék átmeneti tárolása a leszerelésig, vagy a végleges hulladéktároló megvalósulásáig, ez a lehetőség hátrányosan befolyásolja a térfogatcsökkentő és kondicionáló

technológiák alkalmazását. Arra ösztönzi az üzemeltetőt, hogy úgy tárolja a hulladékot, ahogy keletkezik, várva a hatékonyabb későbbi technológiákra. Ezért még a tervezés fázisában gondolni kell a megfelelő hulladékkezelési stratégia kialakítására.

Technológia	Radioaktív hulladék típusok							
	Gumi / műanyag	Cellulóz	Ion cserélő gyanták	Biológiai anyagok	Kevert szilárd anyagok	Kenőanyagok	Szerves oldószerek	Egyéb folyadékok
<b>Roncsolásmentes technológiák</b>								
Szárítás és bepárlás	N	I	I	I	I		I	I
Desztilláció	N	N	N	N	N		I	
Fizikai kondicionálás			N	N	I	N	N	N
Dekontaminálás	I	I	N	N	I	I	I	
Abszorpció	N	N	N	N	N	I	I	I
Kompaktálás	I	I	I		I	N	N	N
Közvetlen immobilizálás	I	I	I		I	N	N	N
<b>Roncsolásos technológiák</b>								
Elégetés	I	I	I	I	I	I	I	I
Pirolízis / gőz átalakítás	I	I	I	I	I	I	I	I
Alkáli hidrolízis (TBP / OK)	N	N	N	N	N		I	
Üvegezés	I	I	I	I	I			
Plazma kezelés	I	I	I	I	I	I	I	I
Olvasztott sós oxidálás	I	I	I	N	I		I	
Elektrokémiai kezelés	N	N	N	N	N		I	I
Közvetlen kémiai oxidálás							I	
Savas bontás	I	I		I	I		I	
Nedves oxidálás			I			I	I	I
Szuperkritikus vizes oxidálás	I	I	I		I		I	
Hőkémiaili kezelés			I	I		N	N	N
Mikrohullámú kezelés			I	I				I

Jelölések:

I – Ismert, illetve valószínűleg alkalmazható technológia,

N – Nem alkalmazható technológia,

Üres mező – Nem ismert, illetve lehetséges.

19.3.5-5. táblázat: A radioaktív hulladék kezelési technológiák lehetséges alkalmazásai [19-25]



### 19.3.6 VÉGLEGES ELHELYEZÉS

A kis- és közepes aktivitású hulladékok végleges elhelyezése történhet felszíni, felszínhez közeli és felszín alatti tárolókban.

Felszíni tárolóra mutat példát a 19.3.6-1. ábra. Ebben az esetben a tároló a felszínen kerül kialakításra, majd a feltöltést követően több réteggel lefedik és a területet rekultiválják. A felszín alatt, kb. 30 méter mélységig kialakított tárolókat felszín közeli tárolóknak nevezik, erre mutat példát a 19.3.6-2. ábra. A felszín alatti tárolók a felszíntől néhány tíztől néhány száz méteres mélységben kerülnek kialakításra, erre példa Magyarországon az NRHT.

Számos országban elfogadott stratégia, hogy a társadalom egészségének védelme a rövid élettartamú, kis- és közepes aktivitású hulladékok képviselte veszéllyel szemben felszíni tárolókkal is biztosítható. Ha azonban az ilyen hulladékokat gondosan kiválasztott telephelyen, jó műszaki megoldású földalatti tárolókban helyezik el, akkor további védelem biztosítható mind az emberi, mind pedig a természeti eredetű veszélyekkel szemben. A földalatti tárolókat arra tervezik, hogy hosszú időn keresztül, felügyelet nélkül is garantálják a szükséges biztonságot, szemben a felszín közeli létesítményekkel, ahol általában hosszú idejű – néhány évszázadnyi – intézményes ellenőrzéssel számolnak. Következésképpen egy műszakilag jól kialakított földalatti tároló nagyobb fokú védelmet és biztonságot nyújt a társadalom számára, mint a hasonló felszíni létesítmény. A nemzetközi tapasztalatok szerint a kis- és közepes aktivitású hulladékok elhelyezésére szolgáló felszín alatti tárolók létesítése ma már kiforrott technológia.

Az utóbbi években, a nemzetközi gyakorlatban egyre inkább elfogadott, hogy a nagyon kis aktivitású hulladékok elhelyezése nem igényel olyan hatékony elzárást és izolációt, mint a kis- és közepes aktivitású hulladékoké, ezért elhelyezésükre megfelelő lehet felszíni hulladéklerakó is, korlátozott hatósági felügyelet mellett. A jelenleg ismert külföldi példák szerint a VLLW tárolókat egy már üzemelő felszíni kis és közepes aktivitású hulladéktároló mellett, annak védőzónájában, vagy pedig közvetlenül az atomerőmű üzemi területén alakították / alakítják ki. A nemzetközi példák alapján az is megállapítható, hogy ezek a tárolók nagymértékben hasonlítanak egy hagyományos veszélyes hulladéklerakóra.



19.3.6-1. ábra: Felszíni kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék tároló [19-26]



19.3.6-2. ábra: VLLW tároló, Morvilliers, Franciaország [19-27]

## 19.4 KIÉGETT FŰTŐELEM-KAZETTÁK KEZELÉSE

A [19-14] figyelembe vételével, az Atv. 2. § 14. pontja szerint: „*kiégett üzemanyag*: az atomreaktorban besugárzott és a reaktorból véglegesen eltávolított nukleáris üzemanyag, amely az atomreaktoron kívüli újrafeldolgozhatósága miatt **nem minősül hulladéknak**, vagy ha radioaktív hulladéknak minősül, annak végleges elhelyezéséről gondoskodni kell”.

A jelenleg működő atomerőművek többségében olyan üzemanyagot használnak, amely urándioxid tablettákból áll. Az atomerőművekben felhasznált üzemanyag állapotát a kiegész mértékével szokták jellemezni, amely megadja, hogy egységnyi tömegű uránt (vagy uránt és plutóniumot) tartalmazó üzemanyagból mennyi energiát nyertek ki a reaktorban eltöltött idő alatt. Egy 50 MWd / kgU kiegészű üzemanyag jellemző összetételét mutatja a 19.3.6-1. ábra.



19.3.6-1. ábra: Az 50 MWd / kgU kiegészű UO<sub>2</sub> üzemanyag jellemző összetétele

Látható, hogy a kiégett üzemanyag tömegének 93 %-át a maradék urán teszi ki ennek <sup>235</sup>U tartalma valamivel magasabb, mint a természetes uráné. A besugárzás során az <sup>238</sup>U izotópok összömege is csökken, de az <sup>238</sup>U magok fogyasztását elsősorban nem a hasadás, hanem a neutronbefogás okozza. A plutónium tömege 1,9% az itt bemutatott kiégett üzemanyagban, míg a másodlagos aktinidák tömege mindössze 0,1 %-ot tesz ki. A hasadási termékek részaránya 5 %-ra becsülhető, ebből 3,9 % stabil izotóp. A radioaktív izotópok bomlásával újabb stabil izotópok keletkeznek és ezért a radioaktív izotópok részaránya folyamatosan csökken a tárolás során.

A radioaktív bomlás energia felszabadulással jár, így a kiégett üzemanyagban jelentős hőtermelés lép fel, ezért a kiégett üzemanyag tárolásakor számolni kell a keletkező hő elvitelével.

A kiégett fűtőelemek végleges elhelyezése, illetve újrahasznosítása szempontjából a kiégett fűtőelem tömege, aktivitása, a bomlásokból származó hőtermelés, valamint a biológiai károsításra jellemző radiotoxicitás egyaránt lényeges.

Az atomerőművi blokkok teljesítménye és a felhasznált üzemanyag típusa alapvetően meghatározza a reaktor üzemelése során keletkező kiégett üzemanyag **mennyiségét**. Általában minél nagyobb teljesítményű egy atomerőművi blokk, annál több kiégett üzemanyag keletkezik. A kiégett üzemanyag mennyiségét befolyásolja az is, hogy az üzemanyagot mennyire égetik ki, azaz mennyi energiát nyernek ki egységnyi tömegből az üzemelés során. Nagyobb dúsítású üzemanyaggal, az alkalmazott technológiától függően akár nagyobb kiegészűt is el lehet érni, hiszen a nagyobb dúsítású üzemanyagban fajlagosan több hasadóképes izotóp található.

A kiégett üzemanyag feldolgozásával és a visszanyert hasadóanyagok üzemanyaggyártásnál történő felhasználásával csökkenthető a kiégett üzemanyag tömege. A kiégett üzemanyag feldolgozása során számolni kell azzal, hogy a folyamatban nagy aktivitású hulladékok is keletkeznek. A reaktortípusok fejlesztői az adott reaktortípus üzemeltetéséhez megfelelő üzemanyag előállítás, illetve termelési kapacitással is rendelkeznek, valamint egyes szállítók a kampányt követően részükre visszajuttatott, kiégett üzemanyag reprocesszálását is elvégzik, a reprocesszálás során keletkező, tovább nem hasznosítható nagyaktivitású hulladékok kezelésének műszaki megoldásait is ide értve.

A kiégett üzemanyag **aktivitását** kezdetben a rövid felezési idejű hasadási termékek adják, majd néhány száz év után a plutónium, urán, illetve az egyéb aktinidák aktivitása a meghatározó. A hasadási termékek közül kiemelkedő jelentőségű néhány izotóp: cézium (<sup>135</sup>Cs – 2,3 millió év, <sup>137</sup>Cs – 30 év) és stroncium (<sup>90</sup>Sr – 29 év), valamint technécium (<sup>99</sup>Tc – 211 ezer év), jód (<sup>129</sup>I – 16 millió év) és cirkónium (<sup>93</sup>Zr – 1,5 millió év). Egy tonna átlagos kiegészű üzemanyagra

vonatkozó fajlagos aktivitás az üzemidő végén  $10^7$  TBq/kg, míg 600 év elteltével 100 TBq nagyságrendű, azaz százazredére csökken. A változás az első időszakban a leggyorsabb, a reaktorból kivett fűtőelem aktivitása a tárolás első 10 évében ezredrészt csökken.

Az üzemanyag típusa és a kiégés mértéke befolyásolja a kiégett üzemanyagban keletkező izotópok mennyiségét és összetételét. A kiégett üzemanyag feldolgozása során visszanyert hasadóanyag felhasználásával készült üzemanyag már friss állapotában is tartalmaz plutóniumot, és az ilyen típusú elhasznált üzemanyagban több aktinida van, mint a hasonló kiégésű  $UO_2$  fűtőelemben. A nagyobb kiégésű üzemanyagban fajlagosan több hasadási termék van, de kevesebb a keletkező kiégett üzemanyag, ezért a hasadási termékek össz mennyisége alig változik.

A **hőtermelés** a kiégett fűtőelemekben az aktivitással párhuzamosan csökken. Öt év tárolás után a kiégett kazetában fejlődő hő mindössze tized részét annak, amelyet a kazetta a reaktorban normál üzemelés során termelt és ötszázad része annak a maradványhőnek, amellyel a kazetta közvetlenül a reaktor leállása után rendelkezett.

A kiégett üzemanyag **radiotoxicitása** azt mutatja meg, hogy a benne található radioaktív izotópoknak az emberi szervezetbe kerülve milyen potenciális egészségkárosító hatásuk lehetne. Matematikai értelemben a radiotoxicitás a kiégett üzemanyagban található radioaktív anyagok aktivitásának súlyozott összegét jelenti: az izotópok aktivitásából számolható, izotóponként más és más átszámítási (ún. dóziskonverziós) tényező segítségével. Az aktinidák dóziskonverziós tényezője jóval meghaladja a legfontosabb hasadási termékekét, és a kiégett üzemanyag radiotoxicitásának nagy részét már az üzemidő vége után néhány évtizeddel ezek az izotópok adják. A kiégett üzemanyag radiotoxicitása kezdetben több mint tízezerszeresen meghaladja a gyártásához felhasznált természetes urán radiotoxicitását. A természetes uránra jellemző értéket a kiégett üzemanyag több mint százezer év után éri el.

A kiégett nukleáris fűtőelemek kezelésében jelentős különbségek vannak az egyes országok között. A stratégiák abban általában megegyeznek, hogy a kiégett fűtőelemeket kezdetben néhány évig víz alatt, a reaktor közvetlen közelében található pihentető medencében tárolják, ugyanis a nagy hőtermelés miatt a fűtőelemek folyamatos intenzív hűtése szükséges. A jelenleg itthon és sok külföldi országban is alkalmazott gyakorlat szerint a fűtőelemek innen átmeneti tárolóba kerülnek, amely a választott technológiától függően száraz vagy nedves tároló lehet. Az itt töltött évtizedek alatt annyira lecsökken a fűtőelemek hőtermelése, hogy végleges tárolókba is lehet helyezni őket.

A kiégett nukleáris fűtőelemek sorsának alakulásánál sok ország esetében a várakozó stratégia („*Wait and see policy*”) figyelhető meg – azaz a fűtőelemek átmeneti tárolókban vannak, míg végleges elhelyezésükről döntés születik. Ezt a stratégiát az utóbbi években a „mérlegelve haladj előre”, az érdekelt szervezetek körében angolul „*Do and See*” elnevezésű stratégia váltotta fel. Ez az elv tömören annak figyelembevételét jelenti, hogy minden folyamat, vagy program, egymást követő olyan fázisokat tartalmazhat, amelyeknek határánál elágazási csomópontok lehetnek. E csomópontoknál – megfelelő mérlegelések eredményeként – meg kell hozni a programot érintő döntéseket. Ez az elv egyszerre jelenti az aktivitás (előrehaladás) és a megfontoltság (mérlegelés) követelményét, ezért sokkal jobb, mint az alkalmasint elvtelen passzivitásra, tértelenségre vezető várakozó stratégia.

A kiégett fűtőelemek kezelése területén egységes gyakorlatról nem beszélhetünk, a fő tendenciák a következők:

- üzemanyag reprocesszálása, a hasadóanyag ismételt felhasználása, a folyamat során keletkező nagy aktivitású hulladék tárolása, végleges elhelyezése
- üzemanyag reprocesszálása külföldön, hasadóanyag és nagy aktivitású hulladék visszaszállítása
- kiégett fűtőelemek visszaszállítása a fűtőelemet gyártó országba
- kiégett fűtőelem közvetlen elhelyezése arra alkalmas geológiai tárolóban.

#### 19.4.1 KIÉGETT FŰTŐELEM-KAZETTÁK PIHENTETÉSE

A reaktorból, átrakás során kiemelt fűtőelemekben jelentős hőfejlődéssel kell számolni, ezért a kazettákat évekig a reaktor melletti pihentető medencében, víz alatt tárolják. Itt megtörténik a rövid felezési idejű izotópok aktivitásának és bomláshőjének a jelentős csökkenése. Rövidebb átrakási idő esetén nagyobb kiégéssel számolunk (mint hosszabb átrakási időt figyelembe véve), ami a hasadási termékek mennyiségének növekedését jelenti, ami hosszabb pihentetést, és jelentősebb árnyékolást tesz szükségessé további kezelés, vagy szállítás előtt.

## 19.4.2 KIÉGETT FŰTŐELEM-KAZETTÁK ÁTMENETI TÁROLÁSA

A pihentető medencéből eltávolított kiégett üzemanyag további kezelés előtt átmeneti tárolásra kerül. A maradványhő elviteléről a pihentető medencében történt tárolás után is gondoskodni kell, de erre kevésbé intenzív (pl. levegővel, illetve természetes huzattal) hőelvitel is megfelelő.

A kiégett nukleáris üzemanyag átmeneti tárolására a következő megoldások jöhetnek szóba:

- nedves tárolás
- száraz tárolás:
- kamrás (MVDS, pl. KKÁT)
- konténeres.

