

Radioaktív hulladékok biztonsága (3+1 kredit) válogatott fejezetek

1) Radioaktív hulladékok eredete: nukleáris
fűtőelemek gyártása - uránbányászat

Urán bányászata - kioldás

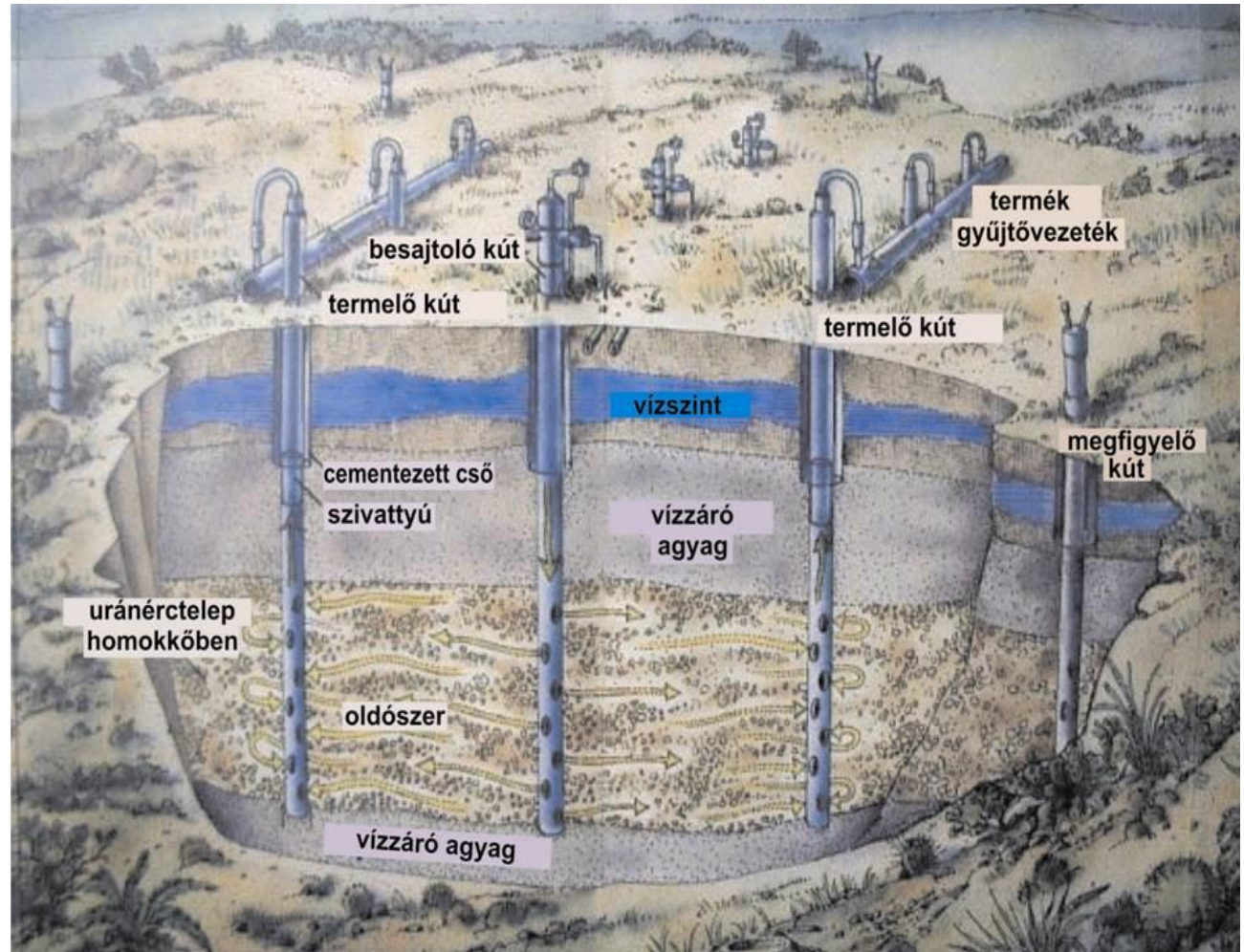
- Kioldás/feltárás: urán + leányelemek elválasztása a környező kőzettől
 - savas kioldás: kénsav (részben ez is oxidál)
 - oxidatív kioldás $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ –t alkalmazó eljárással.
- Mindkettő megoldható fejtéses és ISL = in situ leaching módszerrel. (más elnevezés: ISR = in situ recovery)
- Oxidatív eljárás/ISL kivitelben: ez kíméletesebb a környezet számára, kevesebb hulladék marad a felszínen.

ISL-ISR uránbányászati technológia

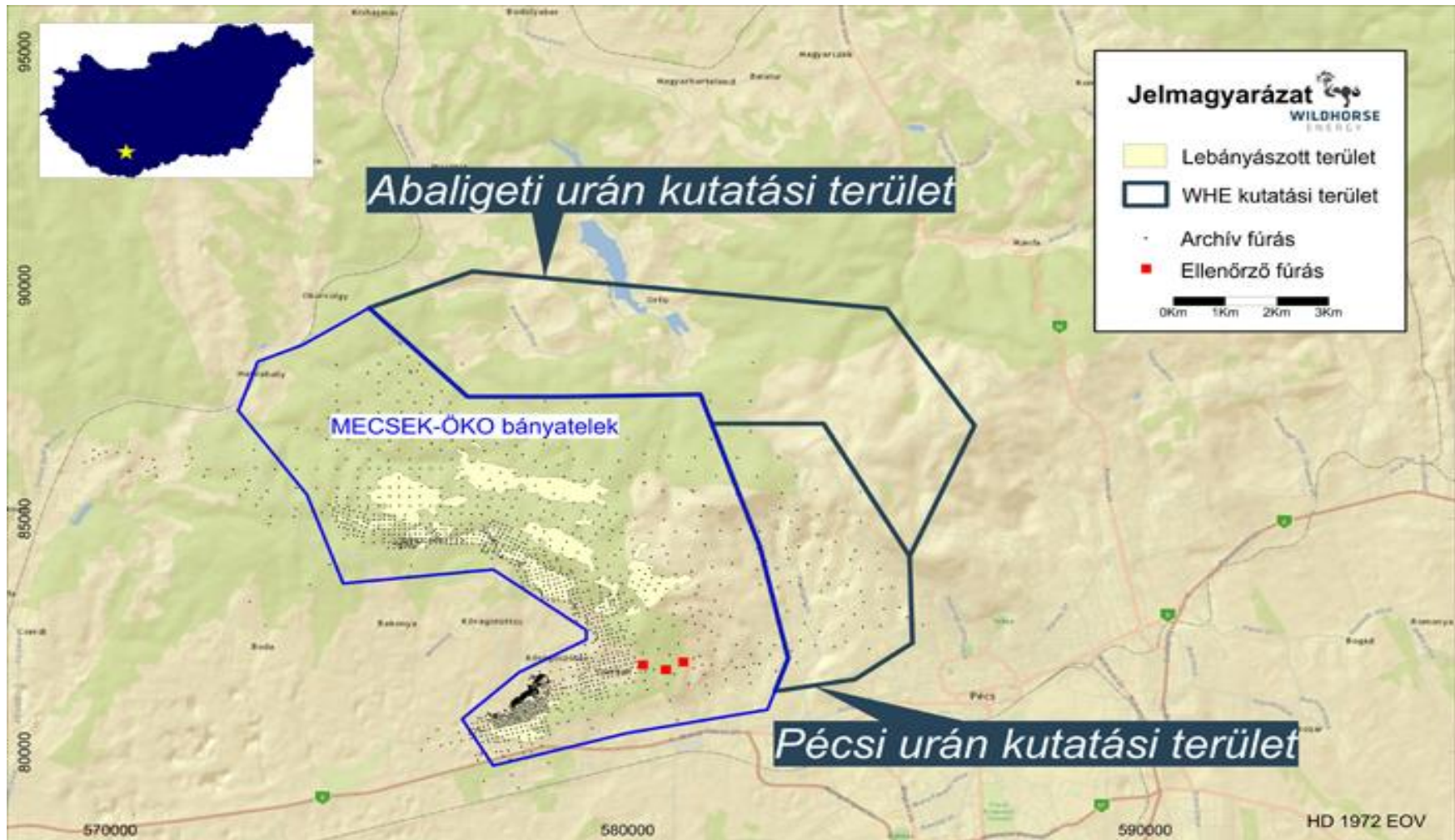
A „Wildhorse Energy” vállalat módszere

Gáz halmazállapotú oxigént és CO₂-t adagolnak a besajtolt vízhez - az eljárás ugyanazon az elven működik, mint az urán természetes oldódása.

Mivel az oxigénes víz az uránon kívül más elemeket alig vagy egyáltalán nem képes oldani, ezért a képződő hulladék mennyisége igen csekély és nem radioaktív.



A Wildhorse Energy és a Mecsek-Öko Zrt. engedélyezett kutatási területei



Urántartalmú reaktor-fűtőelem előállítása

Feltárt kőzetből kapott oldat feldolgozása:

Lecsapás \rightarrow UO_2 , UO_3 , U_3O_8 „yellow cake” (sárga por), a dúsítóba szállítják, ahol gáznemű UF_6 -tá alakítják.

