

# Magyar Nukleáris Társaság Környezetvédelmi Szekció

Az atomenergetikai hulladékok  
elhelyezése

2010. április 21.

# Nukleáris létesítmények leszerelésének legújabb szabályai és ennek következménye a végleges elhelyezést igénylő nagyaktivitású hulladékok mennyiségére

Zagyvai Péter

BME Nukleáris Technikai Intézet

2010. április 21.

# Leszerelés - Stratégiák és fázisok

IAEA-útmutatók

\*\* Safety Series

*S. S. #115 International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources (IBSS) (1996)*

\*\* Safety Standard Series

WS-R-2 "Pre-disposal Management of Radioactive Waste Including Decommissioning" (2000)

\*\* Technical Report Series

TRS 411 "Record-keeping for the Decommissioning of Nuclear Facilities" (2002)

TRS 420 "Transition from Operation to Decommissioning of Nuclear Installations" (2004)

\*\* TECDOC Series

TECDOC 1478 „Selection of Decommissioning Strategies" (2005)

További nemzetközi segédletek: EURATOM, WENRA, OECD NEA

# Leszerelés - Stratégiák és fázisok

## Stratégiák:

Immediate Dismantling - „Azonnali” (=folyamatos) teljes lebontás

Deferred Dismantling [with Safe Enclosure] – „Védett megőrzés”, Fokozatos lebontás

Entombment – Tartós felszíni elhatárolás („Szarkofág”) = Felszíni kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladék-tároló

# Leszerelés - Stratégiák és fázisok

**Fázisok** (végpontok, állapotok – újabban nem alkalmazott fogalom):

1. „Safe enclosure” - Lezárás és őrzés
2. „Brown field” – Korlátozott területhasználat
3. „Green field” – Korlátozás nélküli területhasználat

# Jogszabályi keretek - törvények

- 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról
- 2001. évi LXXVI. törvény a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség keretében a kiégett fűtőelemek kezelésének biztonságáról és a radioaktív hulladékok kezelésének biztonságáról létrehozott egyezmény kihirdetéséről
- 1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól
- 2000. évi XLIII. törvény a hulladékgazdálkodásról

# Jogszabályi keretek - rendeletek

- 89/2005. (V. 5.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről – mellékletei: Nukleáris Biztonsági Szabályzatok; tervezett 8. kötet: **Nukleáris létesítmények leszerelése**
- 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról
- 64/2005. (XII.21.) EüM rendelet az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról szóló 16/2000. (VI.8.) EüM rendelet módosításáról
- 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 sugár-egészségügyi kérdéseiről

# Jogszabályi keretek - szabványok

- **MSZ 14344-1:2003 - Radioaktív hulladékok. Fogalom-meghatározások és osztályozás**  
*(benne egyes kezelési módok rövid meghatározásával)*
- **MSZ 14344-2:1989 - Radioaktív hulladékok. Kezelés**



# Jogszabályi keretek – megújuló alapok

*ICRP Publication #103 Recommendations of the ICRP - Annals of the ICRP Volume 37/2-4 (2007)*

*International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources (IBSS) IAEA – Draft Safety Requirements 3.0 – DS 379 (2010)*

# Radioaktív hulladékok definíciója a magyar szabályozásban

A 47/2003. ESzCsM-rendelet, illetve  
az MSZ 14344-1:2003. alapján:

$$S = \sum_i \frac{AK_i}{MEAK_i}$$

S (HI „hazard index”) = veszélyességi mutató (? – *Nincs neve a jogszabályban, szabványban!*)

MEAK: Mentességi aktivitás-koncentráció [Bq/kg]

AK: aktivitás-koncentráció [Bq/kg]

i: a hulladékcsomag radioizotópjai

Kis aktivitású hulladék (LLW)  $1 < S < 1000$

Közepes akt. h. (ILW)  $10^3 < S < 10^6$

Nagy akt. h. (HLW)  $S > 10^6$ , hőfejlődés  $> 2 \text{ kW/m}^3$

# Radioaktív hulladékok definíciója a magyar szabályozásban

Mentesség és/vagy felszabadítás ?