### 19.4.2.1 Nedves tárolás

A nedves tárolás a reaktorból kiemelt, kiégett fűtőelem-kazetták pihentetésére szolgáló medencében uralkodó műszaki paraméterekkel közel azonos feltételeket biztosít, viszont a pihentető medencéből kiemelt kazetták hőtermelése a kezdeti érték töredéke, így a remanens hő elvezetése a nedves tárolás során kevésbé kritikus.

Előnyei:

- fajlagos területigénye kedvező (a kazetták további burkolat nélkül helyezkednek el egymás mellett)
- a pihentető medencéhez kapcsolódva, folyadék alatt átemelhetőek a kazetták (szállítókonténer alkalmazása nélkül is)

Hátrányai:

- folyamatos felügyelet, technológia igény (hűtővízminőség-, mennyiség)
- kevés hazai tapasztalat (a meglévő tapasztalat a közvetlenül a reaktortartály mellett elhelyezkedő pihentető medencékre terjed ki)
- beruházási költség eloszlása egyenlőtlen (nem moduláris, a teljes létesítménynek el kell készülnie az első kazetták fogadására)
- vízkezelés plusz költsége (laborhátér)
- földrengés esetén kockázat (a medence integritásának sérülése esetén hűtőközegvesztés történhet)
- Paks II. telepítési területe nem elegendő egy ilyen létesítmény befogadására



19.4.2-1. ábra: Példa nedves tárolásra, AREVA, LaHague, Franciaország [19-15]



### 19.4.2.2 Száraz tárolás, kamrás

Moduláris felépítésű száraz tároló rendszer (MVDS) a Paksi Atomerőműhöz kapcsolódó KKÁT működési elvét követő épület, a VVER-1200 kazetták műszaki paramétereire méretezve.

Előnye:

- a passzív hőelvezetés okán az üzemeltetés gazdaságosabb

Hátrányai:

- folyamatos szakmai felügyelet (pl. a konténeres tároláshoz képest)
- beruházási költség eloszlása egyenlőtlen (modulárisan is építhető, viszont az első kazetta fogadásáig az első modul kiépítésnek befejezettnek kell lennie)
- a jelenleg üzemelő KKÁT bővítése Paks II. hasonló céljaira nem lehetséges
- a tervezett telepítési területen belül nem áll rendelkezésre alkalmas terület.



19.4.2-2. ábra: MVDS típusú tároló, KKÁT Paks [19-33]

### 19.4.2.3 Száraz tárolás, konténeres

A pihentető medencében, víz alatt a szállító és / vagy hosszú távú tárolásra szolgáló tartályba / hüvelybe kerülnek a kiégett kazetták, majd attól függően, hogy szállításra vagy tárolásra kerül sor, további árnyékolással látják el a tartályt.

A kereskedelmi forgalomban elérhető, lehetséges konténer típusok választékát befolyásolja a VVER-1200 kazetta külmérete (főképp a hossza), valamint a kazetták átlagos kiégése (MWd/kg U), amely fontos paraméter a tárolókonténerek biológiai védelmének, illetve árnyékolásának, továbbá hőelvezető képességének tervezésekor.

A tárolási helyen való elhelyezés előtt, a kazettákat közvetlenül befoglaló hüvely árnyékolását végzik el, különböző fém-, és kompozit rétegek alkalmazásával, a külső burkolat, amely szintén szerepet játszik az árnyékolásban, lehet acél (saválló, szénacél) vagy feszített vasbeton. A konténer elhelyezése szerint lehet álló vagy fekvő tárolás aszerint, hogy a technológia szállítója melyik megoldást javasolja.

A készre szerelt tároló konténer elhelyezése több féle módon történhet:

- Jellemzően a külső fém burkolatú konténerek tárolóépületbe, csarnokba kerülnek, ahol az időjárás hatásai nem érik el a tárolórendszert. A csarnok falait az MVDS rendszerhez képest mérsékeltebb árnyékolással látják el, mert a tárolótartályok már önmagukban árnyékoltak.
- A vastagabb, betonburkolatú konténerek felszíne alapvetően látszóbeton, az ilyen konténerek megfelelően méretezett beton burkolatra kerülnek, a szállítás és a biztonságtechnika által kialakított rácsosztással. A nyílt felszínen elhelyezett, kívül többnyire beton burkolatú konténerek szintén elegendő árnyékolást képviselnek, így kiegészítő árnyékolás nem szükséges. A tároló rendszer többrétegű felépítése lehetővé teszi, hogy a biológiai védelmet szem előtt tartva, a természetes huzat, illetve légváltás érdekében különböző légcsatornákat alakítsanak ki a konténer burkolata alatt.

### Előnyei:

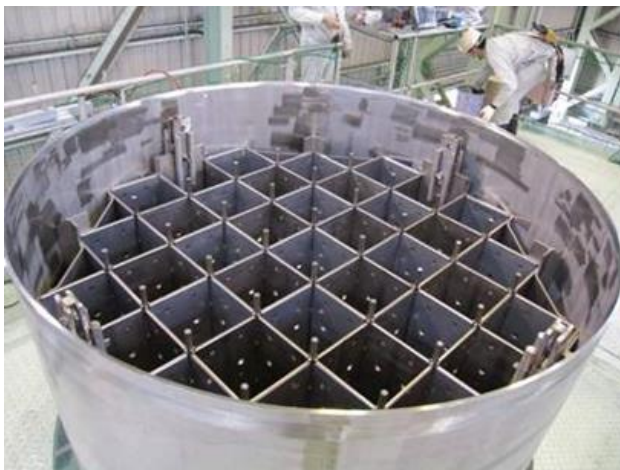
- kevés felügyelet elegendő (fizikai védelem és monitoring)
- beruházási költség eloszlik (nyílt felszíni tárolás esetén a megerősített vasbeton felület kialakítása gazdaságilag kedvező, a tároló konténereket pedig elég a pihentető medence kapacitás-csökkenésének ütemében beszerezni)
- a könnyűszerkezetes tároló csarnok nélküli megoldások minimális terület előkészítést igényelnek
- minimális infrastruktúra-igény (iparvágány nem szükséges, a tárolóterre gumikerekes szállítójárművek közlekednek)
- természeti károk, bűncselekmény ellen nagyobb védelmet ad (a konténerek egyenként néhány 10 kazettát foglalnak be, ez jelentős elkülönítettséget jelent, így pl. egy esetleges repülőgép rázuhanáskor elenyésző eséllyel sérül azonos mértékben egyidejűleg több tartály)

### Hátrányai:

- az erőmű ellenőrzött zónájában helyet kell biztosítani a konténerek töltéséhez, lezárásához szükséges berendezéseknek
- amennyiben nem több célra alkalmas konténer kerül kiválasztásra, akkor a végleges tárolóbaállítás előtt többlet műveleteket jelent a kiégett fűtőelemek szállító konténerbe helyezése.



19.4.2-3. ábra: Száraz, konténeres tárolás, csarnokban (CASTOR tartályok, Gorleben, Németország)



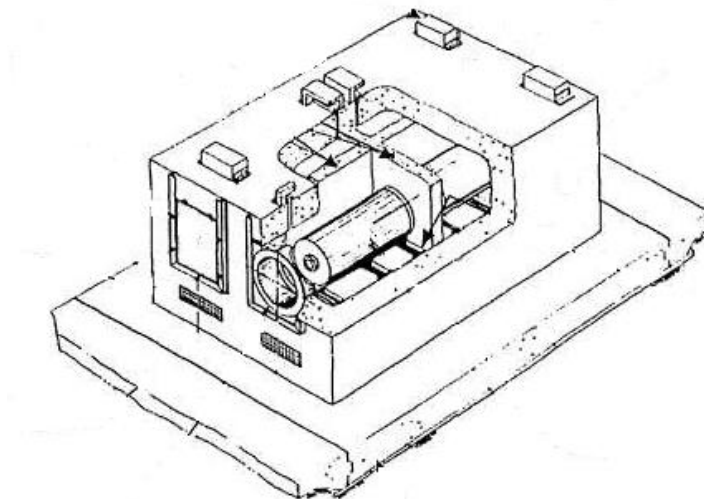
19.4.2-4. ábra: MAGNASTOR típusú tárolótartály és a befoglaló vasbeton konténer [19-34]

A nyílt felszínen való elhelyezést (függőleges tároló rendszerek) és a biológiai védelem mértékét jól szemlélteti a 19.4.2-5. ábra. A képen a konténerek külső burkolata látszóbeton.



19.4.2-5. ábra: Száraz, konténeres tárolás, függőleges elrendezésben [19-35], [19-36]

Az 19.4.2-6. ábra a vízszintes tároló rendszert mutatja. Egy-egy modulba két oldalról lehet tároló tartályt behelyezni, a modul elején a betöltő nyílás valamint az alsó szellőző nyílás, felül pedig a felmelegedett levegő kiáramlását biztosító nyílások.



19.4.2-6. ábra: Száraz, vízszintes elrendezésű tároló töltése [19-37], [19-38]

A Magnastor típusú tároló rendszert, valamint a – KHT, A paksi telephelyre tervezett új blokkok jellemzői, alapadatai című fejezetben közölt – a teljes üzemidő alatt várhatóan keletkező blokkonkénti 3 135 db kiégett kazetta mennyiséget



figyelembe véve, az új blokkok esetében ez az adatszolgáltatás szerinti 19 férőhelyes konténert alapul véve, két blokkra 330 db konténert jelent, 60 évre elosztva. Pontosabban az erőmű indulása utáni első átrakáskor képződő kazetták pihentető medencéből való kiemelésének időpontjától az üzemidő végén pihentető medencébe került kazetták pihentető medencéből való kiemeléséig.

A tárolóhelyül szolgáló beton felület  $\sim 22 \times 70$  m, az ábrán látható típusú konténerből maximálisan 48 db helyezhető el rajta. A példaként számolt 330 db konténer részére ezek alapján hétszer ekkora burkolt felületre lenne szükség, plusz a rakodó tér és a biztonsági sáv területe, összesen, konzervatív becsléssel körülbelül  $115 \times 100$  m, ami egy teljesen független létesítményre vonatkozik. Üzemi területen belül, például a Paksi Atomerőmű területén kialakított tárolótér kisebb fokú önálló biztonsági intézkedéseket kíván, kisebb területigénnyel.

A felszíni, konténeres tárolás jellemző elhelyezési rendje az alábbi, 19.4.2-7. ábra látható:



19.4.2-7. ábra: Jellemző elrendezés, száraz konténeres tárolás esetén [19-39]

### 19.4.3 AZ ÜZEMANYAGCIKLUS LEZÁRÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

Az üzemanyagciklus záró szakaszára több változat ismert. Az egymástól eltérő változatokat többek között az különbözteti meg egymástól, hogy milyen hulladékfajta kerül az üzemanyagciklus zárásaként végleges elhelyezésre továbbá, hogy erre az elhelyezésre hol, és milyen körülmények között kerül sor. További különbséget jelent az alább felsorolt változatok között, hogy azok a mai ismeretek alapján mennyire tekinthetők megvalósíthatónak.

#### 19.4.3.1 A kiégett üzemanyag végleges elhelyezése

A fűtőelemek közvetlen végleges elhelyezése során a fűtőelemekkel nem kell bonyolult kémiai folyamatokat végezni. A reaktorból kikerült üzemanyag több évtizedes tárolás után, feldolgozás nélkül kerül végleges elhelyezésre. Ezt a folyamatot nyílt üzemanyagciklusnak nevezik. A feldolgozás nélkül elhelyezésre kerülő hulladék nagyaktivitású és nagy a hőtermelése. A kiégett kazetták radiotoxicitása a természetes urán radiotoxicitását csak több százezer év után éri el.

A végleges izoláció és elhelyezés előnye, hogy nem hagy hátra feladatot és problémát a következő generációk tagjainak. Úgy izolálja a radioaktív hulladékot a környezettől, hogy nem kell a jövőben beavatkozni. Ugyanakkor elvész annak a lehetősége, hogy később kihasználják a tudományos és technikai eredményeket, esetleg visszanyerjék és hasznosítsák a tárolóba lerakott anyagokat.

A végleges elhelyezés legfontosabb követelménye, hogy a tárolóban elhelyezett hulladék hosszú időn keresztül a környezettől tökéletesen elszigetelt maradjon, amit a többszörös (földtani és műszaki) gátrendszerrel biztosíthatunk: a hulladékot több, egymást kiegészítő, természetes és mesterséges gátnak kell elszigetelnie a bioszférától. Ezen gátak közé tartozik a hulladék formája és kondicionálása; a hulladékot tartalmazó, általában többretegű konténer; az ezt körülvevő tömedékelő anyag; a tárolótér biztonságos lezárása; az egész hulladéktároló megfelelő lezárása; valamint a jól megválasztott, megfelelő geológiai környezet.



A nagyaktivitású hulladékok végleges elhelyezésére már több országban is folynak kutatások. Abban teljes az egyetértés, hogy a nagyaktivitású, hosszú felezési idejű hulladékok csak stabil geológiai formációkban, azaz mélységi tárolókban helyezhetők el biztonságosan.

### 19.4.3.2 Kiégett nukleáris üzemanyag feldolgozása

A részleges újrafeldolgozás (idegen szóval reprocessálás) során:

- a kiégett üzemanyag fém alkatrészeiből jellemzően hosszú élettartamú közepes aktivitású hulladékcsomagokat alkotnak, amelyeket a későbbiekben erre alkalmas tárolóban kell elhelyezni
- a kiégett üzemanyagban jellemzően megtalálható hasadási termékekből és a felszaporodó transzurán elemekből jellemzően nagy aktivitású hulladékcsomagokat alkotnak, amelyeket a későbbiekben erre alkalmas mély geológiai tárolóban kell elhelyezni
- a fűtőelemekből kinyerik az uránt és a plutóniumot.

A feldolgozás során keletkező, nukleáris üzemanyag előállítására alkalmas hasadóanyagok újrafelhasználására is sor kerülhet. A részleges újrafeldolgozás ma már bevált, ipari szinten megvalósított gyakorlat. A véglegesen elhelyezendő hulladék radiotoxicitása néhány tízezer év alatt éri el a természetes uránércre jellemző szintet.

Reprocessáló üzem – gazdasági és technikai megfontolások alapján – csak nemzetközi összefogásban, illetve olyan országban érdemes létrehozni, ahol sok atomerőmű működik. Magyarországon ilyen üzem létesítésének nagy valószínűséggel a jövőben sem lesz realitása, ezért ha igény merül fel a kiégett üzemanyag újrafeldolgozására, akkor azt külföldön kell elvégeztetni.

A fenti, reálisan megvalósítható változatok mellett jelentős erőfeszítések folynak az utóbbi időben egy olyan cikluszárási változat kidolgozására, amelynek bevezetése esetén a megmaradt hasadóanyagok újrahasonosításán túl, a transzurán elemeknek a legnagyobb többségét át lehetne alakítani (transzmutáció) lényegesen kedvezőbb tulajdonságú (rövidebb élettartamú) anyagokká.

A teljes újrafeldolgozás avagy szétválasztás és transzmutáció (angolul partitioning and transmutation, rövidítve P / T) lényege az, hogy az uránon és plutóniumon kívül a többi aktinidát és a hosszú felezési idejű hasadási termékeket is különválasztják. Az uránt, a plutóniumot és a hosszú felezési idejű izotópokat besugárzó berendezésekben gyors neutronokkal (transzmutációs eljárással) rövidebb felezési idejű izotópokká alakítják. Ezzel a véglegesen elhelyezendő hulladékok élettartama jelentősen lerövidül, így a hulladék radiotoxicitása csak néhány száz évig marad jelentős. A folyamat eredményeként a véglegesen elhelyezendő hulladékokban csak rövid felezési idejű hasadási termékek lesznek.

