

Mit kezdünk az atomreaktorok melléktermékeivel? –  
Folyékony radioaktív hulladékok

**Dr. Pintér Tamás**  
osztályvezető

2014. október 2.





MINT MINDEN TECHNOLÓGIÁNAK, AZ ENERGIA-  
TERMELÉSNEK IS VAN MELLÉKTERMÉKE  
MEGÍTÉLÉS KÉRDÉSE, HOGY MIT TEKINTÜNK  
VESZÉLYESNEK,  
DE MINDEGYIKKEL FOGLALKOZNI KELL

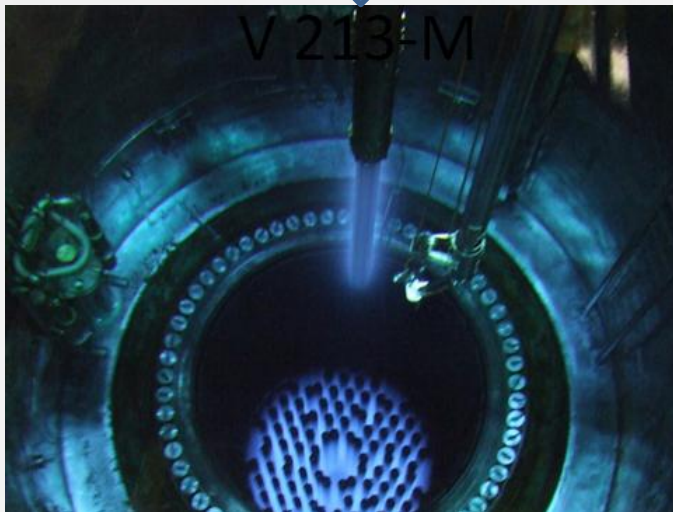
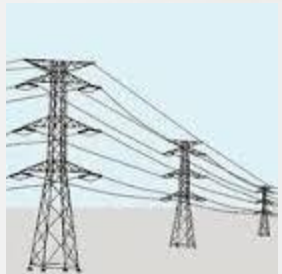


*Az ember tragédiája*

*Isten megteremtette az energiát, de teremtett hozzá hulladékot is.*

# RÖVIDEN A RADIOAKTÍV HULLADÉKOKRÓL

## Az üzemanyag



## Nyitott vagy zárt ciklus

**Nyílt üzemanyagciklus**, amely során a kiégett fűtőelemeket feldolgozás nélkül (de megfelelően előkészítve) véglegesen (a visszanyerés szándéka nélkül) helyezik el egy erre a célra kialakított geológiai tárolóban.

**Zárt üzemanyagciklus**, amely során a még hasadó képes anyagokat (uránt és plutóniumot) tartalmazó kiégett nukleáris üzemanyagot nyersanyagként újra fel lehet használni fűtőanyag gyártásához.

E reprocessálásnak nevezett folyamat eredményeként (kisebb mennyiségben) visszamaradó nagy aktivitású, hosszú élettartamú hulladékok végső elhelyezéséről továbbra is gondoskodni kell.

A végső döntésig még hosszú évtizedeken át biztonságosan tárolhatók a kiégett fűtőelemek a Pakson található Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolójában.

# RÖVIDEN A RADIOAKTÍV HULLADÉKOKRÓL

## Nagy aktivitású hulladék



### Nagy aktivitású hulladékok:

Azok a hulladékok, amelyek felületi dózisteljesítménye meghaladja a 10 mSv/h értéket.

### A nagy aktivitású szilárd hulladékok forrásai:

- Elsősorban a reaktorból kivett komponensek (szabályozó kazetták abszorbensei, közbenső rudak, hőelemek), amelyek a hosszú ideig tartó besugárzás hatására anyagukban váltak radioaktívvá.
- Primerköri hőhordozó tisztítására használt, és nagy aktivitásúnak minősített szűrőpatronok, szűrőbetétek.