$^{235}\text{U} + ^{238}\text{U}$ (dúsított): ^{238}U (szegényített): fegyvergyártás

főként UO_2 -ként kerül

a fűtőelemekbe

Nehézvízes reaktor (HWR): természetes urán van a fűtőelemekben,
a D_2O sokkal hatásosabb lassító

Urán: toxikus nehézfém, sejtméreg \rightarrow vesepusztító

Határérték vízben: 10 $\mu\text{g/l}$

Uránérc feldolgozás - reaktor üzemanyag előállítás



**Ércőrlő és szitáló
berendezés**

Visszamaradt környezetszennyezés az uránbányászat után - Pécs környéki uránbánya területének helyreállítása



Ezt és a következő 4 képet Várhegyi András úrtól (Mecsek Öko ZRt.) kaptuk.

Uránérc-feldolgozás - zagyártározók rekultivációja:

Tájrendezés

- ⇒ Morfológia kialakítás, felületstabilizálás
- ⇒ Beszivárgást minimalizáló fedés
- ⇒ Felszíni vízrendezés, vízvezetés
- ⇒ Hosszú távú stabilitás elérése



Az iszapmag konszolidációja a vízleengedés után



*Iszapmag felszínének
előkészítése*



A rekultiváció eredményei

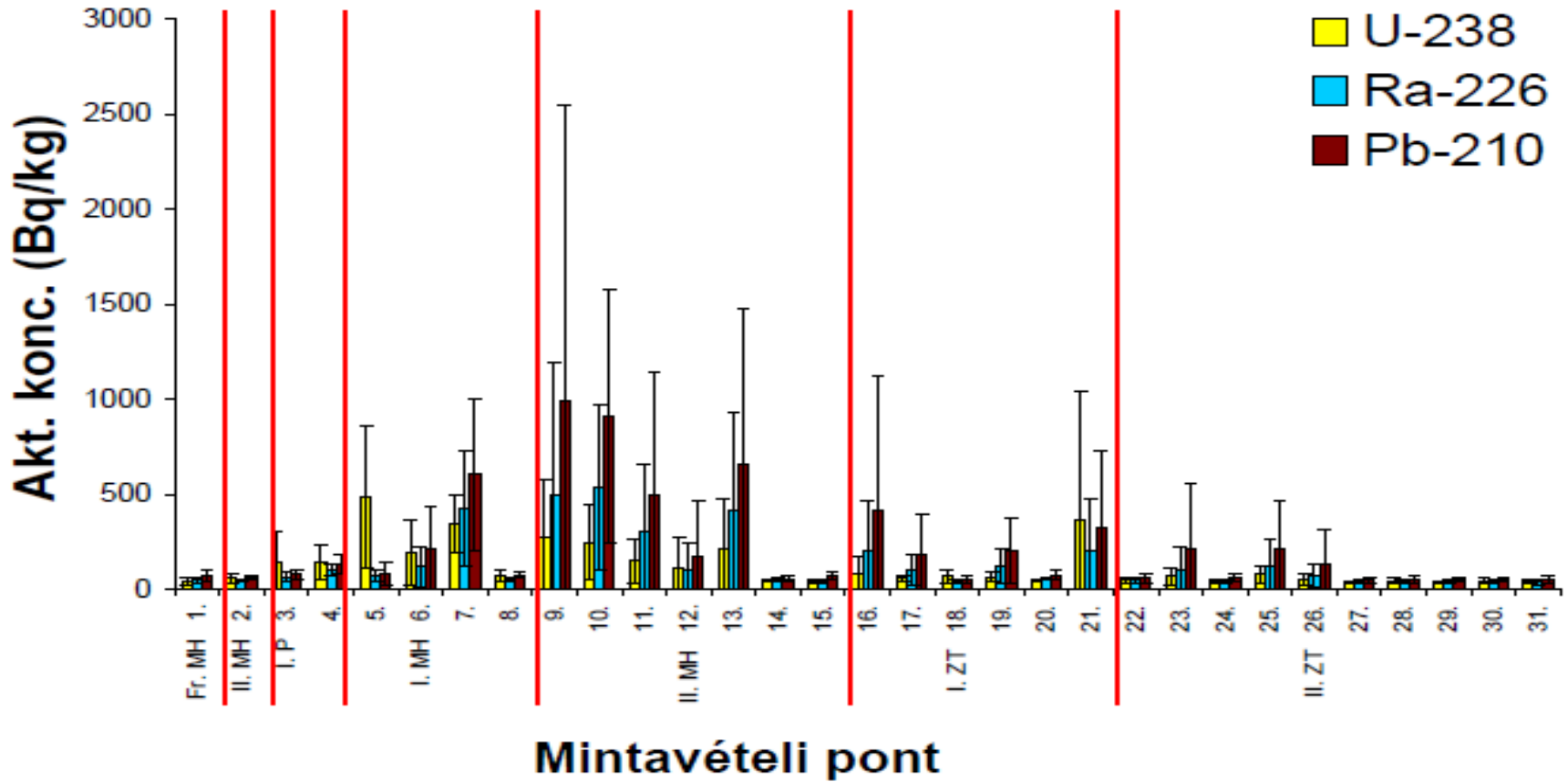
A MECSEKI URÁNBÁNYA REKULTIVÁCIÓJÁNAK ELLENŐRZÉSE BIOINDIKÁCIÓS MÓDSZERREL

Máté Borbála Ph.D. dolgozata (Veszprém, 2012.)

A dohány a vegetációs sajátosságainak és felépítésének köszönhetően megköti az ólom és polónium izotópokat. 53 dohány- és talajminta ^{210}Pb aktivitásának meghatározása alapján megállapítható, hogy a dohánynövény alsó levele és a talaj izotópkoncentrációja között telítési görbének megfelelő korreláció áll fenn.

A következő dia a dolgozat 18. ábrája

Uránbánya rekultiváció



18. ábra: Az éves monitoring vizsgálatok összefoglalása

2) Nukleáris energiatermelés hulladékai – nehezen mérhető radionuklidok analízise hulladékmintákban

- Bétasugárzó radiostroncium elválasztása
- Bétasugárzó radionuklidok mérési módszerei
- Cél: arányossági tényező (scaling factor) megállapítása egy kulcsnukliddal

Bétasugárzó stronciumizotópok elválasztása

- Koronaéter: Sr-Spec márkaneven (megkötés savas vizes oldatból – elválasztás más ionoktól)
- Ioncserélő gyanta: oldott izotópkeverék felvitele ► szelektív megkötés ► szelektív elúció
- Karbonátos lecsapás ► savas oldás ► extrakció szerves foszforsavészterrel (D2EHPA)
technológiai méretben is végrehajtható
- ^{90}Y elválasztása: anioncserélő gyantán karbonátos komplexként

Fontos körülmények az elválasztásnál és a mérésnél:

^{90}Y szekuláris egyensúlyban az anyanukliddal ?

Hordozóval vagy anélkül van jelen a Sr (Y) ?

Stronciumelválasztás

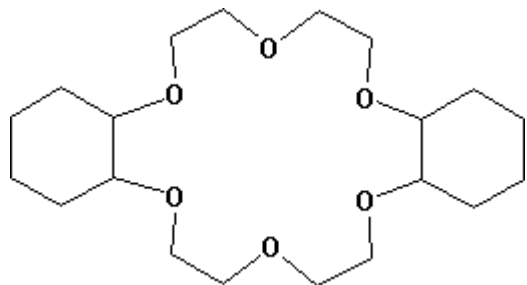
Koronaéter

Extrakció vagy szorpció? – mindkettő!

KORONAÉTEREK szerves oldószerben oldva:

C-O-C kötés + szerves apoláros lánc, a tértöltés befelé néz, oda „ül be” a fémion – a korona mérete szerint specifikusak

Hatásos szelektív módszer pl. ^{90}Sr -ra (^{210}Pb !)