A magyar jogi szabályozás egyelőre „nem ismeri” az önálló felszabadítási szint fogalmát – holott a korábban ellenőrzött radioaktív anyagokra jobban illenék, mint a mentesség.

Azonosság: a szintek alapja az „elhanyagolható kockázattal járó dózis” = 10 - 30  $\mu\text{Sv}/\text{év}$

Eltérés: expozíciós forgatókönyvek

Forgatókönyvek: többségükben az 1990-es évek elejéről, legújabb összefoglaló: *Practical use of the concepts of clearance and exemption RADIATION PROTECTION #122 Part I. EU Directorate General – Environment (2000)*

# Radioaktív hulladékok definíciója – vonatkoztatási szint

Table 3-1: Results of dose calculations for all nuclides (in  $[(\mu\text{Sv/a})/(\text{Bq/g})]$ )

Nuclide	$T_{1/2}$ [a]	External Irradiation			Inhalation		Ingestion		Skin SKIN	Max.	limiting scenario
		EXT-A	EXT-B	EXT-C	INH-A	INH-B	ING-A	ING-B			
H-3	1.2E+01	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	8.9E-05	7.1E-06	8.4E-04	1.2E-02	0.0E+00	1.2E-02	ING-B
Be-7	1.5E-01	1.4E+00	3.8E-01	1.3E-01	9.3E-05	5.3E-06	5.6E-04	2.8E-03	7.4E-05	1.4E+00	EXT-A
C-14	5.7E+03	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.3E-03	1.7E-04	1.2E-02	1.6E-01	2.4E-02	1.6E-01	ING-B
F-18	2.1E-04	3.5E-03	7.6E+00	0.0E+00	1.9E-04	8.6E-06	9.8E-04	1.1E-09	7.2E-02	7.6E+00	EXT-B
Na-22	2.6E+00	7.0E+01	1.9E+01	7.9E+01	4.3E-03	2.0E-04	6.4E-02	1.3E+00	6.8E-02	7.9E+01	EXT-C
Na-24	1.7E-03	4.7E+01	3.7E+01	0.0E+00	1.1E-03	4.8E-05	8.6E-03	1.8E-04	7.9E-02	4.7E+01	EXT-A
Si-31	3.0E-04	5.3E-05	8.0E-03	0.0E+00	2.4E-04	1.5E-05	3.2E-03	7.7E-08	8.0E-02	8.0E-02	SKIN
P-32	3.9E-02	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	6.3E-03	4.6E-04	4.8E-02	1.0E-01	7.4E-02	1.0E-01	ING-B

Fejlécben: expozíciós forgatókönyvek (külső terhelés, belégzés, lenyelés, bőrdózis)

Táblázatban: egységnyi koncentrációra jutó éves dózis az adott forgatókönyv esetén

# Radioaktív hulladékok definíciója - vonatkoztatási szintek

Table 3–2: Calculation results for general clearance levels and rounded general clearance levels<sup>6</sup>

Nuclide	Calculation results for clearance levels (CL) [Bq/g]	Clearance levels rounded [Bq/g]	Exemption values (EV) [ CEU 96] [Bq/g]	Comparison of exemption values and rounded clearance levels EV/CL
H-3*	8.6E+02	(1000)	1.0E+6	1000
Be-7	6.9E+00	10	1.0E+3	100
C-14*	6.3E+01	(100)	1.0E+4	100
F-18	1.3E+00	1	1.0E+1	10
Na-22	1.3E-01	0.1	1.0E+1	100
Na-24	2.1E-01	0.1	1.0E+1	100
Si-31	1.2E+02	100	1.0E+3	10
P-32	9.8E+01	100	1.0E+3	10
P-33	2.3E+02	100	1.0E+5	1000
S-35	5.7E+01	100	1.0E+5	1000
Cl-36*	1.6E+01	(10)	1.0E+4	1000
Cl-38	7.3E-01	1	1.0E+1	10
K-40	1.5E+00	1	1.0E+2	100
K-42	4.0E+00	10	1.0E+2	10
K-43	7.3E-01	1	1.0E+1	10
Ca-45	4.0E+01	100	1.0E+4	100
Ca-47	3.2E-01	1	1.0E+1	10
Sc-46	1.5E-01	0.1	1.0E+1	100