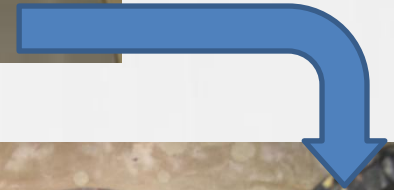
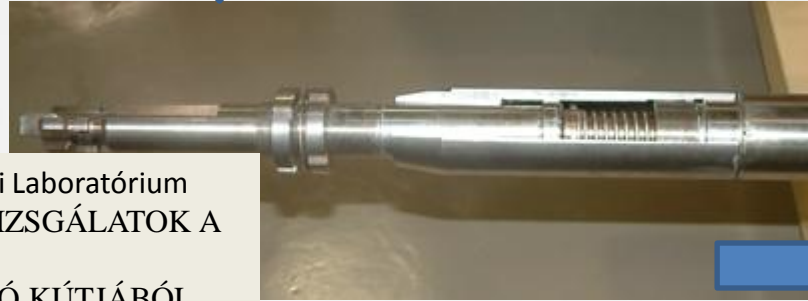
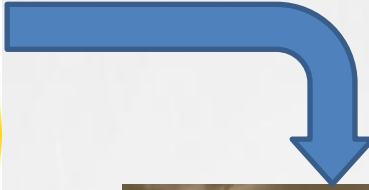
*Több éves szünet után indították újra a Nyugat-Mecsekben (Boda) a kutatómunkát azzal a céllal, hogy igazolják az itt lévő agyagkő alkalmasságát egy majdani, mélygeológiai tároló létesítésére. Itt helyeznék el a paksi atomerőmű működése során keletkezett nagy aktivitású hulladékokat. A létesítmény alkalmas lehet a kiégett fűtőelemek végleges elhelyezésére is.*

Mecsek - Boda



# RÖVIDEN A RADIOAKTÍV HULLADÉKOKRÓL

## Nagy aktivitású hulladék



MTA ATOMKI Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratórium  
GÁZMINTAVÉTEL ÉS IZOTÓPANALITIKAI VIZSGÁLATOK A  
PAKSI ATOMERŐMŰ EGY  
NAGYAKTIVITÁSÚ HULLADÉKOT TÁROLÓ KÚTJÁBÓL  
2008

- Tömegspektrométeres gázösszetétel-mérés
- Veszélyes anyagok minőségi kimutatása a gázkromatogramjuk alapján
- Izotópanalitikai mérések
- Trícium mérések
- Radiokarbon mérések
- $^{85}\text{Kr}$  mérése a gázmintákból gamma-spektrométerrel

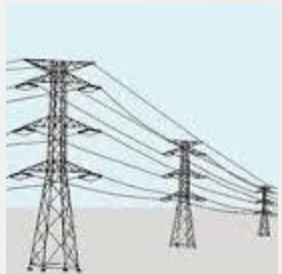
### ÖSSZEFOGLALÁS

Méréseink alapján megállapíthatjuk, hogy a hulladéktároló kútban lévő gáz összetétele a levegőével egyezik meg, egyéb, jelentős mennyiségű képződött gázt nem tudtunk kimutatni.



# RÖVIDEN A RADIOAKTÍV HULLADÉKOKRÓL

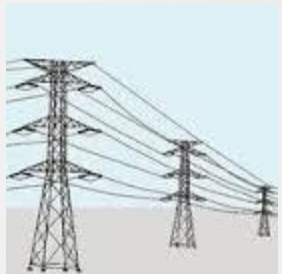
## Kis és közepes aktivitású hulladékok



- SZILÁRD HULLADÉKOK
- FOLYÉKONY HULLADÉKOK

A nukleáris alapú villamos energia-termelés elkerülhetetlen melléktermékei a radioaktív hulladékok, melyek kezeléséről, átmeneti és végleges tárolásáról gondoskodni kell.

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



## SZILÁRD HULLADÉKOK

Elhasználódott és felaktiválódott, vagy felületileg szennyezett szerelvények, berendezések, csővezetékek, hőszigetelések stb.

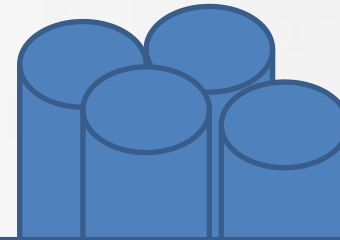
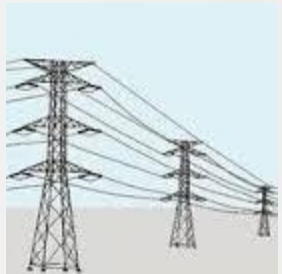
- Átalakításokból származó építési anyagok (betontörmelék, faanyag, üveg stb.), illetve különböző elszennyeződött fémhulladékok, kábelek stb.
- Karbantartó műhelyekben képződött fémhulladékok, elhasználódott szerszámok, forgácsok.
- Karbantartás és üzemeltetés során keletkezett ún. "puha" hulladékok (ruhák, egyéni védőfelszerelések, szűrőbetétek, törlőrongyok, fóliák stb.).