Tiszta β^- -sugárzó radioizotópok mérése

- Félvezető (PIPS) detektorral – lásd α -spektrometria
- Folyadékszcintilláció: szerves oldószerben szcintillációra képes molekulák; az oldószernek „kell” gerjesztenie őket. Konvertálás: fotoelektronsokszorozóval
- Relativisztikus sebességű részecskékhez: Cserenkov-sugárzás mérése fotoelektronsokszorozóval
- Szilárd szerves szcintillációs kristály: antracén; szilárd szcintillációs polimer: „plasztik” detektor

3) Reaktorok leszerelése (Decommissioning)

- Radionuklidok leltára a hulladékban
- Sajátos feladatok a leszerelés során:
stratégia, végpont, finanszírozás,
felszabadítás

Reaktorok leszerelése

- Stratégiák
 - Folyamatos [azonnali] leszerelés = Immediate dismantling
 - Védett megőrzés beiktatásával végzett leszerelés = Safe enclosure / Deferred dismantling – Paks-I 4 blokk: referencia forgatókönyv „a primerkör védett megőrzése 20 évig” 20 éves üzemidő-hosszabbítás után 2032 – 2037-től
 - Szakaszos leszerelés = Phased dismantling (több megszakítással)
 - Szarkofág = Entombment
- Végpont: a terület korlátlan (=green field) vagy korlátozott (=brown field) felhasználhatósága (környezeti hatástanulmány = EIA)
- Finanszírozás →
- Felszabadítás →



KGR reactor vessel removal and interim storage at Greifswald NPP



Az egyik greifswaldi reaktor tartályának kiemelése és átmeneti tárolása

Reaktorok leszerelése

- **Finanszírozás:**

A működés alatt elért bevételből kell(ene) fedezni a leszerelés és a hulladékelhelyezés költségeit

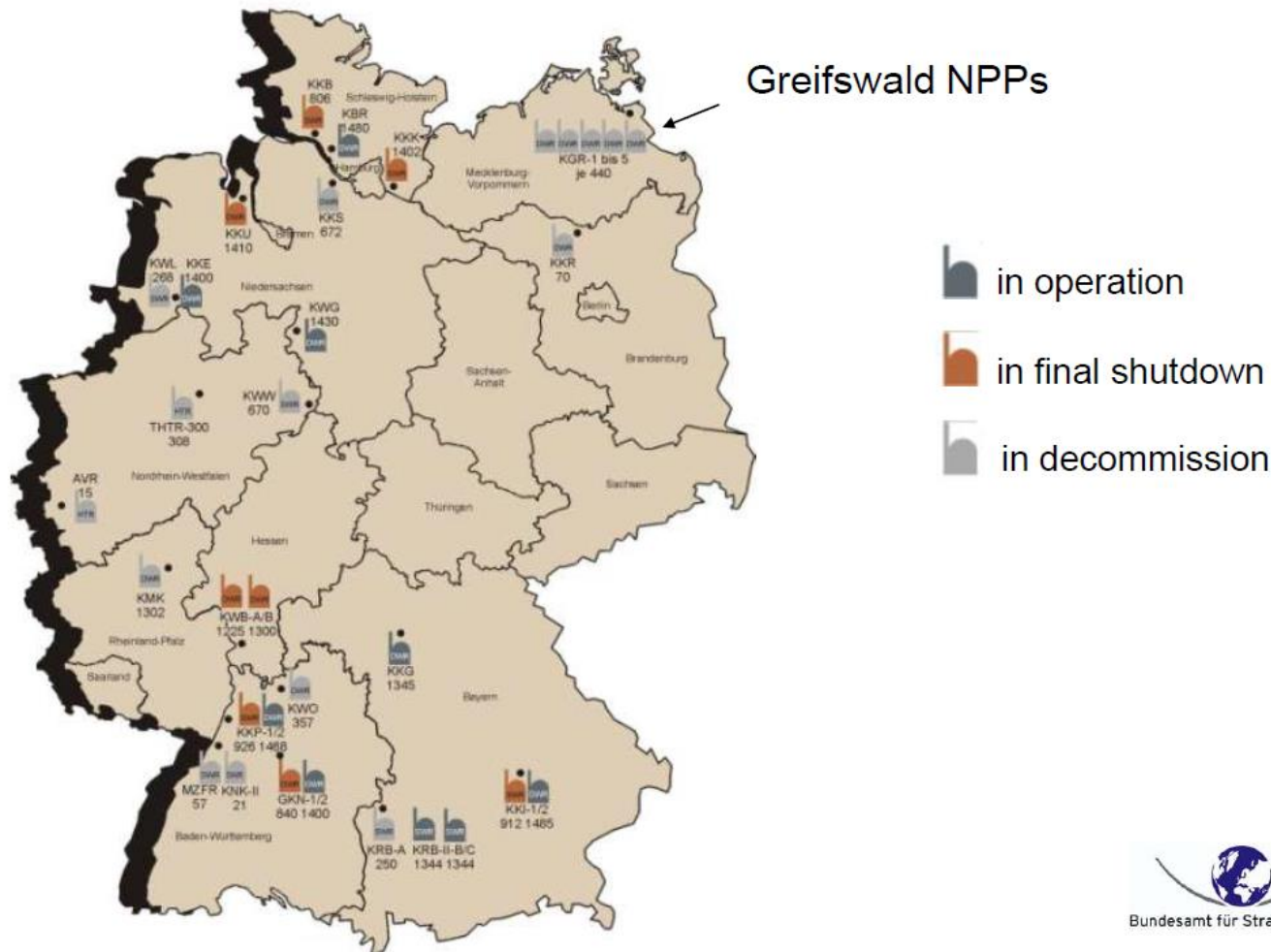
Magyarország: Központi Nukleáris Pénzügyi Alap (KNPA) valorizációval, kezelője: OAH, felhasználója: RHK Kft.

Reaktorok leszerelése

- Felszabadítás: a nem felszabadítható leszerelési radioaktív hulladék mennyisége nagyobb lehet, mint az üzem közben keletkező.
- Felszabadítható anyagok típusai (hozzájuk illeszkedő felszabadítási szintek szükségesek):
 - Törmelék
 - Újrahasznosítható építőanyag
 - Újrahasznosítható épületek
 - Fémhulladék
 - Újrahasznosítható fémek
 - Egyéb anyagok
 - Földterület

Leszerelés alatt álló reaktorok Németországban

Nuclear power plants in Germany, Status August 2011



Greifswald, Németország – 8 reaktorblokk leszerelése

NPP Greifswald, Units 1-5 (KGR)



NPPs
(units 1-5 operational,
units 6-8 under
construction)

Interim Storage
Facility North (ZLN)

- Operation: 1973 – 1990 (units 1-5 nuclear operational)
- Under decommissioning since 1995
- Total area: 170 ha

Véglegesen leállított német atomerőművek

Overview on Decommissioning Projects in Germany

Nuclear power plants and prototype reactors - **permanently shut down without decommissioning licence**

Name	Abbrev.	Reactor type	Power MW _e	Shut-down date	Application for decommissioning
Neckarwestheim-1	GKN 1	PWR	840	06.08.2011	24.04.2013
Philippsburg-1	KKP 1	BWR	926	06.08.2011	24.04.2013 28.01.2014
Isar-1	KKI 1	BWR	912	06.08.2011	04.05.2012
Grafenrheinfeld	KKG	PWR	1345	27.06.2015	28.03.2014
Biblis-A	KWB A	PWR	1225	06.08.2011	06.08.2012
Biblis-B	KWB B	PWR	1300	06.08.2011	06.08.2012
Unterweser	KKU	BWR	1410	06.08.2011	04.05.2012 20.12.2013
Brunsbüttel	KKB	BWR	806	06.08.2011	01.11.2012 19.12.2014
Krümmel	KKK	BWR	1402	06.08.2011	24.08.2015

Radioaktív hulladékok – energiatermelő reaktorok leszerelése során

Greifswald (volt Kelet-Németország): 5 + 3

VVER-440 típusú erőműreaktor leszerelése

„Nuklidvektor a telephely egészére”:

- ^{60}Co – 17% - korróziós termék
- ^{137}Cs – 2% - hasadási termék
- ^{55}Fe – 71% - korróziós termék
- ^{63}Ni – 10% - korróziós termék

4) Különleges hulladékforrások: reaktor- és sugárbalesetek hulladékai

- Reaktorbaleset: „LOCA” vagy „RIA” – hűtőközeg-vesztés vagy reaktivitás szabályozatlan bevitele
- Egyéb (radiológiai) balesetek, amelyek hulladék keletkezésével járhatnak: elveszett sugárforrás „orphan source” stb.

Sugárbalesetek radiográfiás forrásokkal

Event date: 2009-07-27 Event title: Overexposure in field radiography

Facility/place: Oil refinery, Gdansk, Poland

Event abstract: Radiography work with ^{192}Ir source (2.6 TBq) The technician operating a remote crank mechanism was not able to crank in the source to the shielded position. He asked for help from the radiation protection inspector (RPI). The RPI with the second worker came in a hurry forgetting to take their individual dosimeters. The RPI decided to return the source to the shielded position by manually grasping the guide tube and forced the source to move to the shielded container. The source was returned back to the safe position. The incident was on July 27th, but information about it was released on 28 September, when the radiation burns of RPI became advanced. The Regulatory Inspectors investigated the incident in October and finished it in December. The doses of the workers were assessed on the basis of blood test (biodosimetry).

Dose of RPI : whole body dose 365 mSv and external dose on irradiated body surface ~ 5 Sv [Gy].

Dose of 2nd worker: whole body dose 182 mSv and ext. dose on irradiated body surface ~ 2,3 Sv [Gy].

Elhagyott sugárforrások

- IAEA videó: Elhagyott szovjet katonai forrás biztonságba helyezése Grúziában

„Rendkívüli” hulladékkezelési feladat: Paksi üzemzavar 2003.

Válogatás a belső (PAE Zrt.) és a külső (OAH, OSSKI, BME NTI) értékelők előadásaiból.

„Rendkívüli” hulladékkezelési feladat: Paksi üzemzavar 2003 – 2006.