# Hulladék kategorizálásának nehézségei – példa: ESS LBE-target – a pirossal jelzett értékek nem léteznek a kompilációkban

	$c_A$ 10 ys after SD (Bq/g)	RP122 CL(Bq/g)	S
<sup>207</sup> Bi	2.48E+08	0.15	1.66E+09
<sup>208</sup> Bi	9.77E+04	0.095	1.03E+06
<sup>208</sup> Po	1.34E+06	0.026	5.14E+07
<sup>209</sup> Po	4.08E+05	0.027	1.51E+07
<sup>60</sup> Co	4.93E+05	0.099	4.98E+06
<sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y	4.87E+06	1.1	4.42E+06
<sup>138</sup> Ba	1.55E+06	0.59	2.63E+06
<sup>148</sup> Gd	1.82E+06	0.45	4.04E+06
<sup>152</sup> Eu	4.18E+05	0.21	1.99E+06
<sup>154</sup> Eu	9.52E+05	0.19	5.01E+06
<sup>158</sup> Tb	4.88E+05	0.43	1.14E+06
		ΣS	1.75E+09

# Radioaktív hulladékok definíciói

Hulladék veszélyessége „végső” formájában:  
radiotoxicitás – index (IAEA)

$$RTOX = \sum_i A_i(t) \times \left( \sum_j mf_{i,j} \times Q_j \right) \times DCF_i$$

**RTOX** : radiotoxicitás-index [Sv/év]

**A** : aktivitás [Bq]; **i** : radioizotóp minősége

**mf** : „mobilitás-tényező” adott táplálékra [(Bq/kg)/Bq]

**Q<sub>j</sub>** : táplálékfogyasztás a j-edik anyagból [kg/év]

**DCF** : dóziskonverziós tényező [Sv/Bq]

*RTOX ≤ 10 μSv/év legyen!!! – probléma: teljesen tároló- és „korszak”-specifikus*

# Leszerelési „referencia” stratégiák

- Paksi blokkok: „felügyelet melletti védett megőrzés” (korábban 70 vagy 100, most 20 vagy 50 év)
- KKÁT: üzemelés vége és leszerelés kezdete között védett megőrzés (15 év) – szoros összefüggésben a PAE leszerelésével
- AEKI: azonnali/folyamatos leszerelés
- BME OR: azonnali/folyamatos leszerelés



# A Paksi Atomerőmű blokkjainak leszerelési terve

„A Paksi Atomerőmű előzetes leszerelési terve”  
TS ENERCON - 2008. november – ez a 3.  
változat.

A teljes primerkör vagy csak a reaktor védett megőrzése 20 vagy 50 évig – 3 opció. Ezalatt lezajlik a maradék kiégett nukleáris üzemanyag (KNÜ) kiszállítása és a szekunder kör lebontása.

# Az atomerőmű üzemidő-hosszabbításának hatása a leszerelés tervezésére

- KKÁT bővítése szükséges: 37 modul (alternatíva: önálló „cask”-ok – tanulmányi szinten)
- „kamraigények” az NRHT-hoz – bővítés szükséges? FHF vs. cementezés: 2013-ig döntés kell erről! – nem NAHÉH-probléma.
- Nagyaktivitású és hosszú élettartamú hulladék („NAHÉH”): az elhelyezés szükséglete időben kitolódik.