Az eltemetés költséges, ezért amit lehet, tömöríteni szükséges.

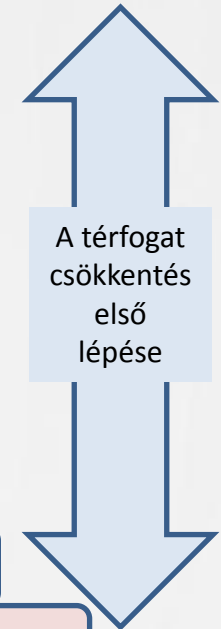
Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló  
Bátaapáti

# Kis és közepes aktivitású hulladékok



~ 200 g/kg bórsav  
~ 400 g/kg sótartalom

+ gamma – béta – alfa sugárzók kémiaiilag elenyésző mennyiségben



## Folyékony radioaktív hulladékok

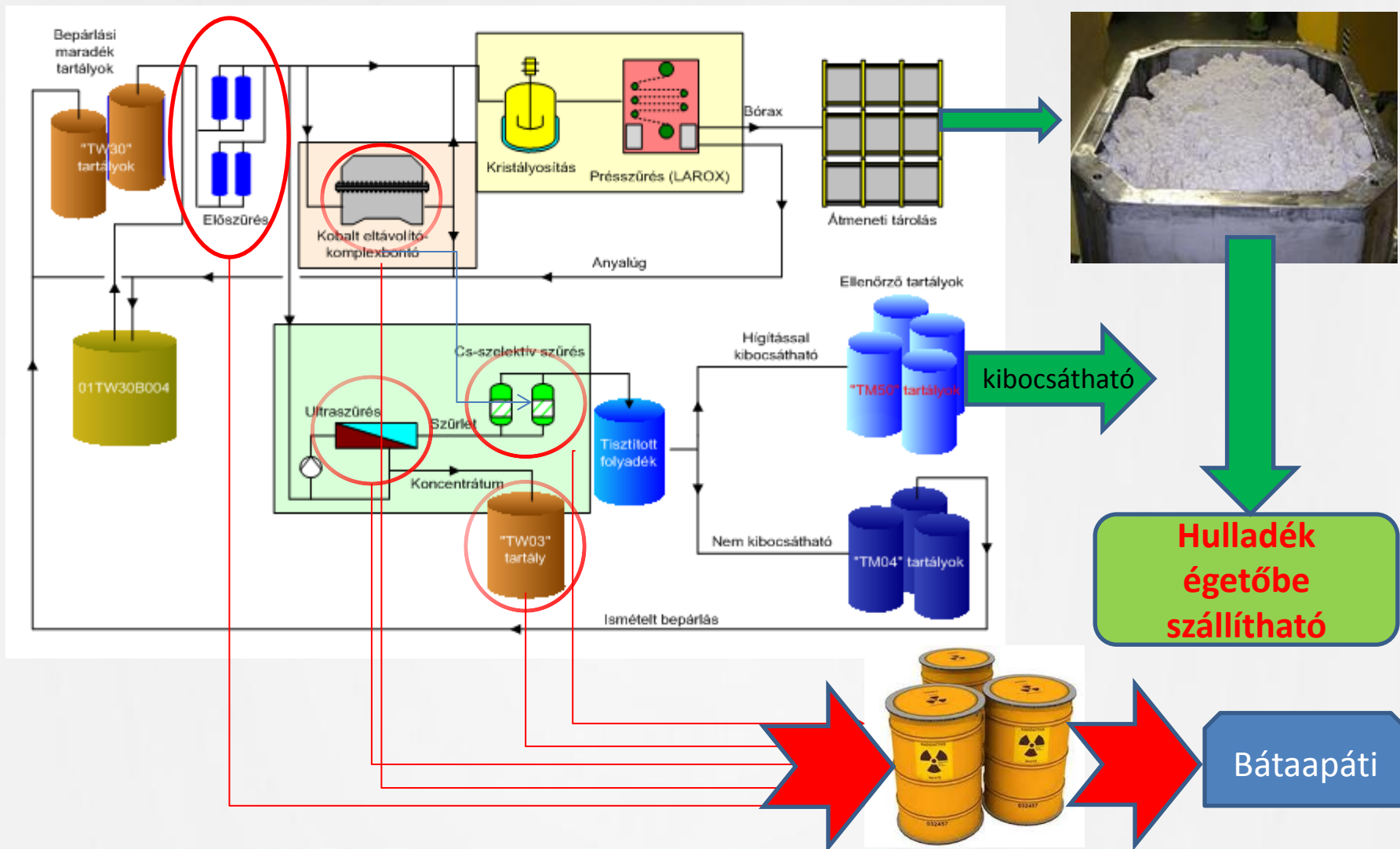
- bepárlási maradékok (sűrítmények),
- evaporátor savazó oldat,
- elhasznált primerköri ioncserélő gyanták,
- dekontamináló oldatok,
- aktív iszapok,
- aktív oldószerkeverékek,
- elszennyeződött technológiai bórsavoldatok