Az üzemanyag kazetták tisztítására az azokon keletkezett magnetit lerakódás eltávolítása miatt volt szükség - a magnetit lerakódás a gőzfejlesztő belső felületén lévő radioaktív anyagok oxálsavas dekontaminálásának következménye volt, ez a korábbi művelet viszont a gőzfejlesztőn szerelést végző személyek védelme érdekében volt szükséges.

A Framatome ANP teljes felelősséggel vállalkozott a tisztítás végrehajtására, beleértve a tervezést, szállítást, helyszíni szerelést és üzemeltetést.

Az üzemzavar alapvető oka a tisztítótartály tervezési hibája volt.

Az üzemzavarral kapcsolatos maximális becsült lakossági sugárterhelés a dózismegszorítás másfél ezreléke.

Az atomerőmű a Nemzetközi Atomenergia Ügynökséggel együttműködve biztonsági felülvizsgálatokat végzett.

A sérült fűtőelemeket (30) az orosz TVEL vállalat szakemberei újratokozták (54), 10 évre a KKÁT-ban helyezték el, és 2016-ban elszállították Oroszországba.

Összegzés 1.

Az atomerőmű alapkövét 1975. október 3.-án tették le. Az első hálózatra kapcsolások:

1. blokk 1982. XII. 28.
2. blokk 1984. IX. 6.
3. blokk 1986. IX. 28.
4. blokk 1987. VIII. 16.

A blokkok névleges teljesítménye 440 MW, a teljesítmény-növelésekkel ezt a későbbiekben több lépésben 500 MW-ra növelték. Az atomerőmű a magyarországi villamosenergia-termelésben meghatározó szerepet tölt be, annak mintegy 40 %-át adja.

Összegzés 2.

Az üzemanyag kazetták tisztítására az azokon keletkezett magnetit (vasoxid) lerakódás eltávolítása miatt volt szükség.

A magnetit lerakódás a gőzfejlesztő belső felületén lévő radioaktív anyagok vegyi úton történő eltávolításának következménye volt, melyet a gőzfejlesztőn szerelést végző dolgozók sugárvédelme és a kieső üzemórák számának csökkentése érdekében vezettek be.

A Framatome ANP francia vállalat teljes felelősséggel vállalkozott a tisztítás végrehajtására, beleértve a tervezést, szállítást, helyszíni szerelést és üzemeltetést.

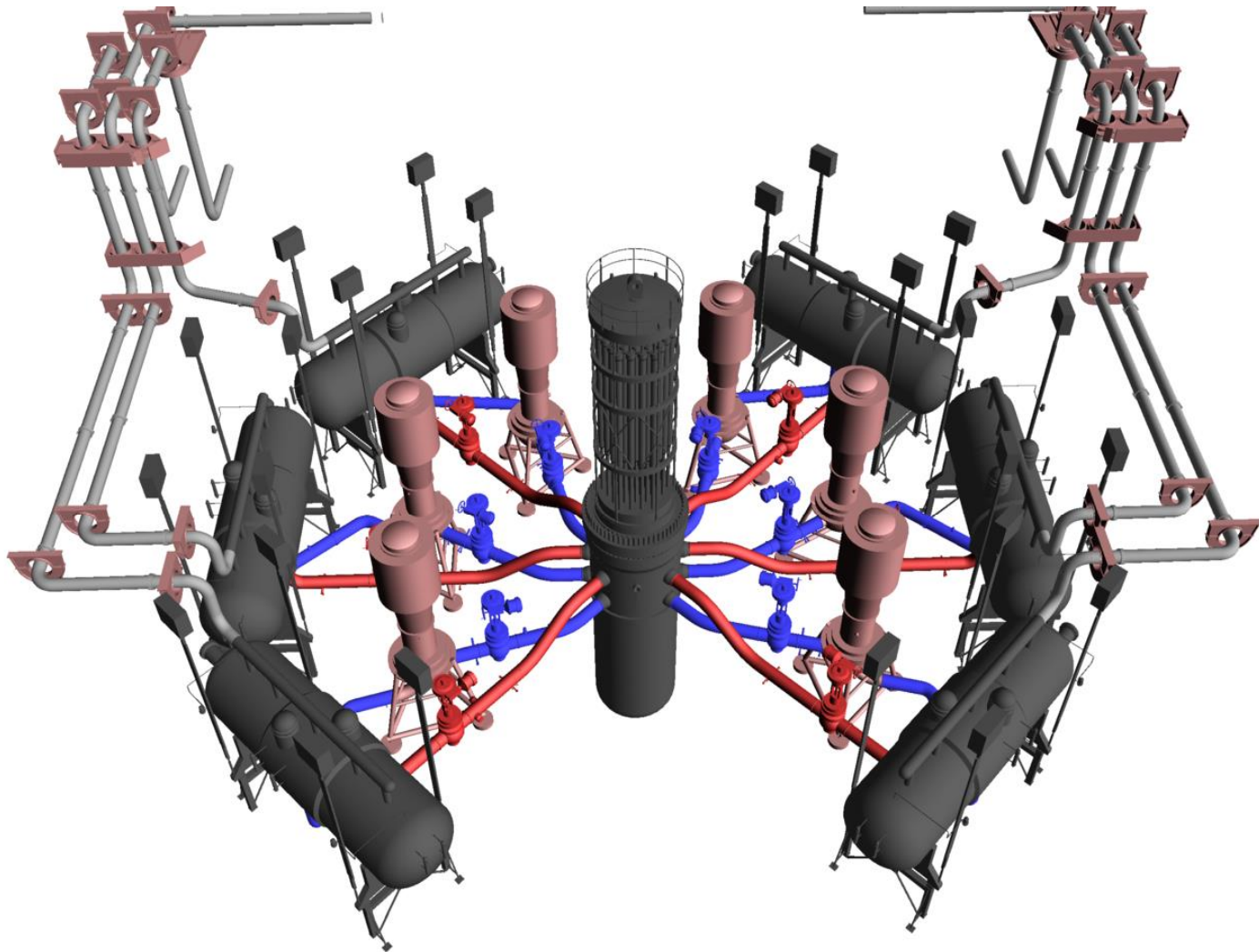
Összegzés 3.

Az üzemzavar alapvető oka a tisztítótartály tervezési hibája volt.

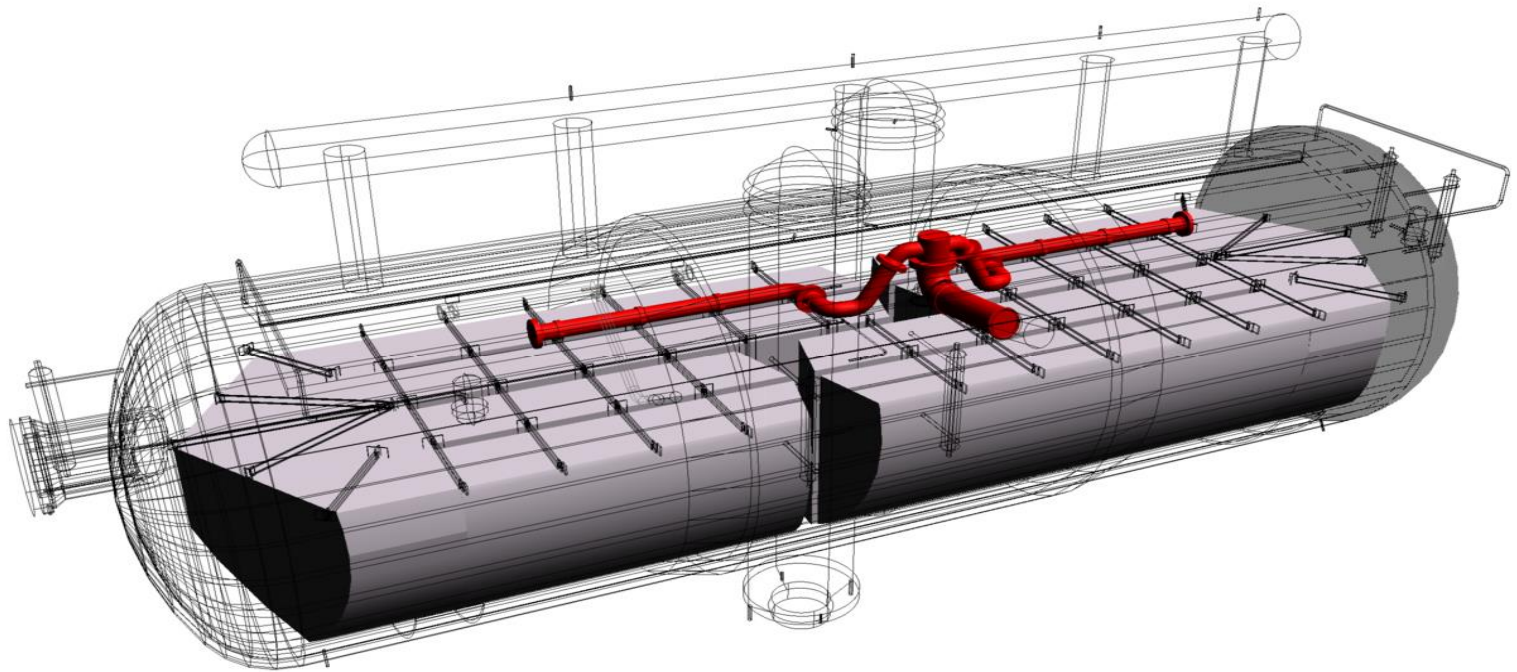
Az üzemzavarral kapcsolatos lakossági sugárterhelés az éves határérték másfél ezreléke.