Az üzemanyag-ciklus ily módon történő zárásához azonban még hosszú kutató és fejlesztőmunkára, politikai és gazdasági döntésekre, meghozatalára, regionális nemzetközi együttműködések kialakítására és a transzmutáció működtetésének megszervezésére van szükség, ezért erre a megoldásra még nem alapozhatjuk az üzemanyagciklus zárásának folyamatát.

Negyedik generációs reaktorok alkalmazásával az elválasztott uránizotópokat a plutóniummal és a transzurán elemekkel együtt gyors neutronspektrumú szaporító reaktorok üzemanyagaként lehetne felhasználni. A gyors neutronos szaporító reaktorokban történő felhasználás jelentős energiatermelés mellett termeli újra, alakítja át a fenti anyagokat (urán, plutónium, transzuránok) kedvezőbb tulajdonságú hulladékokká. Az ilyen reaktorok fejlesztése folyamatban van, de üzembe állításuk csak évtizedek múlva várható. A mai ismeretek szerint a hagyományos reaktorokból és a gyors szaporító reaktorokból álló – méretezetten illesztett – reaktorflották lesznek képesek a hagyományos reaktorokból származó urán, plutónium és transzuránok maradéktalan átalakítására. Az illesztett reaktorflotta fogalma arra vonatkozik, hogy hogyan kell megválasztani a későbbi „reaktor-szimbiózis” elemeit ahhoz, hogy a hagyományos reaktorok kiégett üzemanyaga szükséges és elégséges üzemanyagot adjon az új reaktorok számára. Kis országok esetében nehéz kérdés az illesztett flottát értelmezni, illesztett reaktorflotta kialakításához a kis országok regionális összefogása és külső segítség is kell.

Az üzemanyagciklus zárása során, a cikluszárási folyamat tervezésekor, az üzemanyagciklus zárási politikájának kiválasztásakor és kivitelezésekor az alábbi szempontokat is figyelembe kell venni:

- Hosszú távon az újrahasonosítható hasadó anyagok idővel értékesekké válhatnak, tulajdonjoguk tisztázást igényel, amit a nemzeti programban elő kell irányozni.
- A kiégett üzemanyag és az üvegezett formájú nagy aktivitású hulladékok elhelyezésére csak mélygeológiai tárolókban kerülhet sor.

## 19.5 ATOMERŐMŰVI BLOKKOK LESZERELÉSE

A nemzetközi gyakorlatban a nukleáris létesítmények leszerelésére több változat (leszerelési politika) ismert:

**Azonnali leszerelés:** A nukleáris létesítmény leállítását követő nagyon rövid idő alatt (5 éven belül, vagy még korábban) elkezdődik.

**Biztonságos elzárás (megőrzés), vagy késleltetett leszerelés:** A nukleáris létesítmény leállítását követően csak jelentős késleltetés után valósul meg. A leszerelésre kerülő létesítmény bizonyos részei hatósági ellenőrzés alatt maradnak. Ez az állapot több évtizedig fennmaradhat. Ez után kerül sor a létesítmény végleges leszerelésére és a létesítmény hatósági ellenőrzésének megszüntetésére. Általában akkor választják a védett megőrzési opciót, ha:

- nincsenek kialakított nemzeti hulladékkezelési irányelvek;
- nem állnak azonnal rendelkezésre a leszereléshez szükséges pénzeszközök;
- vagy a leszerelési telephelyen többféle nukleáris létesítmény is szimultán leszerelésre kerül (ekkor a leszereléshez szükséges emberek és eszközök optimális allokációjára nyílik egyszerű lehetőség).

**Betokozás:** A leszerelésnek egy sajátos változata, a létesítmény ellenőrzött zónáját igyekeznek a lehető legszűkebb keretek közt meghatározni, és ide koncentrálnak az összes megmaradó radioaktív anyagokat. Ezt a teret kitöltik betonnal, ezáltal betokozzák a radioaktív anyagokat a létesítmény megmaradó épületébe.

**Vegyes leszerelési lehetőségek:** A fenti alap-változatokból – a leszerelés lehetséges végállapotait is figyelembe véve – a gyakorlatban sokféle variáció kialakítására van lehetőség. Így a leszerelési folyamat 20 - 100 éves időtartományban valósítható meg.

A nemzetközi elvárások a nukleáris létesítmények leszerelése tekintetében folyamatosan szigorodnak, egyre rövidebb kivárási időt engedve.

A leszerelési stratégia kiválasztása messzemenően komplex feladat. A kiválasztással kapcsolatban első közelítésben az alábbi fontos kérdések fogalmazhatók meg:

- Milyen végállapotot tűzünk ki célul?
- Mit kell tenni a végcél elérése érdekében?
- Mikor lehet a legkedvezőbb körülmények között a fenti tevékenységeket végrehajtani?

Nagyobb felbontásban, részleteiben az alábbi praktikus kérdések fogalmazhatók meg:

- Végrehajthatók a tervezett műveletek?
- Van rá elég kiképzett ember?
- Biztosítva van az emberek biztonsága és a természet védelme?
- Mibe kerül a leszerelés művelete?
- Biztosított a végrehajtás finanszírozása?
- Milyen hatást gyakorol a leszerelés a társadalomra, és a környező településekre?
- Hogyan biztosítjuk az érintettek támogatását?

A paksi telephelyen létesülő két új atomerőművi blokk a 2020-as évek közepén kezdheti meg üzemelését 60 éves tervezett üzemidővel, így a blokkok leállítására a 2080-as évek közepén kell számítani. Az új atomerőművi blokkok leszerelésére vonatkozó politikát a paksi telephelyen található többi nukleáris létesítmény leszerelési politikájával összhangban, a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladékok kezelésére vonatkozó programok időütemezését figyelembe véve kell kialakítani.

Jelen KHT-ban Paks II. felhagyására az azonnali leszerelési opciót vesszük figyelembe, tekintettel a nemzetközi tendenciákra és a következő szempontokra:

- a jelenlegi jogszabályi előírások biztosítják, hogy a leszerelés költségei az üzemidő végére rendelkezésre fognak állni
- a leszerelés során keletkező radioaktív hulladékok végleges elhelyezésének biztosítása a rendelkezésre álló időtávon megoldható
- nem kell számolni a leszereléshez szükséges ismeretanyag elvesztésével.

A környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról szóló 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet alapján a leszerelési tevékenység önállóan is környezeti hatásvizsgálat köteles és az RHK Kft. feladatkörébe tartozik. A kormányrendelet alapján a leszerelési tevékenységekre előzetes vizsgálatot kell végezni és környezeti hatástanulmányt kell készíteni. A hatástanulmányt már a blokkok leállítása előtt az ún. előkészítő tevékenységek végzése során el kell készíteni, és jóváhagyásra be kell nyújtani a hatóságnak. Ezen kívül a leszerelési tevékenységhez az OAH hatáskörébe tartozó leszerelési engedélyt is be kell szerezni.

A 118/2011. (VII. 11.) Kormányrendelet szerint a nukleáris létesítmények létesítésének engedélyezése során el kell készíteni a létesítmény Előzetes Leszerelési Tervét, amelyet azután 5 évente aktualizálnia kell. Az előzetes leszerelési terv, majd annak aktualizált változatai több célt szolgálnak:

- bemutatják, hogy az adott időpontban, a rendelkezésre álló műszaki lehetőségek mellett a létesítmény leszerelése biztonságosan megvalósítható,
- lehetőséget adnak a különböző leszerelési opciók és alkalmazható technológiák összehasonlítására, a műszaki és gazdasági szempontból optimális megoldás megtalálására,
- a tervek alapján elvégezhető a leszerelési tevékenységek költségeinek becslése,
- az aktualizálások során egyre részletesebbé és pontosabbá váló terv lesz a leszerelési tevékenységek engedélyeztetésének alapja,

## 19.6 ALAPÁLLAPOT BEMUTATÁSA

A tervezett létesítmény a jelenleg üzemelő Paksi Atomerőmű létesítésekor felvonulási területként funkcionált területen valósul meg, barnamezős beruházként / fejlesztésként. A helyszínrajzon jelölt telepítési területen **jelenleg sem radioaktív hulladék, sem kiégett üzemanyag-kazetta kezelése nem zajlik.**

A kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladék kezelésének (ezen belül a radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére, valamint a kiégett üzemanyag átmeneti tárolására és a nukleárisüzemanyag-ciklus lezárására, továbbá a nukleáris létesítmények leszerelésére) pénzügyi fedezetét az Atomtörvény által létrehozott elkülönített állami pénzalap, a Központi Nukleáris Pénzügyi Alap biztosítja. Az új atomerőművi blokkok vonatkozásában a fenti tevékenységeket és költségbecsléseket – a meglévő létesítményeket is figyelembe véve – kell kidolgozni, mely alapján a leendő engedélyesnek a KNPA-ba történő befizetést az első blokk üzembe helyezését követő évben meg kell kezdenie.

Magyarországon két, a rövid élettartamú kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok befogadására tervezett tároló létesítmény üzemel:

- A Püspökszilágyban működő Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló egy felszíni kialakítású létesítmény, amely alapvetően a nem atomerőművi eredetű, rövid élettartamú kis- és közepes aktivitású hulladékok végleges elhelyezését szolgálja. A létesítmény részeként üzemelő átmeneti tároló fogadja be a nem atomerőművi eredetű hosszú élettartamú hulladékokat, melyeket a későbbiekben megvalósuló nagy aktivitású radioaktív hulladék-tárolóban kell majd véglegesen elhelyezni a biztonsági alapelvek betarthatósága érdekében.
- A Bataapátiban üzemelő Nemzeti Radioaktív hulladék-tárolóban, ami egy felszín alatti, de nem mélységi geológiai formációba telepített tároló, az atomerőművi eredetű, rövid élettartamú, kis- és közepes aktivitású, szilárd vagy szilárdított radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére kerül sor.

A nagy aktivitású radioaktív hulladék, a hosszú élettartamú kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladék, a kiégett nukleáris üzemanyag vagy a feldolgozott kiégett üzemanyag maradékaik végleges elhelyezésére alkalmas – mélységi geológiai – nagy aktivitású radioaktív hulladék-tároló telephelyének kiválasztására évek óta folynak felszíni kutatások a Nyugat-Mecsek térségében, a Bodai Aleurolit Formáció (BAF) területén, amely különösen alkalmasnak tűnik nagy aktivitású hulladék befogadására. 2004-ben elkészült a nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésére vonatkozó, 2008-ban a kutatás hosszú távú programjáról szóló koncepcióterv. 2010-ben zárult le a kutatás I. fázisának 1. szakasza. 2014-ben újraindulnak a kutatások a Nyugat-Mecsekben, ahol 2030-ra szeretnék kijelölni a földalatti laboratórium pontos helyét. A térségben lévő agyagos földben építenek előbb egy mélygeológiai laboratóriumot, majd itt alakítják ki azt a tárolót, amely a Paksi Atomerőműben keletkezett kiégett fűtőelemek és nagyaktivitású hulladékok végleges elhelyezésére szolgál.”

A paksi telephelyen létesülő új atomerőművi blokkok üzemeltetése során kiégett üzemanyag keletkezik, amit a reaktorok mellett elhelyezett pihentető medencékben tárolnak majd maximum 10 évig. A 2014. évi II. törvényben kihirdetett Egyezmény 7. cikk 2. pontja lehetőséget ad arra, hogy – a pihentető medencékben történő tárolást követően – az új atomerőművi blokkok üzemeltetése során keletkező kiégett üzemanyag technológiai tárolásra vagy technológiai tárolásra és újrafeldolgozásra Oroszországba kerüljön kiszállításra. A technológiai tárolás vagy újrafeldolgozás esetén a nagy aktivitású radioaktív hulladék tárolásának időtartama a hivatkozott egyezmény szerint 20 év a meghosszabbítás lehetőségével.

A nemzetközi tendenciáknak megfelelően Magyarországon is megjelent a nagyon kis aktivitású hulladékkategória (VLLW) bevezetésének igénye. Az új blokkok tervezett üzemideje alatt nagy valószínűséggel megvalósul a jogszabályi környezet oly irányú módosítása, amely lehetővé teszi e hulladéktípus végleges elhelyezésére alkalmas tároló létesítmény megvalósítását.

## **19.7 PAKS II. LÉTESÍTÉSÉNEK HATÁSA**

### **19.7.1 KÖZVETLEN HATÁSOK**

Közvetlen, a radioaktív hulladékok keletkezéséből, gyűjtéséből, kezeléséből, ártalmatlanításából eredő hatás a létesítés során nem várható. A mintegy 60 hónap létesítési idő nagyobb részében anyagvizsgálati céllal zárt sugárforrások kerülnek alkalmazásra. Ezek alkalmazása során nem kell radioaktív hulladékok keletkezésével foglalkozni. Amennyiben a zárt sugárforrásokra a továbbiakban nem lesz szükség, akkor azok végleges elhelyezésére az érvényes jogszabályok alapján kerül sor. Az első töltet a létesítés vége előtt 1 évvel érkezik a telephelyre.

### **19.7.2 KÖZVETETT HATÁSOK**

A létesítés során a radioaktív hulladékok tekintetében közvetlen környezeti hatás nem várható, így közvetett hatások kialakulásával sem kell számolni.

### **19.7.3 PAKS II. LÉTESÍTÉSÉNEK HATÁSTERÜLETEI**

Radioaktív izotópok emissziója radioaktív hulladékból a létesítés alatt nem várható, így annak közvetlen hatásai, valamint a hatásterület fogalma nem releváns, közvetett hatás (vonatkozó hatótényező hiányában) nem várható.

### **19.7.4 ORSZÁGHATÁRON ÁTTERJEDŐ KÖRNYEZETI HATÁSOK**

Az előbbi két alfejezetben leírtak alapján, a vonatkozó jogszabályi határértékek alatti, telephelyen belüli hatás sem alakul ki, így a radioaktív hulladékok gyűjtéséből, kezeléséből, tárolásából eredő, országhatáron átterjedő környezeti hatás hatásterületének megállapítása nem lehetséges, a kiváltó okok hiányában.

## **19.8 PAKS II. ÜZEMELÉSÉNEK VÁRHATÓ HATÁSAI**

### **19.8.1 NORMÁL ÜZEMELÉS**

A tervezett blokk típus tervezése során már kiemelt figyelmet fordítottak arra, hogy a korábbi technológiai megoldásokhoz képest az üzemeltetés folyamán kisebb mennyiségű radioaktív hulladék képződjön. A primerköri rendszerek kialakítása és a technológia nagyobb tömörsége miatt a kis- és közepes aktivitású hulladékok mennyisége jelentősen kevesebb lesz, mint amennyi a jelenlegi Paksi blokkokon keletkezik.

Az egyes kategóriákba tartozó anyagféleségek, eszközök, berendezések keletkezési gyakorisága és mennyisége nagyban függ a reaktor kampányidőszakának hosszától, valamint a tervezett és nem tervezett leállások számától, a karbantartások, szerelések által érintett rendszerektől. A keletkező, nagyrészt kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok mennyiségi eloszlása kis mértékben függ a reaktorteljesítmény változásától, változtatásától.

Az új blokkok rendszereit úgy tervezték, hogy az üzemidő alatt keletkező radioaktív hulladékokat képes legyen feldolgozni úgy, hogy a szilárd, folyékony és gáznemű kibocsátások szintje az ésszerűen elérhető legalacsonyabb legyen. A tervezés során figyelembe vették az eddig felhalmozódott tapasztalatokat, tervezett élettartam alatt a költségek és rendelkezésre álló tárolókapacitások változását is. Ha szükséges a meglévő rendszerek később kiegészíthetők, átalakíthatóak.