A folyékony hulladékok erőművön belüli átmeneti tárolása tartálparkokban történik.



# Folyékony hulladék feldolgozás

## A térfogat csökkentés második lépcsője



## 80-as – 90-es évek

A paksi atomerőmű kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékainak izotóp összetételére nézve csak igen korlátozott információk álltak rendelkezésre, mivel az „alapfilozófia” -, mint a szovjet szállítású atomerőművek esetében általában – az volt, hogy a Műszaki Terv adatait kell alapul venni.

1992-ben elindult egy hulladék minősítési komplex program, amelynek keretén belül célul tűztük ki egy korszerű rendszer kidolgozását.

1996. évben megjelent és 1997. július 1-én hatályba lépett az atomenergiáról szóló CXVI törvény, amely szigorúan szabályozta az atomenergia használójának kötelességeit a tevékenységéből keletkező radioaktív hulladékokra vonatkozóan.

Létrejött a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Társaság (RHK-KHT), de továbbra is az erőmű feladata maradt ezen hulladékok kezelése és olyan kondicionált formába hozása, hogy alkalmas legyen a végső tárolásra.

# Hulladék minősítés, mire minősítsünk?

A kis és közepes aktivitású hulladékok végleges elhelyezése szempontjából lényeges a hulladékok fizikai tulajdonsága, kémiai összetétele, **izotóp összetétele és aktivitás koncentrációja.**



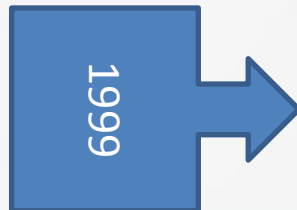
Függ a tároló típusától, kondicionálástól, telephely geológiai tulajdonságaitól

Így a különböző országok és hulladéklerakó helyek minősítési rendszerébe tartozó radioaktív izotópok köre is eltérő lehet.

A Paksi Atomerőmű eredeti Műszaki Terve csak korlátozott információkat tartalmazott a keletkezett hulladékok izotóp-összetételére vonatkozóan.

Ezért egy saját minősítési rendszert kellett kidolgozni a nyugat-európai és amerikai gyakorlat alapján.

A minősítés célja a végleges elhelyezés szempontjából fontos radioizotópok aktivitáskoncentrációjának meghatározása.