Az atomerőműben olyan környezetre van szükség, amely biztosítja, hogy hasonló jellegű üzemzavar semmilyen körülmények közt se forduljon elő. Az ezzel kapcsolatos elemző, átvilágító és korrekációs munkákat az engedélyes a Nemzetközi Atomenergia Ügynökséggel szoros együttműködésben folytatta le.

Előzmények



Előzmények



Előzmények

A vezetékcsere jobb munkafeltételei, a karbantartó személyzet egészségének védelme érdekében végzett vegyi sugármentesítés (=dekontaminálás) eltávolította a szennyeződés jelentős részét, de más változásokat is előidézett:

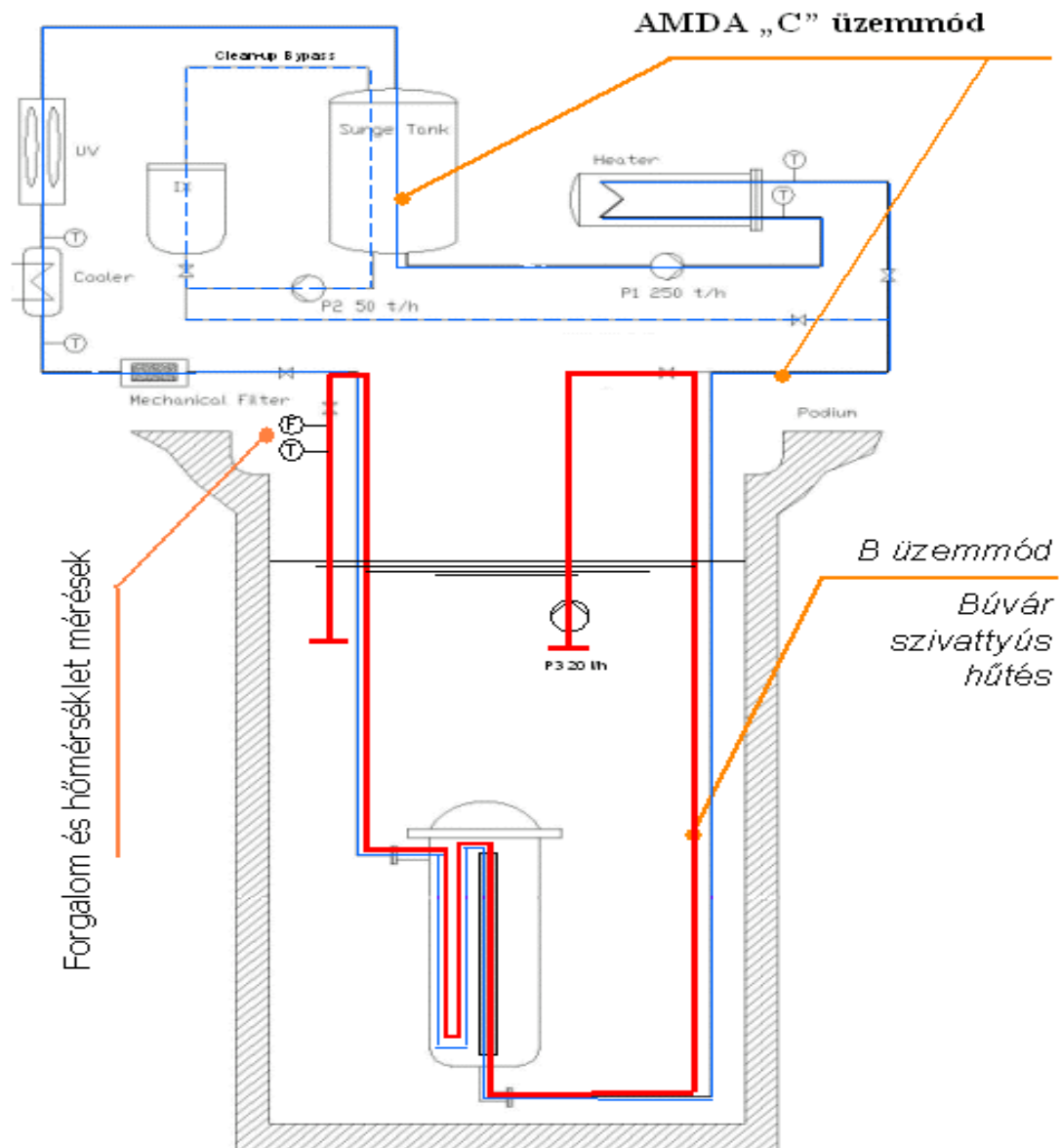
- Üzem közben a reaktorban a fűtőelem kötegek üzemanyag pálcáinak felületére a gőzfejlesztőből fellazított magnetit rakódott le, ami szűkítette az áramlási keresztmetszetet, így növelte az áramlási ellenállást.
- Emiatt a reaktor üzemeltetésére előírt biztonsági korlátok betartása a teljesítmény csökkentését tette szükségessé.
- Ezért a lerakódás eltávolítása feltétlen indokoltá vált, amit az Országos Atomenergia Hivatal Nukleáris Biztonsági Igazgatóság vonatkozó határozatai is megerősítettek.

Előzmények

- A kazetták további használhatósága érdekében a felületek kémiai tisztításáról döntöttek.
- 1999-ben nemzetközi versenyeztetés után a Siemens KWU kapott megbízást a munkára. Kifejlesztett egy technológiát, azzal 2000-ben és 2001-ben sikeresen megtisztított 170 kazettát. A tartály egyszerre 7 kazetta tisztítására volt alkalmas.
- 2002-ben az addigi munkát referenciának tekintve a Framatome ANP (a Siemens KWU jogutóda ezen a területen) kapott ismét megbízást, de most már egyszerre 30 kazetta tisztítására alkalmas tartály tervezése volt a feladata.

A tisztítórendszer

- „C” üzemmód: oxálsavas mosatás
- „B” üzemmód: tisztító tartályban levő kazetták hűtése



A tisztítótartály



Az üzemzavar

- A kémiai tisztítás befejeződése után a kazetták visszahelyezhetők eredeti helyükre. Ehhez a tartály fedelét ki kell nyitni, majd daruval leemelni.
- Öt ízben a 30 db kazetta tekintetében történő kémiai tisztítás sikeresen befejeződött, azonban az újabb, 6. tisztítási folyamat után a fedél későbbi felnyitásról döntöttek. Átálltak a kazetták hűtését jelentő „B” (várakozó) üzemmódra.
- Kb. öt óra múlva radioaktív nemesgáz jelent meg mind a technológia ellenőrző műszerénél, mind a reaktorcsarnokban.

Az üzemzavar

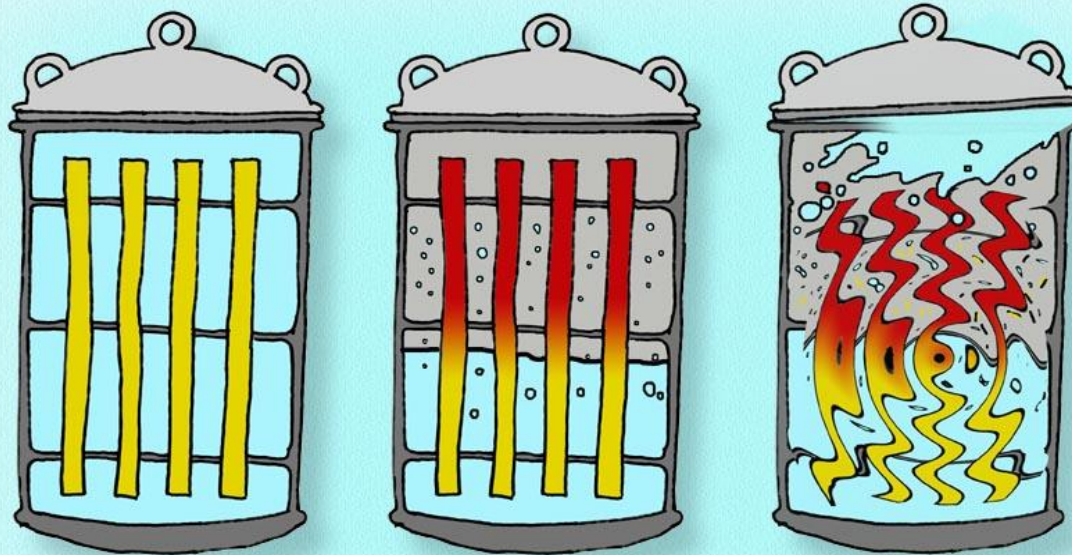
- A reaktorcsarnokot kiürítették, értékelték a helyzetet, döntöttek a tisztítótartály felnyitásáról.
- Április 11-én hajnalban nyitották a fedelet, annak teljes levételére nem került sor.
- A fedél felnyitásakor megnőtt az aktivitás értéke. A beáramló hideg víz „hősokkot” okozott, a kazetták összetörtek.
- Az eseményt a 7 fokozatú INES skálán először a 2., „üzemzavar” fokozatba sorolták, a nukleáris hatóság ezt jóváhagyta.
- A fedél későbbi leemelését követő kamerás vizsgálat tette ismertté, hogy az összes kazetta sérült. Ez új besorolást eredményezett, **INES 3**, azaz súlyos üzemzavar minősítést kapott a hatóság jóváhagyásával.