A radioaktív hulladékok gyűjtésének, kezelésének, valamint átmeneti és végleges tárolásának technológiai lépései, a jelenlegi ismereteink szerint általánosságban követni fogják a Paksi Atomerőműben, az azonos típusú hulladékokra vonatkozó, hatályos eljárásrendet. Természetesen a speciális kezelő berendezések (szuperkompaktor, nagy aktivitású hulladéktároló konténerek stb.) és egyedi hulladékformák (porszerű ionszelektív szorbensek, oldószeres) esetén lesznek eltérések a kapcsolódó részfolyamatokban, de a gyűjtés, kezelés, kondicionálás teljes folyamata a már meglévő tapasztalatokra és követelményekre (hulladék átvételi követelmények, sugárbiztonsági normák, azok ellenőrzése stb.) fog épülni.

### 19.8.1.1 Radioaktív hulladékok várható mennyisége és megoszlása

#### 19.8.1.1.1 Kis, közepes és nagy aktivitású szilárd radioaktív hulladékok

Szilárd radioaktív hulladékok keletkeznek a normál üzemelés során a folyékony és gáz halmazállapotú radioaktív hulladékok tisztítása, kezelése céljára létesített rendszerekből, a karbantartási munkák során és esetleges üzemzavarok következtében.

Két típusú szilárd radioaktív hulladék keletkezése várható:

1. szilárd radioaktív hulladék:
  - reaktorból eltávolított berendezések és azok alkatrészei (szabályzórud mozgó berendezés alkatrészei, hőmérők, ionizáló kamrák jelátalakítói és azok vezetékei, stb.)
  - szennyezett, szétszerelt nem javítható eszközök, csőszakaszok, szelepek
  - szennyezett szerszámok és alkatrészek,
  - a gáztisztító és a légtechnika szennyezett kimerült aeroszol és jód szűrői
  - szennyezett munkaruhák, lábbelik, eldobható egyéni személyi védőeszközök, amelyek nem kerülnek kimosásra (dekontaminálásra)
  - szennyezett épület szerkezetek, hőszigetelő anyagok.
2. szilárdított folyékony radioaktív hulladék.

Az egy blokkon évente keletkező szilárd radioaktív hulladékok kezelés előtti átlagos mennyisége látható a 19.8.1-1. táblázatban.

Szilárd hulladék típusa	Hulladék mennyisége [m <sup>3</sup> /év]
Kis aktivitású	70
Közepes aktivitású	11
Nagy aktivitású	0,5
Nagyméretű, nem kezelhető (karbantartás / javítás során képződő)	5

19.8.1-1. táblázat: Keletkező radioaktív, szilárd hulladékok éves becsült mennyisége, blokkonként [19-28]

Az évente keletkező szilárdított folyékony radioaktív hulladékok átlagos mennyisége (figyelembe véve a térfogatcsökkentő technológiák hatását is):

- 20 m<sup>3</sup> cementezett bepárlási maradék;
- 8 m<sup>3</sup> cementezett elhasznált ioncserélő gyanta.

### 19.8.1.1.2 Folyékony radioaktív hulladékok

Az erőmű teljes üzemideje alatt keletkezik folyékony radioaktív hulladék, ami szerves és szervetlen összetevőket is tartalmazhat. Az atomerőmű üzemelése során a következő folyékony radioaktív hulladékok keletkeznek:

- berendezések, szerelvények, csővezetékek és helyiségek dekontaminálásából származó vizek
- speciális vízkezelő rendszerek szűrőinek regeneráló, lazító, szállító vizei és a rendszerek ürítései és esetleges szivárgásai
- folyékony hulladék bepárlók tisztító és öblítővizei
- mintavételezések és laboratóriumok folyékony hulladécai
- berendezések, csőszakaszok, szerelvények ürítései és esetleges szivárgásai
- a primerköri öltözőből származó zuhanyvizek és a speciális mosoda vizei.

A folyékony radioaktív hulladékok tisztítása, kezelése során másodlagos folyékony radioaktív hulladékok is keletkeznek:

- bepárlási maradék
- elhasznált ioncserélő gyanták
- iszap és szervetlen izotópszелеktív szorbens.

Az egy év alatt keletkező folyékony radioaktív hulladékok mennyisége egy blokkon, normál üzemi körülmények mellett a következő:

- bepárlási maradék 25 m<sup>3</sup>/év
- ioncserélő gyanta 10 m<sup>3</sup>/év
- feliszapoló szűrő iszap 0,1 m<sup>3</sup>/év
- csurgalékvíz iszap 0,5 m<sup>3</sup>/év.

### 19.8.1.1.3 Végleges elhelyezésre kerülő hulladékmennyiség

A megvalósítandó Paks II. reaktor blokkjainak teljesítményüzeme során képződő kis-, közepes- és nagy aktivitású, szilárd hulladékok évi, blokkonkénti becslött mennyiségi megoszlása a következő 19.8.1-2. táblázatban látható. A végleges elhelyezésre kerülő hulladékmennyiség becslésénél figyelembe vételre került az új blokkokkal együtt létesítendő hulladékkezelési és kondicionálási technológiák alkalmazásának hatása is.

Hulladék	Hulladék mennyisége [m <sup>3</sup> /év]	Hulladék mennyisége kezelés (szilárdítás, aprítás, stb.) után [m <sup>3</sup> /év]	Tárolandó / kezelendő egységek száma
Kis aktivitású szilárd	70	28	140 hordó
Közepes aktivitású szilárd	11	4	20 hordó
Nagy aktivitású szilárd	0,5	-	5 kapszula
Nagyméretű, nem kezelhető (karbantartás/javítás során képződő)	5	-	-
Cementezett bepárlási maradék	25	20	100 hordó
Cementezett ioncserélő gyanta	10	8	40 hordó
Cementezett iszap	0,6	0,5	3 hordó

19.8.1-2. táblázat: Keletkező radioaktív, szilárd hulladékok éves becslött mennyisége, blokkonként [19-28]

A tervezett, legalább **60 év üzemidő alatt, 2 blokk esetén** képződő különböző aktivitás-koncentrációjú hulladéktípusok mennyisége a 19.8.1-3 táblázatban található.

Hulladék típusa	Hulladék mennyisége [m <sup>3</sup> /60 év]	Hulladék mennyisége kezelés (szilárdítás, aprítás, stb.) után [m <sup>3</sup> /60 év]	Tárolandó / kezelendő egységek száma
Kis aktivitású	8 400	3 360	16 800 hordó
Közepes aktivitású	1 320	480	2 400 hordó
Nagy aktivitású	60	-	600 kapszula
Nagyméretű, nem reprocesszálható (karbantartás / javítás során képződő)	600	-	-
Cementezett bepárlási maradék	3 000	2 400	12 000 hordó
Cementezett ioncserélő gyanta	1 200	960	4 800 hordó
Cementezett iszap	72	60	300 hordó

19.8.1-3. táblázat: Keletkező radioaktív, szilárd hulladékok üzemidő alatti becsült mennyisége, 2 blokkra

### 19.8.1.2 Kiégett fűtőelem-kazetták várható mennyisége

A szállítói adatok szerint ez egy blokk esetében 3 135 db, két blokkal számolva 6 270 db kiégett üzemanyag-kazetta keletkezését jelenti. A 18 hónapos kampányok során blokkonként 76 db kiégett fűtőelem kazetta keletkezik.

A blokkok ismert adatai alapján megbecsülhető a teljes üzemidő alatt keletkező kiégett üzemanyag mennyisége. UO<sub>2</sub> üzemanyaggal és 60 éves üzemidővel számolva a megadott adatok szerint 1 674 t kiégett üzemanyag keletkezik egy reaktorban, két blokkal számolva ez 3 348 t.

### 19.8.1.3 Kis, közepes és nagy aktivitású hulladékok gyűjtése, kezelése, tárolása

#### Kis- és közepes aktivitású szilárd radioaktív hulladékok

Az új atomerőmű ellenőrzött zónájában keletkező szilárd hulladékok már a keletkezés helyén **szelektíven kerülnek gyűjtésre**. A hulladékok **válogatására** annak radiológiai paraméterei alapján kerül sor, figyelembe véve a további hulladékkezelési módszereket is:

- potenciálisan inaktív hulladék
- kis aktivitású hulladék kompaktálásra
- kis aktivitású nagyméretű, nem darabolható
- közepes aktivitású hulladék kompaktálásra
- közepes aktivitású nagyméretű fém hulladék
- közepes aktivitású nem kezelhető hulladék.

A potenciálisan inaktív hulladékok **radiológiai minősítést** követően **felszabadításra** kerülnek, és további kezelésük hagyományos hulladékként történik.

A kis aktivitású hulladékok azon része, amely izotóptartalma a **radiológiai minősítés** alapján legfeljebb 10 év alatt eléri a felszabadítási korlátokat, csomagolást követően elkülönített **átmeneti tárolásra** kerül. Ha a hulladék izotóptartalma a radioaktív bomlás következtében elérte a felszabadítási korlátot, akkor újabb radiológiai minősítés után a hulladék felszabadításra kerül.

A tömöríthető hulladékok **kompaktálásra** kerülnek, ezzel csökkentve a végleges elhelyezésre kerülő hulladékok térfogatát. A kompaktált hulladékok **átmeneti tárolásra** kerülnek, majd azt követően szükség esetén **kondicionálásra** (az NRHT-ban elhelyezhető hulladékforma kialakítása, pl. konténerbe helyezés és cement kitöltés).

A kondicionált hulladékok rövid idejű átmeneti tárolást követően átadásra kerülnek az NRHT-ban történő **végleges elhelyezésre** az RHK Kft-nek.

A kis aktivitású nagyméretű, nem darabolható hulladékok elkülönítetten kerülnek átmeneti tárolásra. 10 éves átmeneti tárolást követően a radiológiai tulajdonságaik függvényében kerülnek további kezelésre:

- felszabadítás
- dekontaminálás, majd felszabadítás
- darabolás után kompaktálás vagy cement mátrixba ágyazás.

### Nagy aktivitású szilárd hulladékok

A karbantartási munkák során keletkező nagy aktivitású szilárd hulladékok **csomagolás**ra kerülnek. A nagy aktivitású hulladékok **térfogatcsökkentés**ére is sor kerül, amennyiben a hulladék tulajdonságai azt lehetővé teszik.

A nagy aktivitású hulladékcsomagok **átmeneti tárolása** az erre a célra kialakított tárolóban a blokkok leszereléséig, vagy a nagy aktivitású hulladék-tároló üzembe lépéséig történik.

Az átmeneti tárolást követően a nagy aktivitású radioaktív hulladékok átadásra kerülnek az RHK Kft-nek **végleges elhelyezés** céljából.

### Folyékony radioaktív hulladékok

A primerköri rendszerek tervezése során elsődleges szempont az erőmű üzemeltetése során keletkező folyékony radioaktív hulladékok **mennyiségének** optimalizálása annak érdekében, hogy a végleges elhelyezésre kerülő radioaktív hulladékok mennyisége minimális legyen. A radioaktív hulladékok **forrásoldali mennyiségének csökkentése** érdekében:

- a keletkező folyékony hulladékok **gyűjtése és feldolgozása szelektíven** történik, a hulladék összetételének és aktivitástartalmának megfelelően
- vegyszerfelhasználás minimalizálása (az alacsony sókoncentrációjú, de magas aktivitástartalmú ioncserélő szűrők nem kerülnek regenerálásra)
- alacsony folyékony hulladék-képződéssel járó dekontaminálási módszerek alkalmazása
- a potenciálisan inaktív vagy alacsony aktivitású folyékony hulladékokból a radioizotópok eltávolítása ion-szelektív szerves szorbensekkel, és a tisztított folyadék kibocsátása.

Fentieknek köszönhetően normál üzemben az éves kezelendő csurgalékvíz mennyiség szignifikánsabban alacsonyabb, mint a korábbi tervezésű VVER440-es blokkokon.

A bórsav tartalmú ürítések, légtelenítések, szervezett szivárgások külön kerülnek gyűjtésre, kezelésre, majd ismételt felhasználásra. Ezzel a **bórsav csurgalékvizekbe kerülése minimális lesz**, ezáltal is csökkentve a folyékony radioaktív hulladékok térfogatát.

A gőzfejlesztő leiszapolások tisztító rendszeréből származó ioncserélő gyanta regeneráló, lazító oldatok, a speciális mosoda vizei és a primerköri öltöző zuhanyvizei aktivitástartalmuktól függően kezelés nélkül, vagy szelektív szorbensekkel való tisztítás után **kibocsátásra** kerülnek az ellenőrzött zónából.

A radioaktív csurgalékvizek **térfogatcsökkentést** követően kerülnek **kondicionálásra** (szilárdításra) oly módon, hogy a végtermék kielégítse az NRHT-ban történő végleges elhelyezésre vonatkozó kritériumokat.

A radioaktív csurgalékvizek térfogatcsökkentése során keletkező kondenzátumok megfelelő kémiai és radiológiai összetétel esetén ismételt felhasználásra kerülnek a primerkörben, vagy mérlegen felüli vízként kibocsátásra kerülnek a környezetbe.

A folyékony radioaktív hulladékok tisztítása, kezelése során másodlagos folyékony radioaktív hulladékok keletkeznek, amelyek szintén kondicionálásra kerülnek oly módon, hogy a végtermék kielégítse a végleges elhelyezésre vonatkozó kritériumokat.

A kondicionált hulladékok **átmeneti tárolást** követően átadásra kerülnek az NRHT-ban történő **végleges elhelyezésre** az RHK Kft-nek.

#### 19.8.1.3.1 Szilárd radioaktív hulladék-kezelő rendszer

A szilárd radioaktív hulladék-kezelő rendszer feladata az erőmű normál és üzembiztos üzemállapota során keletkező szilárd radioaktív hulladékok, valamint a folyékony hulladék-szilárdító rendszerből származó szilárdított hulladékok kezelése. Alapvető célja, hogy a szilárd hulladékokat megfelelő módon gyűjtse, osztályozza, valamint a tároló kapacitás jó kihasználása érdekében, a lehető legkisebb térfogatba hozza. A szilárd radioaktív hulladékok kezelésével az



atomerőmű élettartama alatt és leszereléskor biztosított a jogszabályok által megkövetelt mértékben a radioaktív anyagok környezetbe való kijutásának megakadályozása. A szilárd radioaktív anyagokat a végleges tárolóba történő szállításhoz előkészíti.

A tervezés során a következő biztonsági, és egyéb kritériumok lettek figyelembe véve:

- A rendszer üzemeltetése és karbantartása során a személyzetre a szabványokban és előírásokban meghatározott dóziskorlátok biztosíthatóak legyenek.
- A helyiségek levegőjében és a környezeti elemekben kialakuló aktivitás-koncentrációk a megengedett értékek alatt maradjanak, ezzel biztosítsák az üzemeltető személyzet és a lakosság inkorporációjából eredő dózisterhelésének elfogadható szintjét.
- A rendszerek valószínűsíthető meghibásodásai, illetve elhárításuk ne vezessen a fenti kritériumok teljesíthetlenségéhez.
- A hulladékfeldolgozás szempontjából osztályozni kell a hulladék közegeket, aktivitás, halmazállapot, tűzveszélyesség, toxikusság, egyéb tulajdonság figyelembe vételével.
- A szilárd radioaktív hulladékok kezelésének kialakításánál olyan műszaki gátakat kell beépíteni, amelyek biztosítják, hogy az összegyűjtött szilárd radioaktív hulladék a környezetbe nagy biztonsággal ne kerüljön ki.
- A radioaktív hulladékokat kezelő rendszereket és az alkalmazott eljárásokat úgy kell megtervezni, hogy a végtermékként keletkező radioaktív hulladék megfelelően a szállítási, átmeneti tárolási, valamint a végső elhelyezés átvételi követelményeinek
- A szilárd radioaktív hulladékok kezelésénél törekedni kell arra, hogy az optimálisan elérhető legkisebb térfogatban legyen tárolva a hulladék.