**ATOMKI**

# Hulladék minősítés, mire minősítsünk?

## A nemzetközi gyakorlat

	Belgium	Finn	Francia	Japán	Angol	Német	Spanyol	Svájc	Svéd	USA	NAÜ			Belgium	Finn	Francia	Japán	Angol	Német	Spanyol	Svájc	Svéd	USA	NAÜ	
<sup>3</sup> H	X		X	X	X		X	X		X	X		<sup>134</sup> Cs												
<sup>14</sup> C	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		<sup>137</sup> Cs	X	X	X	X	X	X	X			X	X	
<sup>36</sup> Cl		X			X	X		X		X	X		<sup>237</sup> Np	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
<sup>55</sup> Fe	X									X	X		<sup>234</sup> U	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
<sup>59</sup> Ni	X	X	X		X		X	X	X	X	X		<sup>235</sup> U	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
<sup>60</sup> Co	X		X	X	X		X		X	X	X		<sup>238</sup> U	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
<sup>63</sup> Ni	X	X	X	X			X		X	X	X		<sup>238</sup> Pu	X		X	X		X	X	X	X	X	X	
<sup>79</sup> Se					X	X		X		X	X		<sup>239</sup> Pu	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
<sup>90</sup> Sr	X	X	X	X	X		X		X	X	X		<sup>240</sup> Pu	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
<sup>93</sup> Zr		X			X			X		X	X		<sup>241</sup> Am	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
<sup>93m</sup> Nb													<sup>242</sup> Cm	X		X	X		X	X	X	X	X		
<sup>94</sup> Nb	X	X	X		X		X			X	X		<sup>244</sup> Cm	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
<sup>99</sup> Tc	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		<sup>93</sup> Mo		X									X	X
<sup>107</sup> Pd											X		<sup>126</sup> Sn					X			X		X	X	
<sup>108m</sup> Ag													<sup>41</sup> Ca		X		X	X	X				X	X	
<sup>125</sup> Sb													<sup>135</sup> Cs					X			X		X	X	
<sup>129</sup> I	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		<sup>241</sup> Pu												X
													<sup>151</sup> Sm												X

# Hulladék minősítés, mire minősítsünk?

## Az „első körben” kiválasztott izotópok

1	<sup>3</sup> H	12.32 év	β <sup>-</sup> sugárzó	E <sub>bMax</sub> = 18.59 keV
2	<sup>14</sup> C	5730 év	β <sup>-</sup> sugárzó	E <sub>bMax</sub> = 156 keV
3	<sup>36</sup> Cl	3.01x10 <sup>5</sup> év	β <sup>-</sup> sugárzó	E <sub>bMax</sub> = 710 keV (98.1%)
4	<sup>55</sup> Fe	2.73 év	K befogó izotóp	Kx» 5.898 keV
5	<sup>59</sup> Ni	75000 év	K befogó izotóp	Kx» 6.93 keV (0.20)
6	<sup>60</sup> Co	5.27 év	β <sup>-</sup> + γ sugárzó	E <sub>bMax</sub> » 317 keV (99.88%)
7	<sup>63</sup> Ni	100 év	β sugárzó	E <sub>bMax</sub> » 67 keV
8	<sup>79</sup> Se	2.95x10 <sup>5</sup> év	β <sup>-</sup> sugárzó	E <sub>bMax</sub> = 151 keV
9	<sup>90</sup> Sr	30 év	β <sup>-</sup> sugárzó	E <sub>bMax</sub> = 550 keV
10	<sup>93</sup> Zr	1.5x10 <sup>6</sup> év	β <sup>-</sup> sugárzó	E <sub>bMax</sub> » 19 keV
11	<sup>93m</sup> Nb	16.1 év	IT (X sugárzó)	E <sub>X</sub> » 16.5 keV (9.3%)
12	<sup>94</sup> Nb	2.1x10 <sup>4</sup> év	β <sup>-</sup> sugárzó	E <sub>g</sub> » 703 keV (98%)
13	<sup>99</sup> Tc	2.11x10 <sup>5</sup> év	β <sup>-</sup> sugárzó	E <sub>bMax</sub> = 294 keV
14	<sup>107</sup> Pd	6.5x10 <sup>6</sup> év	β <sup>-</sup> sugárzó	E <sub>bMax</sub> = 34.15 keV
15	<sup>108m</sup> Ag	418 év	K befogó izotóp	Kx» 17.7 keV