Az üzemzavar

A sérülés rekonstruált menete:

- A tartályban lévő víz felforrt, a gőz egyre nagyobb teret foglalt el, a hőmérséklet emelkedett.
- A pálcák cirkónium burkolata képlékennyé vált, a belső gáznyomás felduzzasztotta, helyenként kilyukasztotta azt.
- A kazetta burkolat oxidálódott, így elridegedett.
- A fedél megnyitásakor a gőz felfelé távozott, a pálcák alulról vizet kaptak, a hirtelen keletkező gőz a burkolatot sok helyen roncsolta.
- Később a víz felülről áramlott a tartályba, a magasabban lévő kazettarészeket hűtés érte, a rideg burkolat sok helyen megrepedt, eltört.
- A kerámiaszerű urán-dioxid pasztillák nem olvadtak meg.

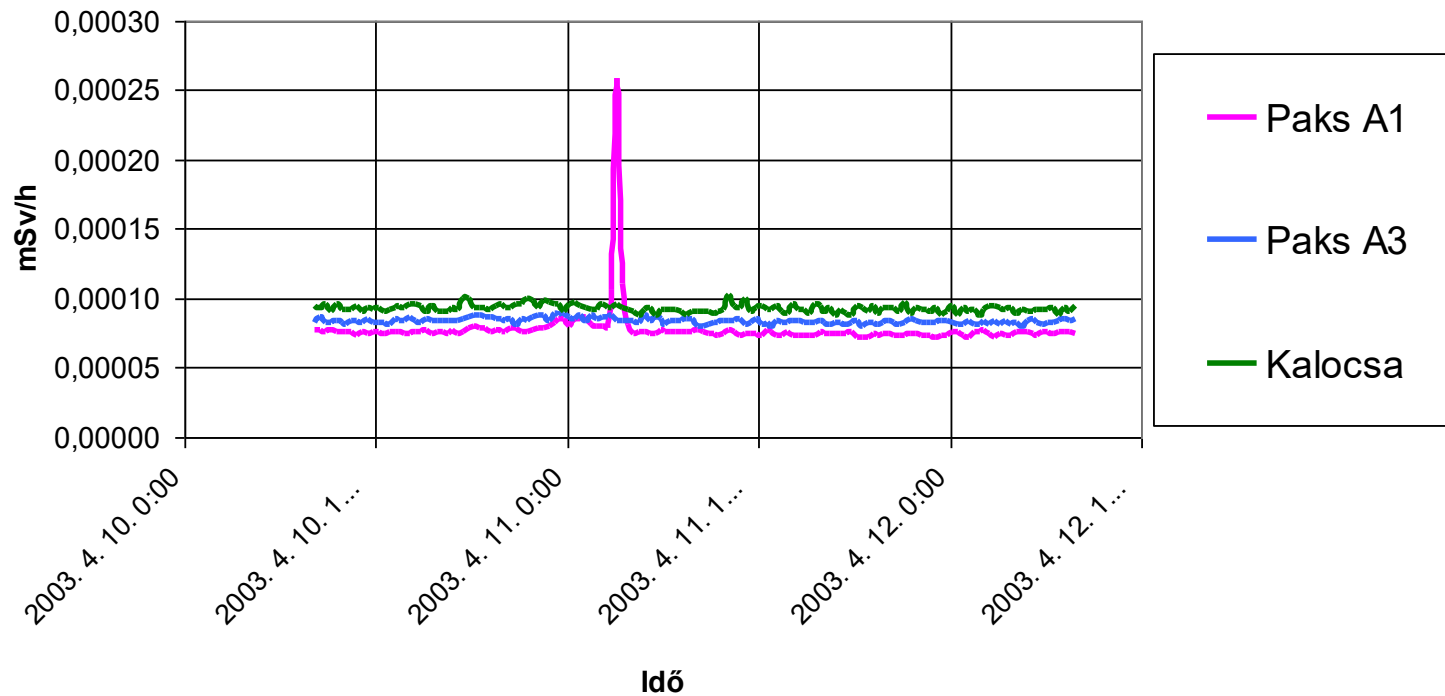
Az üzemzavar



Sugárzási viszonyok

**Távmérő Hálózat PA Rt. A1 állomás
2003. április 10-12.**

Napi diagram



Következmények

- Megnőtt a radioaktív kibocsátás. A számítások szerint a legérintettebb lakosok jelentéktelen kismértékű, az éves határértéknél három nagyságrenddel kisebb többlet sugárterhelést kaptak.
- Megsérült mind a 30 kezelt kazetta.
- Használhatatlanná vált az „1. sz. akna” és elszennyeződött a vele összekapcsolt pihentető medence is.
- A 2. blokk újraindítása összetett intézkedés-sorozatot igényelt.
- El kellett végezni az üzemzavar következményeinek felszámolását, azaz a helyreállítást.

Következmények

Tartályon belüli állapotok

- Külső kamerás vizsgálatok az üzemzavart követően kb. 3 méter távolságból április 16-án.
- Az újabb mérések kiépítése után részletes kamerás vizsgálatok június közepén, a kamera kb. 50 cm-re közelítette meg a tartályt.
- Az összes kazetta megsérült, egy részük felhasadt és a bennük lévő pálcák egy része kisebb darabokra tört.
- Újabb vizuális vizsgálati programokat szerveztek (először külső, majd behatolásos vizsgálatok).

Következmények

Az esemény során kibocsátott radioaktivitás okozta többlet lakossági dózis (Paksra számítva)

- A kibocsátás által okozott többletdózis 0,13 μSv
- Hatósági éves dózismegszorítás az atomerőműre 90 μSv
- Mellkas átvilágítás 200 μSv
- Egy főre eső átlagos éves orvosi alkalmazás hatása 300 μSv
- Egy évi természetes sugárterhelés 2400 μSv

Sugárzási viszonyok

EGYES DÓZISSZINTEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

mSv (millisievert)

2,4

évi természetes háttér

1,0

évi lakossági dóziskorlát

0,010

„jelentéktelen” dózis

0,0001 - 0,0003

az erőmű közelében élők
évi többletterhelése

0,0001 - 0,000001

2003. április
súlyos üzemzavar
30 km sugarú körzetben

Példák egyes orvosi vizsgálatok sugárterheléséről

0,01 mSv

fogászati felvétel

0,1

mellkasi röntgenfelvétel

0,5

emlővizsgálat

1,0

gerincfelvétel

17,0

bélvizsgálat

Paks 2003. – OAH NBI jelentés

1. Az esemény megnevezése: A FRAMATOME ANP (továbbiakban: FANP) által tervezett, gyártott és üzemeltetett tisztító berendezésben 2003. április 10-11-én bekövetkezett üzemanyag sérülés
2. Az érintett blokk száma: 2.
3. Az esemény kezdetének időpontja: 2003.04.10. 22:00
4. Az esemény INES szerinti besorolása: 2003. április 11-én a minősítés 2. fokozat, 2003. április 17-én a végleges minősítés 3. fokozat.
5. Az esemény során megsértett MŰSZ előírás: 5.5.1.1.2.a
6. Az esemény során a MŰSZ mely pontja hatálya alá került a blokk: 6.2.2.5/d

Paks 2003. – OAH NBI jelentés

7. Az esemény rövid összefoglalása:

2003.04.10-én a 2-es blokk tervezett főjavítás alatt állt. Az üzemanyag kazetták tisztítása az 1. számú aknában zajlott, emellett a reaktor belső elemeinek tisztítása volt folyamatban. A 4. tisztító konténerbe (6-os töltet) rakott üzemanyag kazetták tisztítási programja 16:55-re befejeződött, a reaktor belső elemeinek tisztítása még folyamatban volt. A konténer 37°C -os hűtött állapotban tartását FRAMATOME ANP (FANP) dolgozói folyamatosan végezték, bővorszivattyús keringtetéssel. 21:53 -kor a tisztító körön elhelyezett kripton mérésen az ott dolgozók aktivitás megjelenését észlelték, ugyanakkor a reaktor csarnok nemességz aktivitás-koncentráció mérések „vész” szintet értek el, majd a szellőzőkémény üzemi dozimetriai rendszerrel a nemességz aktivitás kibocsátás hirtelen növekedését jelezték (max. $0,2 \times 10^{13}$ Bq/10 min). Az ÜM elrendelte a reaktorcsarnokban végzett munkák felfüggesztését, illetve a terület elhagyását. Az esemény értékelésére és a teendők meghatározására rendkívüli KMB-t hívtak össze. A tisztító tartály nyitását, vizuális vizsgálatot, lehetőség esetén az inheretikus kazetta elkülönítést, illetve a pihenítő medence és az 1-es akna vízének elemzését határozták el legstingősebb feladatként. A vízkémiai elemzés első eredményei 2003. 04.11-én 04:00-kor készültek el. A mintában Cs-134, Cs-137, I-131, I-132, Xe-133, Kr-85m hasadványokat azonosítottak, 10^4 - 10^7 Bq/kg aktivitás szinttel. A tisztítókonténer fedelének hidraulikus záró szerkezetét 02:15-kor FANP oldotta. Közvetlenül ez után a dozimetriai ellenőrző rendszeren ugrásszerű aktivitásnövekedés volt tapasztalható és ugyanebben az időpontban a pihenítő medence vízszintjének mintegy 7 cm-es csökkenését észlelték. A tisztítótartály fedelének levétele kísérlete során a speciális három ágú fedélemelő kötél egyik ága elszakadt, így a levétel sikertelen volt. 2003. 04. 16-án a fedél kismelését követő videó kamerás ellenőrzés során azt tapasztalták, hogy a kazetták sérülése jelentősebb, mint azt előzetesen feltételezték.