### Szilárd hulladékok gyűjtése

A fenti kritériumok alapján kialakított hulladékgyűjtési rendszer alapvető műszaki és szervezési elvei a következők:

- A kis és közepes aktivitású szilárd radioaktív hulladék gyűjtése és válogatása a keletkezés helyén figyelembe veszi a sugárzási szinteket, valamint ez alapján dől el a későbbi kezelés módja is.
- A hulladék által kibocsátott sugárzás ellenőrzését a sugárzás ellenőrző szervezet végzi hordozható eszközökkel, amelyek szükség szerint alfa, béta sugárzás kimutatására is alkalmasak.
- A kiporzás elkerülése érdekében a hulladékot eldobható gyűjtőedénybe / zsákba kell tölteni. Ezután az edényt / zsákot azonosítóval kell ellátni a további kezelésekhöz.
- A kis aktivitású hulladékot tartalmazó zsák / csomag azonosítóján fel kell tüntetni a további kezelés módját (pl. tömörítésre, felszabadításra stb.), egyértelmű utasításokat feltüntetve. A csomagokat elkülönített fehér konténerben kell gyűjteni.
- A közepes aktivitású hulladékok gamma dózisteljesítmény szintje 0,4 mGy/h a felülettől 0,1 m-re. Ez esetben fel kell tüntetni az aktivitás mértékét is.
- A felülettől 0,1 m-re 10 mGy/h alatti gamma dózisteljesítményű csomagokat biológiai védelem nélküli, 200 dm<sup>3</sup>-es fém edényben kell gyűjteni, amelyek a későbbi átmeneti tárolásra is alkalmasak az erőmű területén. Gondoskodni kell a fém tárolók elkülönítéséről és elzárásáról úgy, hogy az alkalmazott védelmi intézkedések hatására a tároló környezetében a megengedhető szintnél ne legyen nagyobb a sugárterhelés. Amennyiben szükséges a tárolóedényt burkolni kell árnyékoló réteggel, a dózisteljesítmény csökkentése érdekében.
- A nagyméretű, kis aktivitású hulladékok, amelyek nem apríthatók, illetve méretük nem csökkenthető, tárolását egy elkülönített helyiségben kell végezni, a megfelelő védelmi intézkedések mellett. Szállításhoz ezeket a tárgyakat fóliával kell bevonni.
- A primerkörből származó nagy aktivitású szilárd radioaktív hulladékot elszállítás előtt megfelelő kapszulába / tartóba kell helyezni, amit árnyékoló konténerbe kell tenni, így szállítható a kezelő épületbe a megfelelő szállítójárművel.

### Szilárd hulladékok felszabadítása

A potenciálisan inaktív hulladékok gyűjtése szelektíven történik. A hulladék radiológiai minősítése (aktivitástartalom mérése gamma-spektrometriával, felületi szennyezettség mérés) után, határérték alatti eredmény esetén felszabadításra kerül. Ellenkező esetben a hulladékot radioaktív hulladékként kell kezelni.

A felszabadítás lehet feltétel nélküli vagy feltételes, a hulladék jellemzői alapján. Feltétel nélküli felszabadítás esetén a hulladék további kezelése, hasznosítása, ártalmatlanítása további köztöttségek nélkül, tetszőlegesen történhet. Feltételes felszabadítás esetén a hulladékot a hatósági engedélyben szereplő feltételek betartásával lehet hasznosításra, ártalmatlanításra átadni. A felszabadított hulladékok kiszállításra kerülnek az ellenőrzött zónából.

### **Szilárd hulladékok csomagolása**

A kis- és közepes aktivitású hulladékok esetén a legelterjedtebb módszer a hulladék fémhordóba csomagolása. A módszerhez kapcsolódó kezelési elvek a következők:

- A hulladékcsomagok elsődleges osztályozása a felületi gamma dózis-teljesítmény értékek alapján történik. A mért érték alapján dől el, hogy az adott hulladékdarab potenciálisan átmeneti tárolásra kerülhet-e aktivitáscsökkentés céljából.
- Mivel a magyar szabályozás alapja az izotóp összetétel, a pontos izotópleltár meghatározását izotóp szelektív hulladékminősítő rendszerrel (pl. szegmentált gamma szkennelrel) végzik. A további kezelés előtt gamma-spektrometriával minősítésre kerülnek a felületi gamma-dózis-teljesítmény alapján várhatóan aktivitáscsökkentés céljából átmeneti tárolásra kerülő hulladékok.
- A reaktoraknából, és a primerköri rendszerekből származó nagy aktivitású hulladékot a reaktorépülethez tartozó speciális eszközök segítségével helyezik biológiai védelemmel ellátott kapszulába, és szállító konténerben szállítják a kezelő épületbe, ahol a szállító konténerből biztonságosan áthelyezhető az árnyékolt tároló helyre.

### **Szilárd hulladékok tárolása az aktivitástartalom csökkentése céljából**

A hulladékok pontos izotópleltárának ismerete a további térfogatcsökkentési lépések előtt lehetővé teszi annak megítélését, hogy az adott hulladékcsomag maximum 10 éves átmeneti tárolás után várhatóan elérje-e a felszabadítási korlátokat. Amennyiben igen, akkor a hulladékcsomag további kezelés nélkül, elkülönített módon átmeneti tárolásra kerül az aktivitástartalom csökkentése és későbbi felszabadítás céljából.

Azok a hulladékcsomagok, amelyek izotóptartalma a számítások szerint az átmeneti tárolás során elérte a felszabadítási szintet, ismételt minősítést követően felszabadításra kerülhetnek.

A hulladékok pontos izotópleltárának ismerete annak megítélését is lehetővé teszi, hogy az adott hulladék az átmeneti tárolás során elérje-e majd a nagyon kis aktivitású hulladékokra vonatkozó aktivitás értékeket. Amennyiben ez megtörténik, akkor az átmeneti tárolás időtartamának megfelelő megválasztásával elérhető, hogy a hulladék az NRHT helyett – amennyiben rendelkezésre fog állni – VLLW tárolóban kerüljön végleges elhelyezésre. Amennyiben erre lehetőség lesz, akkor a hulladékcsomag további kezelés nélkül, elkülönített módon átmeneti tárolásra kerül. Az átmeneti tárolást követő ismételt minősítés után a végleges elhelyezés VLLW tárolóban történhet.

### **Szilárd hulladékok térfogatcsökkentése**

A szilárd hulladékok térfogatcsökkentésére a szuperkompaktálási technológia került kiválasztásra az elérhető térfogatcsökkentési tényező, a végtermék kedvező tulajdonságai és az üzemeltetési tapasztalatok alapján. A szuperkompaktálásra kerülő hulladékok 165 dm<sup>3</sup>-es hordóba kerülnek. A szuperkompaktálás eredményeként kapott pelleteket 200 dm<sup>3</sup>-es hordóba helyezi, oly módon, hogy a hordók a legnagyobb mértékben ki legyenek töltve. A hordók ezután lezárásra kerülnek. A lezárt hordók radiológiai minősítést követően átmeneti tárolóba kerülnek.

A nem szuperkompaktálható, nagyméretű fém hulladékok darabolást követően 200 dm<sup>3</sup>-es hordóba kerülnek optimális elrendezésben, a térfogat maximális kihasználása érdekében. A hordókba helyezett hulladék kondicionálása cementbe ágyazással történik, amely a folyékony radioaktív hulladékok szilárdító rendszerével végezhető el.

### **Szilárd hulladékok átmeneti tárolása**

Az átmeneti tárolásra előkészített hulladékcsomagok tárolására a következők szerint kerül sor:

- A megfelelő azonosító jelzéssel ellátott, méretcsökkentett, tömörített kis- és közepes aktivitású hulladékok az erőmű területén 10 évig tárolhatók a radioaktív hulladéklerakóra történő kiszállítás előtt.
- A nagyméretű, kis aktivitású hulladékok tárolása elkülönített helyiségben történik, műanyag fóliába csomagolva, vagy egyedi burkolattal ellátva. Így amíg a hulladék további feldolgozása el nem kezdődik a tárolása biztosítható (legfeljebb 10 évig).

- A reaktoraknából, és a primerköri rendszerekből származó nagy aktivitású hulladék az erőmű teljes üzemideje alatt tárolható, a leszerelésig.
- A tárolóban lévő hulladékok állapota, sugárzási jellemzői időszakonként vizuális / személyes észleléssel és műszeres méréssel ellenőrizhetők.

### Végleges elhelyezés

A fentiekben ismertetett kezelési lépések következtében előálló szuperkompaktált vagy cementbe ágyazott hulladékcsomag megfeleltethető a végleges elhelyezésre vonatkozó átvételi kritériumoknak. Szükség esetén azonban lehetőség lesz a hulladékok NRHT-ban elhelyezhető geometriájú, 4 db 200 dm<sup>3</sup>-es hordót tartalmazó vékonyfalú acélkonténerbe csomagolására és a hordók közötti szabad térfogat inaktív vagy aktív cementpéppel történő kitöltésére.

#### 19.8.1.3.2 Folyékony radioaktív hulladék-kezelő rendszer

A tervezett atomerőmű üzemeltetése során keletkező folyékony hulladékok gyűjtésére, kezelésére, tárolására, kondicionálására a következő rendszerek lesznek kiépítve:

- csurgalékvíz gyűjtő és kezelő rendszer
- kis aktivitású hulladékvizek kezelő rendszere
- folyékony hulladék-tároló rendszer
- folyékony hulladék-szilárdító rendszer

#### Csurgalékvíz gyűjtő és kezelő rendszer

A rendszer célja összegyűjteni és kezelni az erőmű működése során képződő folyékony radioaktív közegeket. E rendszer feladatai:

- radioaktív csurgalékvizek összegyűjtése
- csurgalékvizek bepárlása
- kondenzátumok kibocsátása, mint mérlegen felüli víz.

A rendszer feladata a következő primerköri épületek speciális csatornarendszerébe kerülő hulladékvizek gyűjtése:

- segédépület
- reaktor épület
- egészségügyi épület
- biztonsági rendszerek épülete.

A csurgalékvíz zombban összefolyó vizeket egy szivattyú emeli egy kétcellás ülepítő tartályba, ahol az iszapok nagy része kiülepedik. A folyadék fázist ezután egy hidrociklonba vezetik, ahol teljesen szétválasztják a szilárd és folyadék fázist.

Az ülepítő tartály iszapgyűjtő cellájából és a hidrociklonról elvezetett iszapos fázist időnként átszivattyúzzák a hulladékszilárdító rendszer gyűjtőtartályába.

A folyadékfázist gyűjtőtartályba vezetik. A tartályban történik meg a bepárlás előtti vegyszeres kezelés (NaOH adagolás), majd a folyadék a bepárlóba kerül. Mivel a bórsav oldhatósága viszonylag alacsony a pH emelésével elérhető, hogy a nátrium-borát oldat 400 g/dm<sup>3</sup> össz sótartalomig bepárolható, jelentősen csökkentve így a folyékony radioaktív hulladékok térfogatát.

A bepárlóból elvezett koncentrált oldatot mechanikus szűrőkön keresztül gyűjtőtartályba vezetik.

A bepárló fejtermékét (ami gyakorlatilag desztillált víz), egy utókondenzátoron lehűtik és ioncserélő szűrőkön keresztül a kibocsátó tartályokba továbbítják. A nem kondenzálódó gázokat / gőzöket a gáztisztító rendszerbe vezetik.

#### Kis aktivitású hulladékvizek kezelő rendszere

A rendszer az egészségügyi épület zuhanyzóiban és a speciális mosodából származó, „feltétezhetően tiszta”, várhatóan nagyon alacsony radioaktivitású oldatokat gyűjti. Ide kerülnek segédépületben keletkező „feltétezhetően tiszta” szennyvizek (regeneráló oldatok, lazító vizek stb.) is.

A tartályból vett vízminta elemzése után a tartály tartalma feltételesen kibocsátható ellenőrző tartályba emelhető át, ahonnan az elemzés eredményétől függően, ha a fajlagos aktivitás:

- nem éri el a kibocsátási határértéket, akkor kibocsátható a csatornahálózatba
- ha határérték feletti az ellenőrző tartály tartalma, akkor további tisztítás céljából a szelektív ioncserélőkre vezetik.

A szelektív ioncserélők alkalmasak a hulladékvizek nagyfokú tisztítására. Az alkalmazott szervesen kationcserélő töltetek a cézium, kobalt és a hozzájuk hasonló szorpciós jellegű ionok megkötésére alkalmasak  $10^2$ - $10^4$  dekontaminációs tényezővel.

A tisztított vizet, mintavételt követő mérések eredményétől függően:

- ha aktivitás koncentrációja megfelel a határértékeknek, kibocsájtják a környezetbe,
- ha nem, akkor a primerköri csurgalékvíz kezelő rendszerbe vezetik.

A rendszer tartályai úgy vannak méretezve, hogy három hónapig tudják tárolni a folyadékot, ez idő alatt a rövid felezési idejű radionuklidok jelentős része lebomlik, ha nem várt szivárgásból származó radioaktív szennyező (pl.  $^{131}\text{I}$ ) kerülne a rendszerbe).

### Folyékony hulladék-tároló rendszer

Az atomerőmű (és a hulladékkezelő rendszerek) üzemeltetése során keletkező radioaktív hulladékvizeket a további kezelés szempontjainak megfelelően gyűjtik.

Az alábbi csoportosításba kerülnek gyűjtésre a keletkező hulladékok:

- sűrítmények (koncentrált bórsavoldatok)
- ioncserélő gyanták és ionszelektív szorbensek
- iszapok
- primerköri speciális víztisztító rendszerek inaktív ioncserélő gyantái.

A folyékony radioaktív hulladék tároló rendszer feladatai:

- a folyékony radioaktív hulladék kezelő rendszer bepárlási maradékának átvétele és eljuttatása a szilárdító rendszerbe
- a kimerült ioncserélő gyanták és ionszelektív szorbensek fogadása és eljuttatása a szilárdító rendszerbe
- kimerült kis aktivitású gyanták fogadása és ellenőrzése
- nem radioaktív ioncserélő gyanták fogadása, víztelenítése és felszabadítást követő eltávolítása.

Az ioncserélő gyanták és a kitarolásukra használt transzportvíz tárolására szolgáló tartályok kapacitását úgy alakítják ki, hogy azok három hónapig tudják tárolni a folyadékot, ez idő alatt a rövid felezési idejű radionuklidok jelentős része lebomlik. A rendszer alkalmas a kiszállított gyanta szállító víztől történő elválasztására. A rendszerben lévő tartályokból a szállító vizet a csurgalékvíz kezelő rendszernek továbbítják

### Folyékony hulladék szilárdító rendszer

A rendszer feladata (cementezési eljárással) a folyékony radioaktív hulladék feldolgozása és egységterfogatra (hordó) hozása.

A segédépületben telepített rendszer mind normál üzemben, mind baleseti szituációban alkalmas a hulladékok kondicionálására.

A technológia alkalmas a hulladék átvételi követelményeknek megfelelő végtermék készítésére a következő folyékony hulladékokból:

- 400 g/l koncentrációjú sűrítmények
- ioncserélő gyanták
- iszapok és szervesen szorbensek.

Az alkalmazott 200 dm<sup>3</sup>-es hordók feltöltésekor lehetőség van szilárd radioaktív hulladék behelyezésére is, aktív és inaktív cement réskitöltéssel.

Végleges elhelyezésre kerülő szilárdított folyékony radioaktív hulladékok térfogatának minimalizálása érdekében a szilárdító rendszer része egy, az ioncserélő gyanták hőbontására szolgáló rendszer, és egy mélybepárló rendszer a bepárlási maradékok cementezés előtti továbbűritésére.

#### 19.8.1.4 Kiégett fűtőelem-kazetták kezelése, tárolása

A kiégett fűtőelem-kazetták a reaktorból történő eltávolítást követően a pihentető medencébe kerülnek, ahol biztosított a remanens hő eltávolítása, míg annak mértéke le nem csökken arra az értékre, hogy a fűtőelem száraz átmeneti tárolásra alkalmas legyen. A pihentető medencében a fűtőelem-kazetta maximum 10 évet tölthet el.