16	<sup>125</sup> Sb	2.76 év	β <sup>-</sup> + γ sugárzó	E <sub>bMax</sub> » 216 keV
17	<sup>129</sup> I	1.57x10 <sup>7</sup> év	β <sup>-</sup> +X+ γ sugárzó	E <sub>bMax</sub> = 194 keV
18	<sup>134</sup> Cs	2.07 év	β <sup>-</sup> + γ sugárzó	E <sub>bMax</sub> » 658 keV
19	<sup>137</sup> Cs	30.17 év	β <sup>-</sup> + γ sugárzó	E <sub>bMax</sub> » 1.18 MeV
20	<sup>237</sup> Np	2.1x 10 <sup>6</sup> év	α sugárzó	E <sub>a</sub> » 4.8 MeV
21	<sup>234</sup> U	2.4x 10 <sup>5</sup> év	α sugárzó	E <sub>a</sub> » 4.8 MeV
22	<sup>235</sup> U	7.0x10 <sup>8</sup> év	α sugárzó	E <sub>a</sub> » 4.5 MeV
23	<sup>238</sup> U	4.5x10 <sup>9</sup> év	α sugárzó	E <sub>a</sub> » 4.2 MeV
24	<sup>238</sup> Pu	86.4 év	α sugárzó	E <sub>a</sub> » 5.5 MeV
25	<sup>239</sup> Pu	2.44x10 <sup>4</sup> év	α sugárzó	E <sub>a</sub> » 5.1 MeV
26	<sup>240</sup> Pu	6600 év	α sugárzó	E <sub>a</sub> » 5.2 MeV
27	<sup>241</sup> Am	432 év	α sugárzó	E <sub>a</sub> » 5.5 MeV
28	<sup>242</sup> Cm	163 nap	α sugárzó	E <sub>a</sub> » 6.1 MeV
29	<sup>244</sup> Cm	17.9 év	α sugárzó	E <sub>a</sub> » 5.8 MeV

### Izotóp „kronológia”

	H3	C14	Cl36	Ca41	Fe55	Ni59	Ni63	Co60	Sr90	Tc99	I129	Cs137	U234	U235	U238	Pu238	Pu239,240	Am241	Cm242	Cm244	Nb93m	Nb94	Sb125	Zr93	Np237	Ag108m	Pd107	Se79	
1999	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
2000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
2001	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
2002	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
2003	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
2004	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
2005	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
2006	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
2007	X	X			X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
2008	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2009	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2010	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		
2011	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2012	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2013	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