Paks 2003 – BME NTI jelentés - BEVEZETÉS

*A helyzet első értékelése: **nem volt NVH***

A hatások vizsgálatának irányai:

- Foglalkozási sugárterhelés (üzem)
az üzemi méréseket és a védelmi intézkedéseket a MÜSZ és a FU-BIZT-04 folyamatutasítás, azaz az MSSZ alapján a **PAE SVO** munkatársai végezték.
- Lakossági sugárterhelés (környezet)
mérések: **PAE ÜKSER, HAKSER**

Paks 2003 – BME NTI jelentés - ÜZEMI SUGÁRTERHELÉS

Személyi dózismérés eredményei– paksi és külső munkavállalók

Nem volt szisztematikus eltérés az egyes, hitelesített eszközökkel végzett mérési eljárások között.

- Az üzemzavart követő 30 nap során az üzemzavar helyszínén használt személyi dózismérők száma 1602,
- a teljes rögzített kollektív dózis 158 személy×mSv volt, Az egy alkalommal kapott átlagos dózis mintegy 100 µSv (= a hatósági személyi dózismérők eseti kimutatási szintje; a sugárveszélyes munkahelyek általános feljegyzési szintje)

Az ellenőrzött munkaterületen végzett egy folytatólagos műszak alkalmával kapott maximális személyi sugárterhelés 2,0 mSv volt;

Az adott időszakra vonatkozóan összegzett maximális személyi dózis 4,4 mSv volt (A hatósági kivizsgálási szint 6 mSv - a „konzervatív” éves foglalkozási dóziskorlát 30 %-a) Az üzemi rendelkezések ennél kisebb dózis esetében is előírhatják a kivizsgálást, az OSSKI ajánlása szerint a „minimális” kivizsgálási szint 2 mSv/alkalom. „Önálló” sugárvédelmi kivizsgálási eljárás 2 esetben folyt, az „engedélyezett dózisszint” túllépése miatt..

A kollektív dózis maximális értéke a tisztítótartály zárófedelének leemelése napján adódott (37 személy.mSv), ezt a műveletet már részletes sugárvédelmi tervezés után hajtották végre.

Paks 2003 – BME NTI jelentés - ÜZEMI SUGÁRTERHELÉS

Személyi dózismérés eredményei – egyéb munkavállalók

- A FANP alkalmazottaira vonatkozó adatokat a paksi alkalmazottak adataival együtt dolgozták fel és értékelték.
- A BME Nukleáris Technikai Intézetének (NTI) egyes munkatársai szerződéses megbízás keretében rendszeresen felügyelték a paksi reaktorok időszakos zónaátrakási munkálatait, így történt ez az üzemzavar alkalmával is. A vizsgált időszakban a PAE-ben tartózkodó személyek közül 3 fő hatósági személyi dózismérési eredményei haladták meg a feljegyzési szintet (100 μSv /alkalom). Közülük a legnagyobb érték **1,6 mSv** volt.
- Megállapítottuk, hogy az érintett személy
 - Engedéllyel és jogosultan tartózkodott a munkahelyen;
 - Nem volt jelen az üzemzavar bekövetkezésekor;
 - Folyamatosan betartotta az ott érvényes sugárvédelmi előírásokat, és
 - Végrehajtotta a helyszínen intézkedésre jogosult munkahelyi vezetők utasításait.

Paks 2003 – BME NTI jelentés - ÜZEMI SUGÁRTERHELÉS

Dózisteljesítmény-mérés

„Területi” dózisteljesítmény-mérés: előnyös (esetenként kötelező), hogy ezek a berendezések is „személyi dózisegyenérték” mérésére legyenek hitelesítve.

A reaktorpódiumon, az 1. sz. akna felett (változó mértékű árnyékolás mellett) mért fotondózis-teljesítmény (dt.) a vizsgált időszak első napján elérte a **60 mSv/h** értéket, és az első napokban nem csökkent **8 mSv/h** alá. Az 1. akna felett, a tisztítótartály fedelének leemelése során, illetve annak következtében a dt. növekedett, és IV. 16.-án elérte a **14 mSv/h**-t, de utána a csökkenés folytatódott.

A személyi dózisok értékelésénél bemutatott adatok azért lehettek ilyen kedvezőek, mert a tervszerű és pontos sugárvédelmi munka még ilyen nagy dózisteljesítmény mellett is elviselhető személyi dózisokat eredményezett.

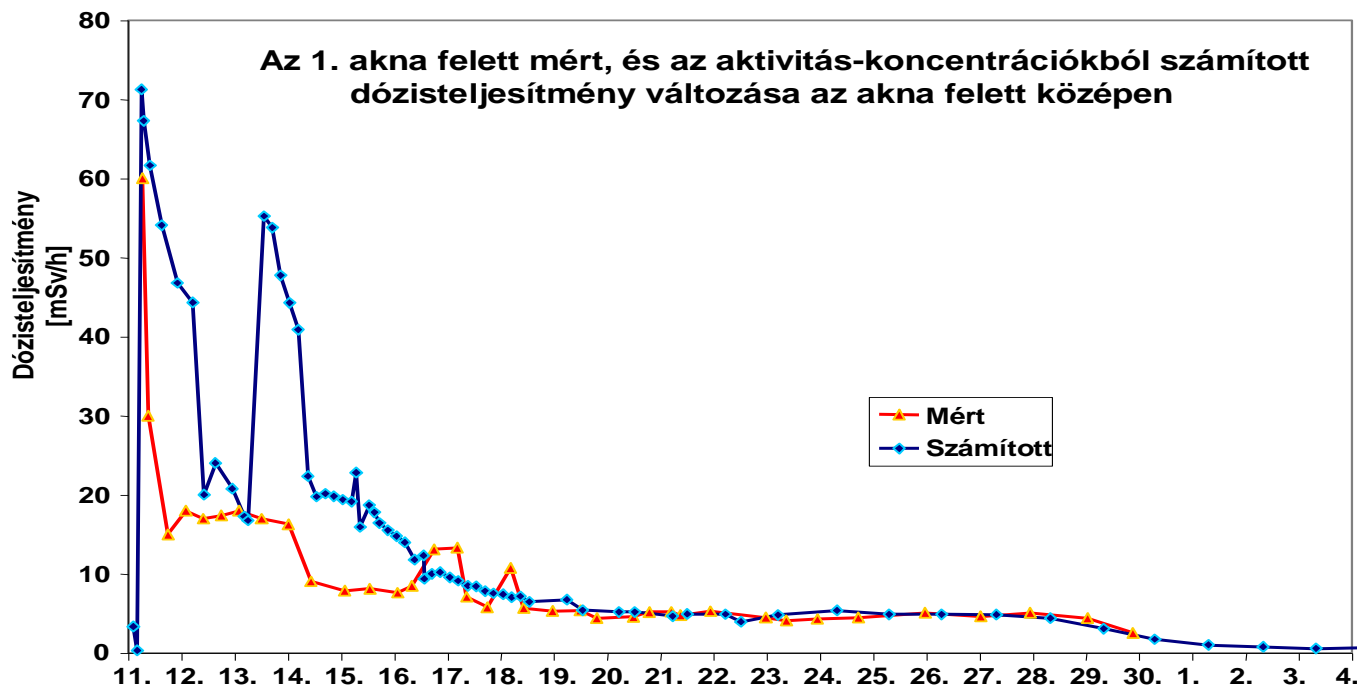
Paks 2003 – BME NTI jelentés - ÜZEMI SUGÁRTERHELÉS

Dózisteljesítmény számítása

PAE Sugárvédelmi Osztály (SVO) - tervezőprogram: *MicroShield*

A mért és számított értékek közötti eltérés lehetséges oka:

- a forrástag pontatlan összeállítása;
- az árnyékoló anyagok pontatlan összeállítása.