A pihentető medencében történő tárolást követően a kiégett fűtőelemek átmeneti tárolásra kerülnek. Erre jelenleg két lehetőség áll rendelkezésre:

- a használt fűtőelem-kazettákat az Oroszországi Föderáció területére szállítják ideiglenes technológiai tárolás vagy technológiai tárolás és reprocessálás céljából. A használt fűtőelem-kazettákat, vagy reprocessálás esetén a nukleáris hulladékot Oroszországi Föderáció területén tárolják ugyanannyi időn keresztül, amely időtartamot a 7. cikk 1. bekezdésében említett megállapodás (szerződés) előír a nukleáris fűtőanyag ellátásra (20 év), ezt követően visszaszállítják Magyarországra
- a használt fűtőelem-kazetták hazai átmeneti tárolása.

Az új blokkok tervezett üzemidejét és az államközi szerződésben rögzített időtartamokat tekintve a kiégett üzemanyag-kazetták átmeneti tárolására a **hazai átmeneti tárolást** vesszük figyelembe, a blokkok telephelyén vagy annak közvetlen szomszédságában. Az átmeneti tárolás addig tart, míg a kazetták közvetlen végleges elhelyezése, vagy a kazetták reprocessálásából származó nagy aktivitású hulladékok hazai végleges elhelyezése nem biztosított.

Az átmeneti tárolást követően a kiégett fűtőelem-kazetták közvetlen hazai végleges elhelyezésével számolunk, tekintettel a következőkre:

- az Atv. szerint a Magyarországon keletkezett hulladék külföldi végleges elhelyezése esetére előírt feltételek egyike – miszerint radioaktív hulladék-tárolójának üzemeltetését a szállítandó radioaktív hulladékokra engedélyezték, már a szállítást megelőzően is üzemeltették – jelenleg nem teljesül
- a tervezett üzemidő hossza miatt az egyéb lehetőségek hosszú távú megvalósíthatósága megkérdőjelezhető, jelentős kockázataik vannak

#### Pihentetés

A nukleáris üzemanyag / fűtőelem tároló és kezelő rendszer feladata a szállítás, a tárolás, összefoglalóan a friss és kiégett üzemanyag felügyelete a telephelyre érkezéstől a kiszállításig. E rendszer tartalmazza mindazon eszközöket és eljárásokat, amelyek az üzemanyaggal kapcsolatos feladatainak ellátásához szükséges a létesítményen, valamint a konténmenten belül.

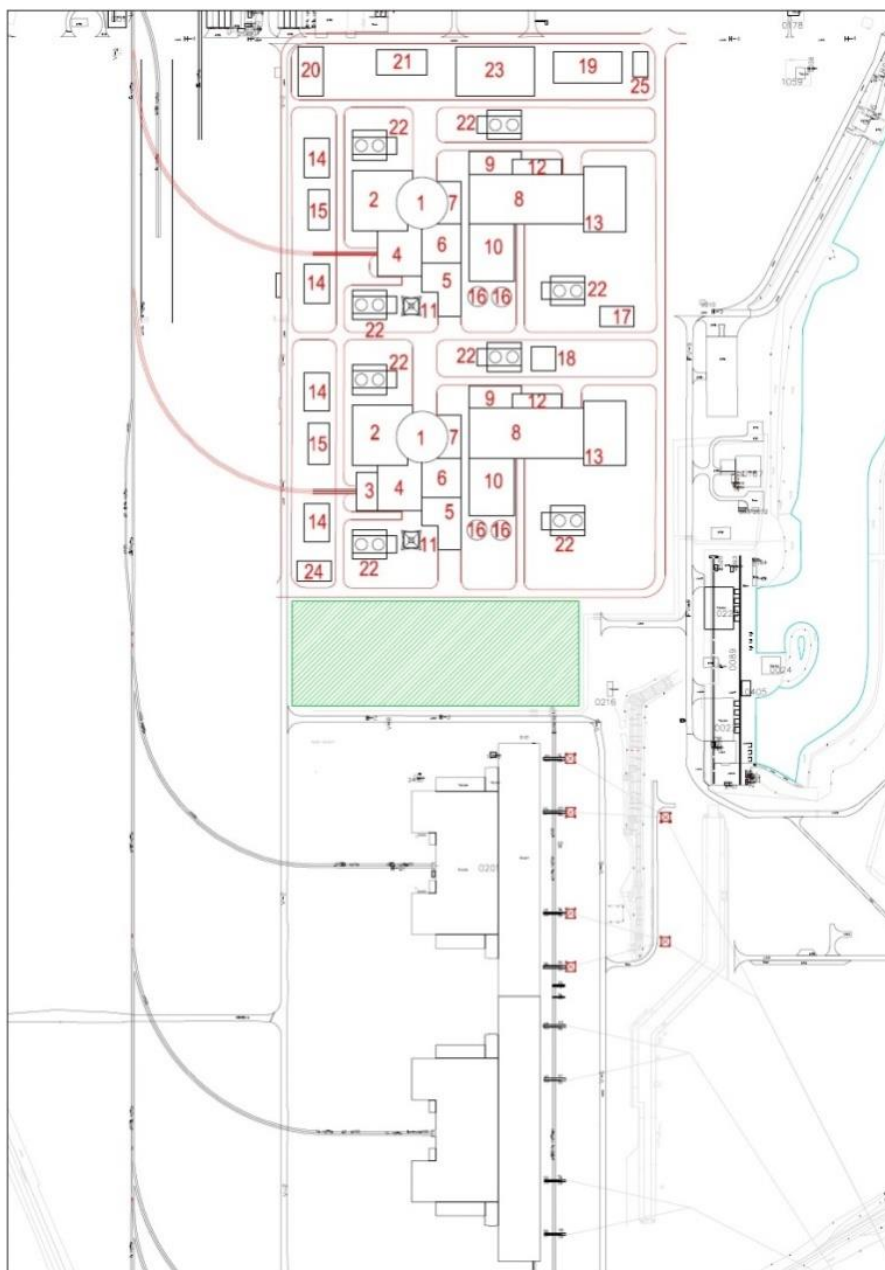
A fűtőelem kezelő és tároló rendszer által ellátott funkciók a kiégett üzemanyaggal kapcsolatban:

- kiégett fűtőelem-kazetták átrakása a pihentető medencébe,
- kiégett fűtőelem-kazetta pihentető medencében való tárolás, hűtés (10 évig),
- pihentető medencében eltöltött idő után a kazetták átszállítása a kiégett kazetták tárolójába,
- kiégett kazetták kiszállítása a telephelyről.

A pihentető medence a konténmenten belül helyezkedik el, közvetlenül a reaktor mellett. 732 db fűtőelem-kazetta és 24 db szivárgásmentes tok helyezhető el. A rendszer része a hibás kazettákat azonosítására alkalmas berendezés.

#### Átmeneti tárolás

A kiégett fűtőelem-kazetták átmeneti tárolására a 19.4.2 fejezetben ismertetett átmeneti tárolási lehetőségek közül, az ott ismertetett előnyei alapján előzetesen a konténeres száraz tárolás került kiválasztásra. A KHT-ban a kiégett kazetták átmeneti tárolására szolgáló terület kialakítását a Paksi Atomerőmű 4. és Paks II. 1. blokkja közötti területen feltételezzük.



19.8.1-1. ábra: Száraz, konténeres tárolótér javasolt telepítési területe

A használt fűtőelem-kazetták 10 évet töltenek a pihentető medencében. A kiégett fűtőelemek száraz tárolásra alkalmas, biológiai védelemmel ellátott konténerekbe kerülnek. A konténerek külső felületét dekontaminálják, megszáritják és ellenőrzik a felületi szennyezettségét. A konténerek zártságának ellenőrzését követően kiszállításra kerülnek a reaktor épületből a kiégett kazetták átmeneti tárolójába.

### Végleges elhelyezés

A kiégett fűtőelem és / vagy annak hasznosítási maradéka végleges tárolóhelyének kiválasztása jelenleg folyamatban van. A végleges tárolóhely kiválasztásáig, valamint annak szükség szerinti kialakításáig a fentebb bemutatott, telephelyi, száraz konténeres tárolás szolgál megoldásul.

A kiégett fűtőelem-kazetták átmeneti tárolást követően végleges elhelyezésre kerülnek a Magyarországon létesülő nagy aktivitású hulladék tárolóban. Az átmeneti tárolásra kiválasztott konténertípus alkalmas lesz kiégett fűtőelemek szállítására is, így az atomerőmű területén egyéb műveletekre nem lesz szükség.

## 19.8.2 PAKS II. ÜZEMELÉSÉNEK HATÁSTERÜLETEI

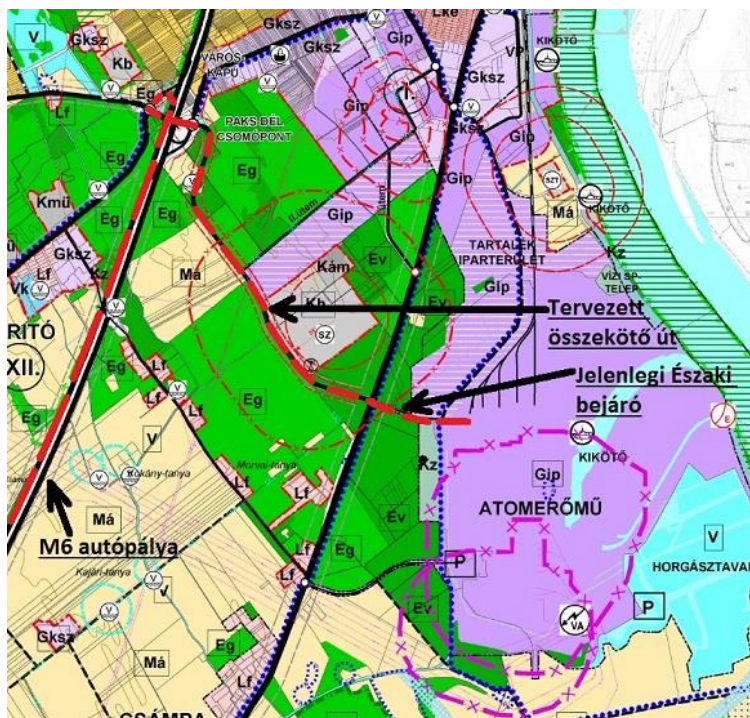
A radioaktív hulladékok környezeti hatásai alapján becsült, várható hatásterület megállapításakor fontos körülmény, a különböző aktivitás-koncentrációjú hulladékfajták kezelési helye (telephelyen vagy azon kívül, továbbá felszíni vagy felszín alatti), valamint az adott technológiai lépés időtartama (figyelemmel az egyes radionuklidok felezési idejéből következő aktivitás-koncentráció csökkenésre).

### 19.8.2.1 Közvetlen hatások területe

#### 19.8.2.1.1 Kis- és közepes aktivitású hulladékok kezelésének / tárolásának hatásterülete

Az atomerőmű üzemeltetése során képződő kis- és közepes aktivitású hulladékok átmeneti tárolása – miután a szükséges térfogatcsökkentés, kondicionálás, szilárdítás eredményeként hordóba (mozgatási, szállítási, tárolási egység) kerültek – a telephelyen kialakított tárolótérben, illetve csarnokban lesz. Ezen hulladékok csak fixált radioizotópokat tartalmaznak, így átmeneti tárolásuk során, a felületükön mérhető dózisteljesítmény alapján jellemzően csak fizikai védelem kiépítése szükséges, a radiológiai szempontból vizsgált környezeti hatások hatásterülete az erőmű telephelyére, azon belül a tárolócsarnok területére korlátozódik.

A kondicionált hulladékok az NRHT-ban kerülnek végleges elhelyezésre. A hulladékcsomagokat szállító jármű az ADR7 szabályai szerint nem állhat meg a közlekedési szabályokon túlmenően és a rakomány környezetében kialakuló külső gamma dózisteljesítmények értéke is korlátozás alá esik. Az NRHT-ba történő szállítás útvonala 64 km hosszú. Ebből 49 km az M6-os autópályán halad, így e szakaszon a feltételezetten az úttest szélén álló személy sugárterhelésével nem kell számolni, mivel az autópályák mentén a gyalogos forgalom tilos, továbbá az autópálya részét képező pihenőhelyek és üzemanyagtöltő állomások területén tartózkodó személy a haladásáv tengelyétől olyan távolságra lehet csak, ahol a szállítmány sugárhatása már elhanyagolható. A szállítási útvonal első szakaszán, a Paksi Atomerőmű jelenlegi északi bejáró útjától az M6-ig Paks Város rendezési terve tartalmaz egy rávezető útszakaszt, ami az északi bejáró és a 6-os számú főút kereszteződésétől tart az M6 Paks Dél lehajtójáig, lakott területet nem érintve. Az alábbi, 19.8.2-1. ábra piros, szaggatott vonal a szállítási útvonal első szakaszát jelöli, az M6-os autópálya tervezett megközelítését, valamint a felhajtást.

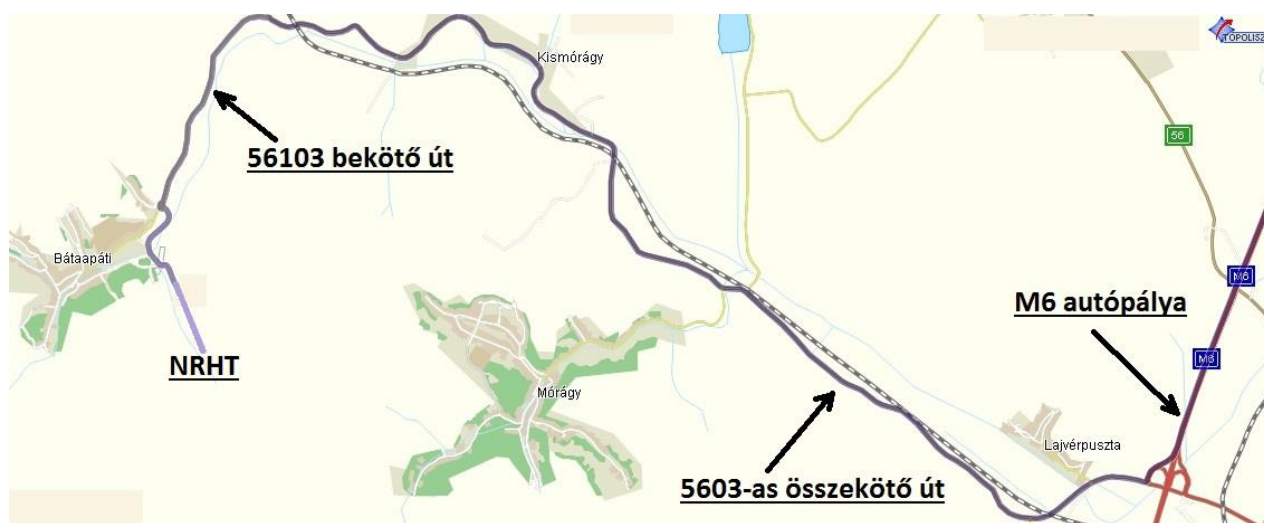


19.8.2-1. ábra: Kis- és közepes aktivitású hulladékok szállítási útvonala az üzemi területről az M6 autópályára [19-40]

Az autópályáról a 164. km-nél lehajtva (19.8.2-2. ábra) további mintegy 11 km következik közúton, e szakaszon figyelembe veendő (konzervatív megközelítés alapján) az út szélén tartózkodó személy. Bátaapáti belterületén a



szállítási útvonal melletti lakóépületek (és a bennük tartózkodók) védelmében elkerülő út létesült, a hagyományos és radiológiai terhelések csökkentésére.



19.8.2-2. ábra: Kis- és közepes aktivitású hulladék szállítási útvonala az M6-tól az NRHT-ig [19-41]

Az NRHT hatásterülete, annak telephelyén belül értelmezhető, normál üzemmenetet feltételezve.