# Leszerelés és KNÜ - scenáriók

- Kiégett nukleáris üzemanyag (KNÜ) visszaszállítás nem lehetséges – itthoni elhelyezés szükséges: Bodai Aleurolit Formáció
- KNÜ visszaszállítás Oroszországba (?) – 2010 – 2040 között kb. 18 ezer kazetta – a feldolgozás hulladékainak ottani elhelyezése
- Valószínűtlennek ítélt scenáriók: akár többszörös KNÜ-reprocessálás külföldön, vitrifikált NAHÉH visszaszállítása és itthoni elhelyezése

# Leszerelés és NAHÉH – KNÜ-n kívüli hulladékforrások

Felaktiválódás: a reaktortartály és további primerköri szerelvények, valamint a biológiai védelem anyaga

NAHÉH mennyiségének és összetételének becslése: modellszámítások (BME-NTI-343/2005. sz. jelentés – Fehér Sándor, Czifrus Szabolcs)

# NAHÉH mennyiségének becslése modellszámításokkal



Modellezés neutrontranszport- és felaktiválódás számítására alkalmas kódokkal (MCNP, TORT, ORIGEN):

Acélszerkezetek:

- reaktortartály
- reaktorakna
- aknafenek/fékezőcsőblokk
- reaktorkosár
- védőcsőblokk

Betonszerkezetek:

- „szárazvédelmi rendszer” (szerpentin, bórkarbid, acélsörét adalékok) – nem várható NAHÉH (Ritka földfémek ?)

**Döntő tényező: MEAK vagy CL ???**

# NAHÉH mennyiségének becslése modellszámításokkal

Idézet a BME-NTI-343/2005. sz. tanulmányból:

100 éven túl az aktivitás-koncentráció görbéje a nagyon hosszú felezési idejű  $^{41}\text{Ca}$  ( $T_{1/2} = 103\,000$  év) platójába simul bele, de mivel ez az izotóp nagyon kis energiájú béta-sugárzással bomlik, és emélfogva nincs definiált MEAK értéke, a hulladékosztály-mutatóban a  $^{41}\text{Ca}$  nem jelenik meg. A betonok hulladékosztály-mutatóját 200 év után a  $^{14}\text{C}$ -koncentráció

**Döntő tényező: MEAK vagy**

**Cl ???**

Mennyiségek: „potenciális” NAHÉH blokkonként 240 t acél és 1550 t beton  
Kezelendő maximális NAHÉH-térfogat: acél 40 m<sup>3</sup>, beton 700 m<sup>3</sup>  
blokkonként

# Leszerelés és NAHÉH - kutatóreaktorok

- KNÜ – el/visszaszállítás (?)
- Felaktiválódott szerkezeti anyagok:  
BME OR: BME-NTI-465/2008. sz. kutatási jelentés:  
„Reaktorok körüli szerkezeti anyagok felaktiválódásának meghatározására alkalmas számítási módszer fejlesztése és validálása IV.” Eredmény: nem lesz NAHÉH (MEAK▶◀CL?)
- AEKI BKR: 1986-os átalakítás tapasztalatai felhasználhatók – AEKI-AT-2006-259-01 kutatási jelentés „A budapesti kutatóreaktor 1986-1991-es átalakításával kapcsolatban végrehajtott tevékenységek visszatekintő elemzése a felszabadítási szintek szempontjából” (Pázmándi Tamás) – a kiemelt régi reaktortartály az akkori dózisteljesítmény-mérések alapján a NAH határán volt – és most ?

# Veszélyességi index – a megoldás körvonalai

*International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources (IBSS) IAEA – Draft Safety Requirements 3.0 – DS 379 (2010)*

A „Schedule I – Exemption and Clearance” fejezetben KÜLÖN táblázatok jelennek meg „MEAK”-ra és „CL”-re.

Lábjegyzetben: az alkalmazás „Moderate amounts” illetve „Bulk amounts”-ra javasolt.

**Hogyan tovább?**



**Köszönöm a figyelmet!**