A Co60 és Cs137 izotópok a minták homogenitásának ellenőrzéséhez szükségesek

A gamma sugárzók mérését az erőmű saját laboratóriuma végzi

BÓRAX minták a kiszállítás előtt

Evaporátor savazó oldat

Elhasznált primerkörü ioncserélő gyanták

Dekontamináló oldatok

# Mire használhatók az eredmények?

## SCALING faktor

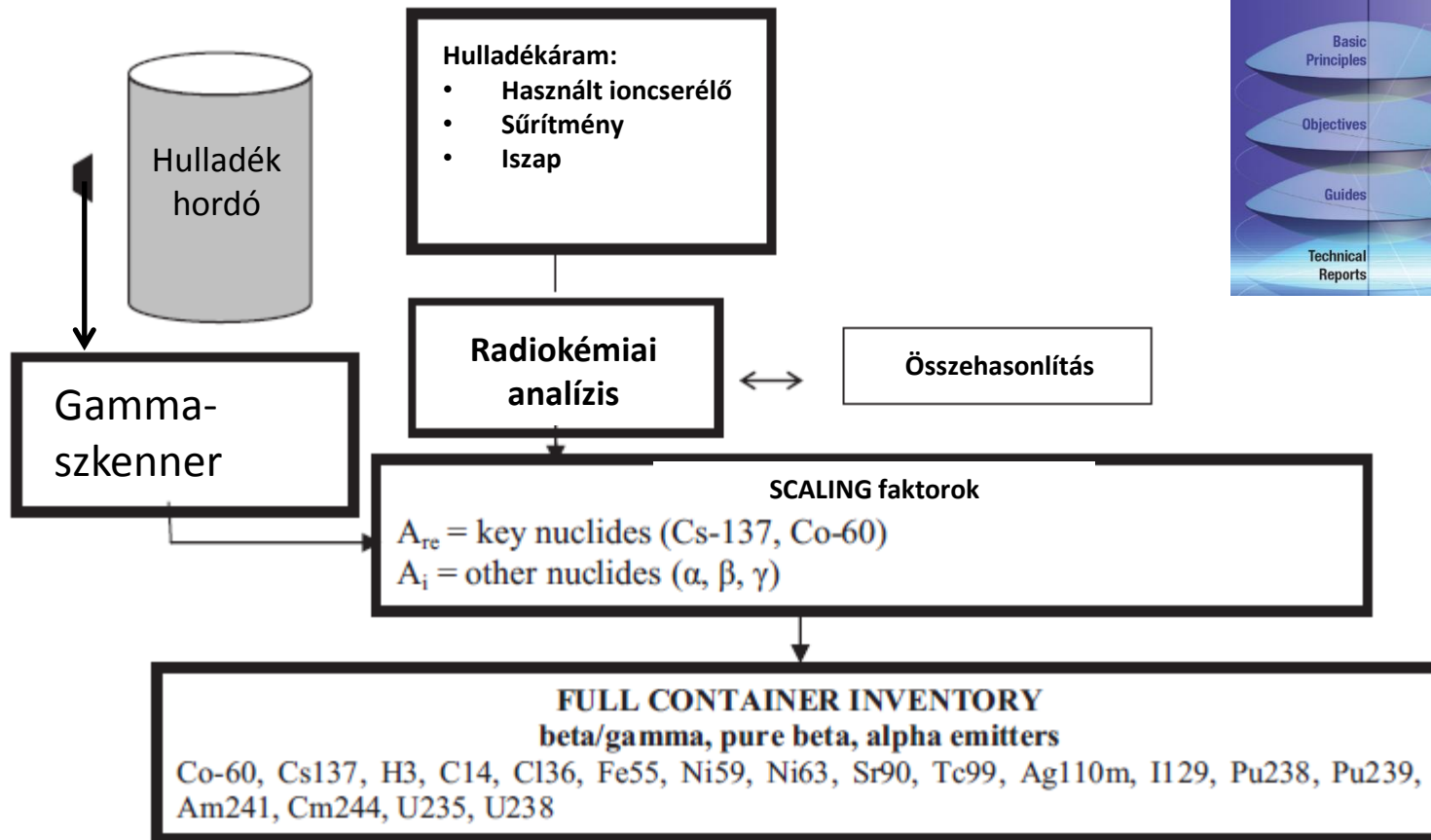
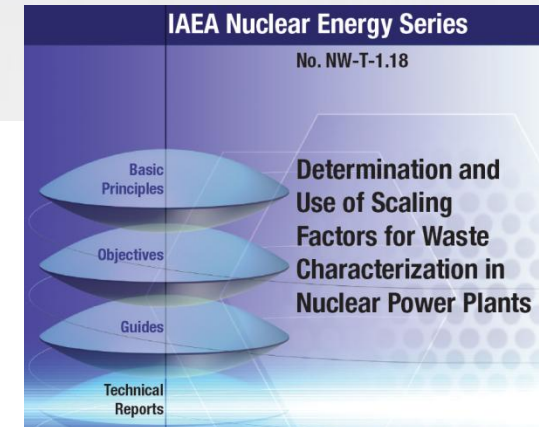
Az izotópösszetétel szempontjából a hulladékáramok nem homogének, hiszen számos, különböző felezési idejű radioizotóp keverékéből állnak. A hulladékminősítés nehézsége abban áll, hogy azon radioizotópok, melyek (tisztá) béta- ill. alfa-sugárzók, nem mérhetők olyan közvetlen módszerekkel, mint a gamma-sugárzók. Ezek meghatározása olyan radiokémiai és nukleáris méréstechnikai módszereket igényel, melyek rutinszerű alkalmazása nem könnyű feladat.

A gamma-spektrometriai méréstechnikát alkalmazva a radioizotópok néhány csoportja nem határozható meg, részarányuk azonban közvetett módon becsülhető, mivel aktivitásuk a gamma-spektrometriailag mérhető izotópok mennyiségével arányban van. A nemzetközileg is folytatott gyakorlat az, hogy a primerköri hőhordozó, vagy a folyékony radioaktív hulladékok egy részének rendszeres ellenőrzésével követik nyomon ezen komponenseket, majd a Scaling-faktor módszerrel elvégzik a becslést. A várható izotópösszetétel, és aktivitáskoncentráció értékekre a szilárd radioaktív hulladékokban mért értékek alapján közelítő becslések adhatók.



# Mire használhatók az eredmények?

## SCALING faktor



# KÖSZÖNÖM a figyelmet!