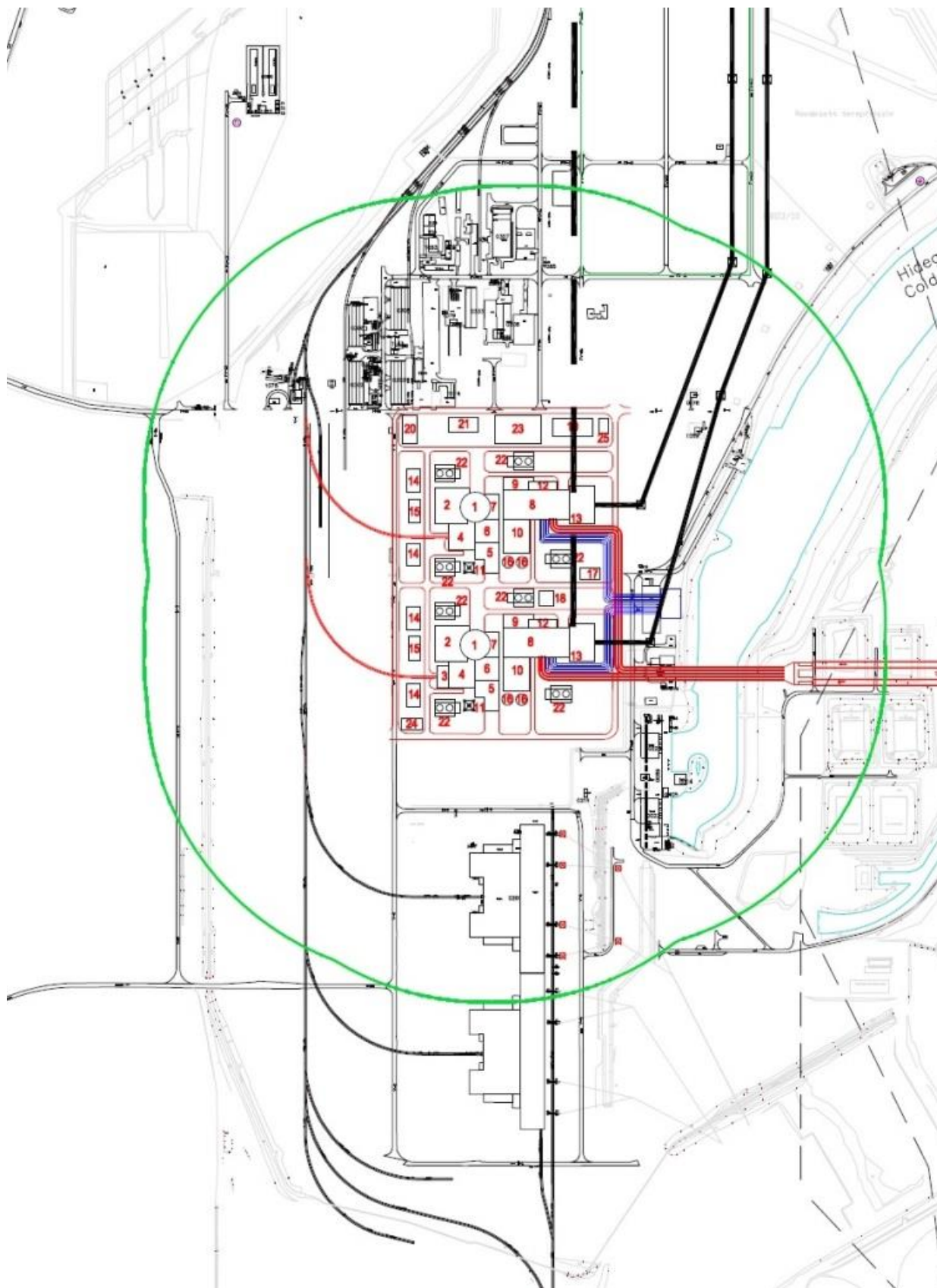
A végleges tárolóhelyre szállítás során, a szállítási útvonal mentén kialakuló sugárterhelés mértékének meghatározásával a Környezeti radioaktivitás – a telephely környezetében élő lakosság sugárterhelése című fejezet foglalkozik részletesen. A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a lakosságot érő éves sugárterhelés, konzervatív becsléssel is nagyságrendekkel a lakossági dóziskorlátozás, illetve az atomerőműre vonatkozó dózismegszorítási szint alatt van, így a végleges tárolóhelyre történő szállítás során a szállítási útvonal, illetve úttest széle tekinthető a hatásterület szélének, igen konzervatívan azt feltételezve, hogy az út szélén mindig ugyanaz a személy tartózkodik, a szállítójármű elhaladásakor.

A nagyon kis aktivitású hulladékok tárolójának megvalósulása esetén ezen hulladékok szállításából származó lakosságot érő sugárterhelés szintén elhanyagolható mértékű lesz, tekintve a hulladék aktivitástartalmának jelentősen alacsonyabb értékét.

#### 19.8.2.1.2 Nagy aktivitású hulladékok kezelésének / tárolásának hatásterülete

A nagy aktivitású hulladékok, keletkezésüket követően közvetlenül a primerkörü segédépületben kerülnek elhelyezésre, megfelelő árnyékolással ellátott tárolókban. Mivel a folyamat során a hulladék zárt kapszulába kerül, majd árnyékolt tárolókonténerben helyezik el az üzemidő végéig, így az nem érintkezhet a környezeti elemekkel. Ezért e hulladékforma sugárterhelése a környezeti elemek vonatkozásában, a telephely területére, illetve formálisan a jelenleg hatóságilag még nem rögzített, biztonsági övezet 500 m-es határával megegyező hatásterületen belülről korlátozódik. Paks II. biztonsági övezetének határára a 246/2011. (XI. 24.) Korm. rendelet 4. § (1) bekezdés alapján, a nukleáris létesítmény tervezője a létesítési engedélykérelmet megalapozó dokumentációban tesz javaslatot. A jelenleg rendelkezésre álló információk alapján konzervatívan az alábbi ábrán zöld színnel jelölt határvonalat tekintjük a tervezett létesítményre vonatkozóan a radioaktív hulladékok hatásterülete határának (19.8.2-3. ábra)





19.8.2-3. ábra: Paks II. nagy aktivitású radioaktív hulladékainak hatásterület-határa

### **19.8.2.1.3 Kiégett kazetták kezelésének / tárolásának hatásterülete**

A kiégett kazettákat, a pihentető medencében eltöltött időszakot követően, az átmeneti tárolóba szállítják, ahol felszíni, konténeres technológiával több évtizednyi átmeneti tárolásra kerülnek. A technológiának köszönhetően, a nyílt, burkolattal ellátott felületen különleges védőfelszerelés nélkül megközelíthetőek lesznek a konténerek, a folyamatos monitoring-mérések céljából. A konténerek várhatóan több évtizedet töltenek a tárolótéren, ezután vagy reprocesszáló létesítménybe, vagy végleges tárolóhelyre szállítják őket további manipuláció nélkül, mivel a felszíni tárolókonténerek szállítási tevékenység során is megfelelő védelmet nyújtanak.

A felszíni tárolótéren levő konténerek környezeti sugárterhelése a biztonsági övezet határával megegyező hatásterület határán sem lépi túl a dózismegszorítás értékét (19.8.2-3. ábra).

Reprocesszáló műbe történő szállítás esetén, a kijelölt vasútvonal országhatárig tartó szakaszát vesszük alapul. Az útvonal tervezésekor figyelembe veszik, hogy a meglévő vasúthálózatot alapul véve a lehető legkevesebb lakott területet érintsen a szerelvény, valamint feltétlen elsőbbséggel és biztosítással halad, így a tervezett megállásokat is beleszámítva a tartózkodási idő is minimális.

Az átmeneti tárolást követő, országhatáron belüli végleges elhelyezést biztosító tárolóhely jelenleg még nincs, az alkalmasnak tartott terület (Bodai Agyagkő Formáció) kutatása jelenleg folyamatban van.

### **19.8.2.2 Közvetett hatások területe**

#### **19.8.2.2.1 Kis- és közepes aktivitású hulladékok közvetett hatásterülete**

A kis- és közepes aktivitású hulladékok átmeneti, majd az azt követő végleges tárolásának környezeti elemekre is ható közvetett hatásaival kapcsolatban megjegyzendő, hogy a szilárd és folyékony hulladékok térfogatcsökkentési és szilárdítási eljárása, valamint a tárolóhelyre szállítást lehetővé tevő csomagolás kialakítása, annak becsült élettartama és a csomagolás élettartama alatt a befoglalt hulladék radioaktív anyag tartalma nem juthat ki, ezért a közvetett hatások területe a tárolótér telephelyének határával lesz várhatóan azonos.

#### **19.8.2.2.2 Nagy aktivitású hulladékok közvetett hatásterülete**

A nagy aktivitású hulladékok közvetett hatásainak hatásterülete függ a nevezett hulladékok kezelési és tárolási technológiájától. Keletkezésüket követően a telephelyi tárolás legalább az atomerőmű üzemidejének a végéig tart, ez alatt a rövidebb felezési idejű izotópok aránya és ezzel együtt a hőfejlődés is csökken. Ezt követi a végleges tárolóhelyre szállítás és elhelyezés. A jelenleg kiemelten kutatott BAF szolgálhat országhatáron belüli, végleges tárolóhelyül. Amennyiben a terület megkapja a szükséges hatósági engedélyeket és megépül a mélységi tároló, úgy az előzetes terveknek megfelelően lehetőség lesz a nagyaktivitású hulladékokon kívül kiégett kazetták végleges tárolására is.

Egy ilyen jellegű létesítményből esetlegesen eredő közvetlen vagy közvetett hatás(ok) alapvetően a megvalósított mérnöki gátak előírás szerinti működésén, üzemelésén múlik. A mélygeológiai tárolók akár több tízezer évig is biztonságosan visszatartják a radioaktív izotópokat. Jellemző tárolási technológia, a meghatározott műszaki védelemmel ellátott hulladékcsomagok, a tárolásra szolgáló kamrákat vastag vízzáró betonréteg választja el a természetes kőzettől, majd a konténerekkel feltöltött kamrák végleges eltömődékelése, illetve betonréteggel történő lezárása. A tároló kamrában, feltöltés és lezárás előtt telepített geofizikai monitoring rendszer adataiból következtetni lehet az esetleges szivárgásra, ami a mélységi tárolótér közvetlen környezetére vonatkozó közvetlen hatásként jelentkezhetne, viszont ennek valószínűsége gyakorlatilag elhanyagolható.

#### **19.8.2.2.3 Kiégett kazetták közvetett hatásterülete**

A kiégett kazetták átmeneti tárolásáról fentebb részletesen írtunk. Az átmeneti tárolás eszközeül szolgáló konténerek néhány évtizedtől akár több száz évig terjedő átmeneti tárolást is lehetővé tesznek.

A közvetett hatásterület megállapítása az átmeneti tárolást követő kezelés módjától is függ. Amennyiben reprocesszálás, és újrahasznosítás alá vetik a kazettákat, vagyis további energiatermelés céljából kivonják belőlük a hasadóanyagként hasznosítható izotópokat, úgy az átmeneti tárolóhelytől a reprocesszáló műbe történő szállítás útvonalát és a hasznosító létesítmény környezetét is figyelembe kell venni. A feldolgozás során viszont a kazetták radioizotópkészletének egy része nagy aktivitású hulladékká alakul, amelyet a reprocesszáló üzemben (általában

üvegesítéssel) megfelelően kondicionálnak. Ez a nagyaktivitású hulladék (az aktuális jogi környezetnek megfelelően) visszakerül az atomerőműbe, ahonnan a nagyaktivitású hulladékoknál ismertetett úton a BAF mélygeológiai tárolóba kerül.

Az átmeneti tárolást követően újrahatszósításra nem kerülő kiégett kazetták végül nagy aktivitású hulladék kategóriába kerülnek, ennek megfelelő további kezeléssel.

### 19.8.2.3 Országhatáron áterjedő környezeti hatások területe

A radioaktív hulladékok kezelésére normál üzemenet során a vonatkozó szigorú előírások, folyamatleírások betartása esetén, a különböző aktivitás kategóriába tartozó radioaktív hulladékok kezeléséből eredő környezeti hatások nem érhetik el, illetve nem léphetik át az országhatárt. A kiégett fűtőelem-kazettákra is az előzőek vonatkoznak.

## 19.8.3 PAKS II. ÉS A PAKSI ATOMERŐMŰ EGYÜTTES ÜZEMELÉSÉNEK HATÁSA

A Paksi Atomerőmű és Paks II., többek között a jogszabályi előírásoknak és a biztonságtechnikai követelményeknek megfelelően egymástól teljesen független létesítmények. Ennek megfelelően a radioaktív hulladék kezelési megoldásai is egymástól elkülönítetten létesülnek, illetve folynak. A két létesítmény normál üzemi radioaktív hulladék-kibocsátása nincs hatással a másik erőmű működésére. Normál üzemtől eltérő üzemi állapotok esetén a keletkező hulladékok, illetve kibocsátások esetlegesen hatást gyakorolhatnak a másik létesítményre, azonban a tervezési alapba tartozó eseményekre szigorú biztonsági forgatókönyvek vonatkoznak.

Az együttes üzem alatt Paks II. reaktorai üzemidejük első évtizedét töltik, az ez idő alatt keletkező radioaktív hulladék és kiégett nukleáris üzemanyag telephelyen belüli elhelyezése, átmeneti tárolása megoldott lesz a közvetlenül a konténment mellett elhelyezkedő primerköri segédépületben és a pihentető medencében, vagyis radioaktív hulladék kiszállítás a telephelyről, illetve konténmenten kívüli használt üzemanyag-kazetta manipuláció Paks II. esetében nem várható. Ha lesz is radioaktív hulladék kiszállítás végleges elhelyezés céljából az a Paksi Atomerőműből történő kiszállításokhoz képest kis mennyiségben várható. A radioaktív hulladékok és kiégett fűtőelemek tekintetében, az együttes üzem alatt várható hatások szinte kizárólag a Paksi Atomerőmű blokkjain fognak jelentkezni, a blokkok üzemidejének végén esedékes és szükséges technológiai beavatkozások során képződő ilyen jellegű hulladékok esetleges környezeti hatásai miatt.

## 19.8.4 PAKS II. ÉS A PAKSI ATOMERŐMŰ EGYÜTTES ÜZEMELÉSÉNEK HATÁSTERÜLETEI

A Paksi Atomerőmű és Paks II. üzemeltetése, biztonságtechnikai rendszere és hulladékkezelése egymástól függetlenül működik. Ez igaz a radioaktív hulladékok gyűjtésére, kezelésére, tárolására, szállítására is. Az együttes üzemelés közös hatásainak vizsgálatát ezért egyedül a lokalizáció indokolja, viszont a radioaktív hulladékok kezelése és az abból esetlegesen eredő környezeti hatás(ok) területe külön-külön értelmezhető, illetve egymás mellett ábrázolható.

Az együttes üzem közös pontja a telephelyről történő radioaktív hulladék kiszállítása közúton, és a kiégett fűtőelem kiszállítás vasúton. Az együttes üzem során a Paksi Atomerőmű egymás után leállított blokkjaiból a 20 éves védett megőrzés előkészítése során kis- és közepes aktivitású hulladék NRHT-ba történő kiszállítása várható a fentebb ismertetett útvonalon és várható radiológiai hatással. A Paksi Atomerőmű leállított blokkjaiból kiemelt, kiégett fűtőelem-kazetták a KKÁT-ba kerülnek. Az 50 éves pihentetést elért kazetták KKÁT-ból való kiszállításának pontos ütemezése jelenleg nem ismert, viszont célszerű az additív hatások elkerülése érdekében összehangolni a két létesítmény hulladékainak kiszállítási időpontjait, valamint a szállítással érintett útvonalat.

A két létesítmény normál üzemi radioaktív hulladék-kibocsátásának, valamint a hulladékok kezelésének, átmeneti tárolásának hatásterülete a biztonsági övezet határával azonosnak tekinthető.

A környezeti elemeket esetlegesen elérő, határérték feletti radiológiai hatás a két létesítmény leszerelésekor kiszállított radioaktív hulladékok vonatkozásában lehet.

A Paksi Atomerőmű és Paks II. együttes üzemelésének országhatáron áterjedő környezeti hatása normál üzem esetén kizárható.

## 19.8.5 TERVEZÉSI ALAPBA TARTOZÓ ESEMÉNYEK HATÁSA

Megjegyzés: Az NBSZ várható módosítása a tervezési alapba tartozó eseményeket üzemi állapotoknak fogja nevezni hatályba lépésétől.

### 19.8.5.1 Tervezési alapba tartozó események

Az NBSZ 3.2.2.3100. pontja alapján az atomerőmű tervezésénél legalább a 19.8.5-1. táblázatban szereplő belső eseményeket kell figyelembe venni, viszont a továbbiakban csak azon elemekkel foglalkozunk részletesebben, amelyek bekövetkeztük várható, hogy az eseménnyel összefüggésben radioaktív hulladék fog keletkezni.

NBSZ 3.2.2.3100.	Esemény bekövetkeztük várhatóan keletkező radioaktív hulladék
a) hűtőközeg-vesztéses üzemi zavar;	szennyezett bórsav oldat
b) törés a főgőz- és fő tápvízrendszerekben;	-
c) primer hűtőközeg tömegáramának szabályozhatatlan csökkenése;	szennyezett bórsav oldat
d) fő tápvíz tömegáramának szabályozhatatlan növekedése vagy csökkenése;	-
e) főgőz tömegáramának szabályozhatatlan növekedése vagy csökkenése;	-
f) a térfogat-kompensátor szelepeinek szándékolatlan nyitása;	-
g) zóna-üzemi zavar hűtőrendszerek szándékolatlan működése;	szennyezett bórsav oldat
h) a gőzfejlesztő biztonsági szelepeinek szándékolatlan nyitása;	-
i) főgőz záró armatúrák szándékolatlan zárása;	-
j) gőzfejlesztő csőtörés;	szennyezett víz, ioncserélő gyanta
k) szabályzó rudak szándékolatlan mozgása;	sérült üzemanyag-kazetta
l) szabályzó rudak szabályozatlan kihúzása vagy kilökődése;	sérült üzemanyag-kazetta
m) aktív zóna instabilitása;	-
n) kémiai és térfogat-szabályzó rendszer hibás működése;	szennyezett bórsav oldat, ioncserélő gyanta
o) az atomreaktor primer hűtőköréhez csatlakozó és részben a konténmenten kívül elhelyezkedő cső törése vagy hőcserélő cső sérülése;	szennyezett bórsav oldat, csőanyag
p) a nukleáris üzemanyag kezelésével, mozgásával és tárolásával kapcsolatos üzemi zavarok;	sérült üzemanyag-kazetta
q) nehéz teher leejtése emelőgépek alkalmazása során;	sérült eszköz, berendezés
r) tűz, robbanás és belső elárasztás hatásai és az általuk kiváltott kezdeti események; továbbá	detonáció nyomán folyékony és szilárd hulladék
s) kezdeti eseményeket potenciálisan kiváltó folyamatok, így különösen repülő tárgyak, beleértve a turbina elszabaduló részeit, meghibásodott rendszerekből kikerülő veszélyes közeg, rezgés, törött csővezeték ostorozó mozgása, folyadéksugár hatásai.	összetett eseménysor → többféle hulladék

Megjegyzés: a táblázat alapjául szolgáló NBSZ 3.2.2.3100. pontja a várható rendeletmódosítás után jelentősen átalakul, illetve számottevően bővül a figyelembe veendő belső események sora.

19.8.5-1. táblázat: Normál üzemtől eltérő, belső események során képződő radioaktív hulladékok

A 19.8.5-1. táblázat jobb oldalán különböző aktivitású hulladéktípusokat kell értenünk, amelyek összegyűjtést követően a primerköri segédépületbe kerülnek, további kezelés előtti tárolásra. A táblázatban szereplő hulladékok mellett az események helyreállításához kapcsolódó munkák során számottevő mennyiségű szilárd hulladék is keletkezik, de ez nem haladja meg az átmeneti tároló kapacitását.

A nyomottvízes reaktorok esetében a primerköri hűtővíz tervezett szivárgásai zárt rendszerben gyűjtésre kerülnek. A gőzfejlesztő hőcserélő csövein keresztül, inhermetikusság miatt, a potenciálisan szekunderkörbe kerülő radionuklidok folyamatos monitorozásával, a szekunder vízbe kerülő radionuklidok víztisztítókkal történő kivonásával, illetve a szennyezett víz visszavezetésével a primerköri hulladékkezelő rendszerbe, jelentősen csökkenthető a keletkező radioaktív hulladékok mennyisége. Előbbiekből következik, hogy a tervezési alapba tartozó, de normál üzemi állapotot meghaladó üzemi események során, a nyomottvízes típusú reaktorok esetében jelentősen behatárolt a radioaktív hulladékok keletkezési helye és módja.

### 19.8.5.2 Közvetlen, közvetett és országhatáron áterjedő hatás

Azon radioaktív hulladéktípusok teljes körének gyűjtése és kezelése – amelyek a tervezési alapba tartozó, de normál üzemállapottól eltérő üzemi események során képződnek – megoldható a primerköri segédépületben, így ezen hulladékok közvetlen környezeti hatásainak hatásterülete várhatóan a telephely biztonsági övezetének határán belül lesz, így a közvetett, valamint az országhatáron áterjedő környezeti hatások elemzése nem indokolt.

## 19.9 PAKS II. FELHAGYÁSÁNAK HATÁSAI

Paks II. felhagyásának vizsgálatokor figyelembe veendő a Paksi Atomerőmű üzemidő hosszabbítási hatósági engedélyében foglaltak. Az engedély többek között a megnövelt élettartamú blokkok leszerelésének lehetséges változatait is tartalmazza.

A Paksi Atomerőműre jelenleg a „halasztott leszerelés, a teljes primerkör 20 éves védett megőrzésével” változat az elfogadott, optimális megoldás, Paks II-re pedig az azonnali leszerelés.

A Paks II. leszerelésével kapcsolatban az rögzíthető, hogy a célkitűzés a blokkok leszerelése és a telephely oly mértékű „megtisztítása”, ami a további felhasználását lehetővé teszi.

### 19.9.1 LESZERELÉSI RADIOAKTÍV HULLADÉKOK

A leszerelés során – az ellenőrzött zónán belül technológiai berendezések és építmények leszerelésekor – radioaktív hulladékok is keletkeznek nagy mennyiségben. A várható radioaktív hulladékok a következők:

- reaktor tartály és belső elemei
- reaktor tartály körüli beton biológiai védelem
- technológiai rendszerek autonóm dekontaminálásából származó dekontamináló oldatok
- technológiai rendszerek acél hulladécai
- szennyezett épületszerkezetek, burkolatok
- kábelek, kábel burkolatok
- hőszigetelő anyagok
- stb.

A leszerelés során keletkező hulladékok nagyobb része nagyon kis-, kis- vagy közepes aktivitású kategóriába sorolható. A nagy aktivitású hulladékok zömét a reaktortartály és belső elemei, valamint a tartály körüli beton biológiai védelem adja.

A radioaktív izotópokkal szennyezett rendszerek a szennyezettség mértékének függvényében autonóm dekontaminálásra kerülnek a leszerelést végzők dózisterhelésének csökkentése érdekében. Ez a dekontaminálási lépés nem csak a munkaterület dózisszintjét csökkenti, hanem a keletkező szilárd hulladékok aktivitásszintjét is.

A leszerelt radioaktív hulladékdarabok radiológiai minősítését követően, annak eredménye alapján születik döntés. A fémhulladékok a következő technológiákkal kerülhetnek feldolgozásra:

- dekontaminálás felszabadítás céljából (majd felszabadítás)
- dekontaminálás a VLLW kategóriába sorolhatóság érdekében
- olvasztás
- szuperkompaktálás
- darabolás és cement mátrixba ágyazás.

A dekontamináló oldatok vegyszeres kezelést követően cementezéssel kerülnek szilárdításra. Az olvasztás során keletkező salak cement mátrixba kerül beágyazásra.

A leszerelés során keletkező elszennyeződött védőruhák, egyéni védőeszközök és egyéb tömöríthető hulladékok szuperkompaktálásra kerülnek.

A szennyezett épületszerkezetek aprítás után cement mátrixba kerülnek beágyazásra.

A radioaktív hulladékok kezelése, kondicionálása olyan hulladékcsomagokat fog eredményezni, amelyek megfelelnek a végleges elhelyezés kritériumainak.

A kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok az NRHT-ban, a nagyaktivitású radioaktív hulladékok mélygeológiai tárolóba kerülnek végleges elhelyezésre.

### 19.9.2 FELHAGYÁS KÖZVETLEN HATÁSTERÜLETE

Az atomerőmű végleges leállítása és az ahhoz kapcsolódó technológiai lépések végrehajtása éveket vesz igénybe. A bontási munkálatok az építéshez hasonló hatásokat váltanak ki, azzal a különbséggel, hogy az építéssel ellentétben jelentős mennyiségű, főként kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék keletkezik, amely hulladékáram kezelését a telephelyen belül kell megvalósítani.

### 19.9.3 FELHAGYÁS KÖZVETETT ÉS ORSZÁGHATÁRON ÁTTERJEDŐ HATÁSAINAK HATÁSTERÜLETE

A felhagyáskor nagy mennyiségű kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladék fog képződni. E nagy mennyiségű hulladék végleges elhelyezése jelentős méretű bányászati és szállítási tevékenységet igényel, ám az ebből eredő hatások hatásterülete várhatóan az országhatáron belül marad.

A leszerelés helyszíne az ország belsejében, a határoktól jelentős távolságban helyezkedik el. Ez azt jelenti, hogy a telephelyet figyelembe véve csak igen extrém esetekben képzelhető el határokon áttérjedő hatás fellépése. A leszerelési tevékenységek tervezettnek megfelelő végrehajtása során országhatáron áttérjedő radiológiai következményekkel nem kell számolnunk.

## 19.10 IRODALOMJEGYZÉK

- [19-1] Magyar Villamos Művek Zrt. Új atomerőművi blokkok létesítése, Előzetes konzultációs dokumentáció, PÖYRY ERŐTERV, 2012.01.31.
- [19-2] MSZ 14344-1:2004 Radioaktív hulladékok. Fogalom meghatározások és osztályozás
- [19-3] A Paksi Atomerőmű radioaktív hulladékainak kezelése, tárolása és elhelyezése, éves jelentés, Paks, 2007.
- [19-4] [http://www.boldman.co.uk/case\\_studies/diamond-wire-cutting-machines/](http://www.boldman.co.uk/case_studies/diamond-wire-cutting-machines/)
- [19-5] A Paksi Atomerőmű radioaktív hulladékainak kezelése, tárolása és elhelyezése. Éves jelentés, 2013., MVM Paksi Atomerőmű Zrt.
- [19-6] <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Nuclear-Wastes/Appendices/Radioactive-Waste-Management-Appendix-1--Treatment-and-Conditioning-of-Nuclear-Wastes/>
- [19-7] <http://www.dounreay.com/waste/radioactive-waste/low-level-waste/new-low-level-waste-facilities>
- [19-8] [http://www.zwilag.ch/en/plasma-plant-\\_content---1--1047.html](http://www.zwilag.ch/en/plasma-plant-_content---1--1047.html)
- [19-9] <http://www.studsvik.com/en/Business-Areas/Waste-Treatment/Processing-of-Radioactive-Waste/Metallic-Waste-Treatment/Containerized-Scrap-Steel-Aluminum-Copper-and-Brass/>
- [19-10] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/08/Ion\\_exchange\\_resin\\_beads.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/08/Ion_exchange_resin_beads.jpg)
- [19-11] <http://www.energyweb.cz/web/rao/eng/32.htm>
- [19-12] <http://www.dts9000.com/ps3.html>
- [19-13] Radioaktív hulladékok kezelése eljárásrend, MVM Paksi Atomerőmű Zrt., 2013. December
- [19-14] AEKI, Új Atomerőművi Blokkok Létesítésének Előkészítése Az új atomerőművi blokkok kiégett fűtőelemeinek és nagyaktivitású radioaktív hulladékainak elhelyezése, 2008. március
- [19-15] <http://www.aveva.com/EN/operations-1167/aveva-la-hague-in-total-transparency.html>
- [19-16] MIR.1200 Preliminary data and information for safety and environmental licensing report, A.H.Обысова, 2010. 09. 29.
- [19-17] A Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft tizenkettedik közép és hosszú távú terve, Paks, 2012. május
- [19-18] A nukleáris üzemanyagciklus radioaktív hulladékai, Egyetemi jegyzet, MTA EK, 2013.
- [19-19] Radioactive waste management Glossary, IAEA, 2003
- [19-20] Classification of Radioactive Waste, General Safety Guide, No. GSG-1, IAEA, 2009

- [19-21] Policies and Strategies for Radioactive Waste Management, IAEA Nuclear Energy Series, No. NW-G-1.1, IAEA, Vienna, 2009
- [19-22] The principles of radioactive waste management, Safety Series, N-111-F, STI/PUB/989, IAEA, Vienna, 1996
- [19-23] Improvements of radioactive waste management at WWER nuclear power plants, IAEA TECDOC-1492, IAEA, Vienna, 2006
- [19-24] Az új atomerőművi blokkok kiégett fűtőelemeinek és nagyaktivitású radioaktív hulladékainak elhelyezése, AEKI, 2008. március
- [19-25] Radioactive waste management, Status and trends – Issue #4, IAEA-WMDB-ST-4, IAEA, Vienna, 2005
- [19-26] <http://www.tuchatarra.com/noticias/d/el-cabril-cordoba-recibio-1-681-m3-de-residuos-nucleares-en-2013>
- [19-27] <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/Technical-Areas/WTS/geologicaldisposal-options.html>
- [19-28] EPC-Contract, Construction of Paks Nuclear Power Plant units 5 and 6, Hungary Appendix 1.2, Part 1.2.1 Nuclear Island, 02-05-02 Radioactive Waste Treatment and Storage Systems (Gaseous, Liquide and Solid Waste) rev 0.0, 2014. 09. 15.
- [19-29] Paks Város Településszerkezeti Terve 2013. december, Lenzsér és társa Kft.
- [19-30] Selection of efficient options for processing and storage of radioactive waste in countries with small amounts of waste generation, IAEA-TECDOC-1371, 2003
- [19-31] <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Nuclear-Wastes/Appendices/Radioactive-Waste-Management-Appendix-1--Treatment-and-Conditioning-of-Nuclear-Wastes/>
- [19-32] <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Nuclear-Wastes/Appendices/Radioactive-Waste-Management-Appendix-1--Treatment-and-Conditioning-of-Nuclear-Wastes/>
- [19-33] <http://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/web?OpenAgent&article=news&uid=77AB0E7802356DBAC1257C660027D94B>
- [19-34] <http://www.nacintl.com/magnastor>
- [19-35] North Anna NuclearGeneratingStation, Lake Anna, Virginia állam
- [19-36] Palo Verde, Arizona, Griselda Nevarez
- [19-37] Spentfuelcask diagram: NUHOMS-24P (TRANSNUCLEAR, INC.)
- [19-38] Millstone Power Station Waterford, Connecticut, (AP Photo / Dominion Resources)
- [19-39] HaddamNeck atomerőmű, EastHampton, Connecticut állam
- [19-40] Paks Város Településszerkezeti Terve 2013. december, Lenzsér és társa Kft.
- [19-41] Topolizs Kft., TopMap]