Paks 2003 – BME NTI jelentés - ÜZEMI SUGÁRTERHELÉS

A PAE-ben (forrás: PAE SVO) a belső sugárterhelésre vonatkozó kivizsgálási szint **100 μSv** effektív dózis volt az adott munkaidőre vonatkoztatva. Ezt 4 fő érte el a vizsgált időszakban.

A legnagyobb érték **550 μSv** volt, amit elsősorban ^{131}I inhalációja okozott (540 μSv). A másik három személy belső sugárterhelése: 200 μSv , 180 μSv és 140 μSv volt, ami szintén ^{131}I -től származott. („Darukezelő” eset – OSSKI-s ellenőrző vizsgálat is történt.)

Az értékek megnyugtatóan kicsik.

Paks 2003 – BME NTI jelentés - LAKOSSÁGI SUGÁRTERHELÉS

$$KHK = \sum_i \frac{A_{ki,i}}{KH_i}$$

Kibocsátási határérték-
kritérium

A_{ki} [Bq/év]: az egyes radionuklidok 1 év alatt kibocsátott radioaktivitása;
 i : az összes, a létesítmény kibocsátását illetően a hatósági vizsgálati eljárás során jelentősnek ítélt radionuklid

A KHK betartása esetén a létesítményből adott útvonalakon és adott fizikai és kémiai formában kikerülő radioaktivitás a rá nézve legérzékenyebb lakossági egyedek számára sem okoz (a legkedvezőtlenebb forgatókönyv esetén sem) a dózismegszorítást meghaladó effektív dózist.

Az új kibocsátási határértékek hatályba léptetéséig *érvényben maradtak a korábbi*, még az 1980-as évekből „visszamaradt” *hatósági határértékek* (üzemi korlátok), amelyek a kibocsátási szinteket a megtermelt elektromos energiával hozták közvetlen kapcsolatba, és azonosak voltak az akkor hatályos paksi Műszaki Üzemeltetési Szabályzatban foglalt értékekkel.

Paks 2003 – BME NTI jelentés - LAKOSSÁGI SUGÁRTERHELÉS

A párhuzamos mérési eredmények közül a legkedvezőtlenebbet fogadták el. Az eredményeket a PAE SVO-tól vettük át.

	Mérték- egység	Nemesgáz	Aeroszol (T1/2>24h)	¹³¹I egyen- érték	^{89,90}Sr
Kibocsátás IV.10. - V.10. között	Bq	$4,7 \cdot 10^{14}$	$6,6 \cdot 10^9$	$4,1 \cdot 10^{11}$	$6,8 \cdot 10^6$
Átlagos napi kibocsátás	Bq/nap	$1,6 \cdot 10^{13}$	$2,2 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^{10}$	$2,3 \cdot 10^5$
Üzemi korlát	Bq/nap	$1,8 \cdot 10^{13}$	$1,0 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^9$	$5,2 \cdot 10^4$
Korlát kihasználás	%	88	21	1310	430

Paks 2003 – BME NTI jelentés - LAKOSSÁGI SUGÁRTERHELÉS

ÜKSER-eredmények :

- A legintenzívebb nemesgáz-kibocsátás alatt, IV. 11.-én hajnalban az akkori szélirányba eső „A1” állomás dt.-mérője **250 nSv/h** többletet regisztrált. (Az országos OKSER hálózat riasztási küszöbszintje 500 nSv/h - a rendszer nem generált riasztást)
- A jódmérések közül a legnagyobb értékeket az elemi jód meghatározására szolgáló berendezések mutatták. A maximális érték, ami a szél mozgásának és a kibocsátás időbeli alakulásának megfelelően egy-két órán át volt mérhető, mintegy **5 Bq/m³** volt.

Paks 2003 – BME NTI jelentés - LAKOSSÁGI SUGÁRTERHELÉS

A HAKSER-mérések döntő többsége a kimutatási határ alatti eredményeket hozott. Az egy évnél is lényegesen hosszabb felezési idejű komponensek esetében (^{137}Cs , ^{90}Sr stb.) a „kimutathatóság” azt jelenti, hogy az adott mintában a környezetben más okokból már korábban jelen lévő radioaktivitás *szignifikáns növekményét* kellene detektálni.

Néhány, az átlagost *jelentősen meghaladó* mérési eredmény:

- *Aeroszol*: **13 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$** ^{131}I a reaktortól mintegy 30 km-re;
- *Fű*: **43 Bq/kg** ^{131}I (száraz tömegre, a reaktortól mintegy 10 km-re);
- *In-situ gamma-spektrometria*: **260 Bq/m²** ^{131}I a reaktortól mintegy 1 km-re.

A radiojód tipikusan $1 - 10 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ koncentrációban Budapest levegőjében is nagy gyakorisággal megtalálható.

A mérések érzékenysége megfelelő: teljesül az az általános sugárbiztonsági kritérium, hogy a kimutatható radioaktivitás mennyiségéből becsülhető inkorporáció az „elhanyagolható” dózisonál ($10 \mu\text{Sv}/\text{év}$) jelentősen kisebb effektív dózist eredményez.

Paks 2003 – BME NTI jelentés - LAKOSSÁGI SUGÁRTERHELÉS

A PAE SVO két terjedésszámító programot alkalmaz:

- a normális helyzetekre kidolgozott NORMDOS és
- a baleseti helyzetekre szolgáló **BALDOS** kódokat.

Az üzemzavari helyzetben ez utóbbit használták. A BALDOS alkalmazása nem kapcsolódik automatikusan „baleseti” szituációhoz, jobban megfelelt az üzemzavari kibocsátás eseti, akut jellegének, mint a sztatikus körülményekre vonatkozó NORMDOS.

A HAKSER egyes tagjainál az alábbi, nemzetközi összehasonlító vizsgálatokban validált programok álltak rendelkezésre:

- **BALDOS** (AEKI – Paks számára fejlesztve),
- **SINAC** (AEKI (most MTA EK) – OAH számára fejlesztve),
- **RODOS** (OKF NBIÉK – nemzetközi fejlesztés),
- **SS-57** (OSSKI).

Paks 2003 – BME NTI jelentés - LAKOSSÁGI SUGÁRTERHELÉS

A dózisszámítások eredményeit összehasonlítva kitűnt, hogy

- A becsült lakossági effektív dózis az üzemzavar következtében az összes besugárzási útvonal összegzésével 0,1 – 0,2 μ Sv-nek adódott, mindegyik programmal.
- Nem volt ritka egyes, elvileg azonos módon számított részeredményeknél a két nagyságrendnyi eltérés sem a programok között.
- A programok bemenő adatainak (forrástag, meteorológiai paraméterek stb.) eltérő struktúrája nagyon zavarja az összehasonlíthatóságot.

Paks 2003 – BME NTI jelentés - A sugárterhelés csökkentésének lehetőségei

1. A tartózkodási idő csökkentése

Az érintett területre a rendkívüli helyzet észlelését követően az ügyeletes mérnök elrendelte a munkák felfüggesztését és a terület elhagyását. Az üzemzavar részletes vizsgálati anyagai szerint az „észlelés”

- a tisztítókörbe beépített „kryptonmérő”,
- a reaktorcsarnok légterének mintázásával működő „nemesgázmérő”, és
- a szellőzőkémény kibocsátás-ellenőrző rendszerei (KALINA, NEKISE) jelzéseinek értékelését jelentette.

Az intézkedést megfelelő mérlegelés után, elegendően gyorsan hozták meg, ezt a bemutatott dózिसadatok kellően alátámasztják.

2. A hozzáférés korlátozása

Az üzemzavar észlelését követően az SVO megváltoztatta az érintett helyiségek hozzáférési szabályait: oda csak „*dozimetriai engedély*” birtokában, azaz a konkrét szituációra vonatkozó sugárvédelmi tervezés után lehetett belépni. Az intézkedés hatása közvetlenül nem határozható meg, mert nincs olyan „összehasonlító” csoport, akiknek a dózисát nem befolyásolta ez az intézkedés-sorozat.

3. Szellőztetés

A normális légcsere fenntartása az üzemzavar során helyes intézkedés volt. Elvileg létezhet olyan sugárzási helyzet, amikor az optimális sugárvédelmi intézkedés éppen a szellőzés rövid időre történő leállítása lehet, de ez esetünkben kizárható. (Elegendő összevetnünk a „bent” és „kint” okozott dózисok mértékét.)

5) Radioaktív hulladékok feldolgozása a Paksi Atomerőműben

Előkészítő eljárás: primer- és szekunder vízkör vizének előtisztítása

UPCORE technológia (1998 óta)

4 db nátrium ciklusú ioncserélő Σ 240 t/h

6 db UPCORE sótelenítő egység: Σ 720 t/h

4 db kevertágyas utófinomító egység: Σ 480 t/h

- Ioncserélő: DOWEX C-9 UG
- Regenerálás sebessége 40 m³/h

Hulladékfeldolgozás a Paksi Atomerőműben

- UPCORE – általános víztisztítási eljárás ellenáramú ioncserélő oszlopokkal, mozgó gyantaággal
- Anion- és kationcserélő gyanták (legalább 3: erősen savas, gyengén és erősen bázikus gyanta)

Radioaktív hulladékok feldolgozása

– Paksi Atomerőmű

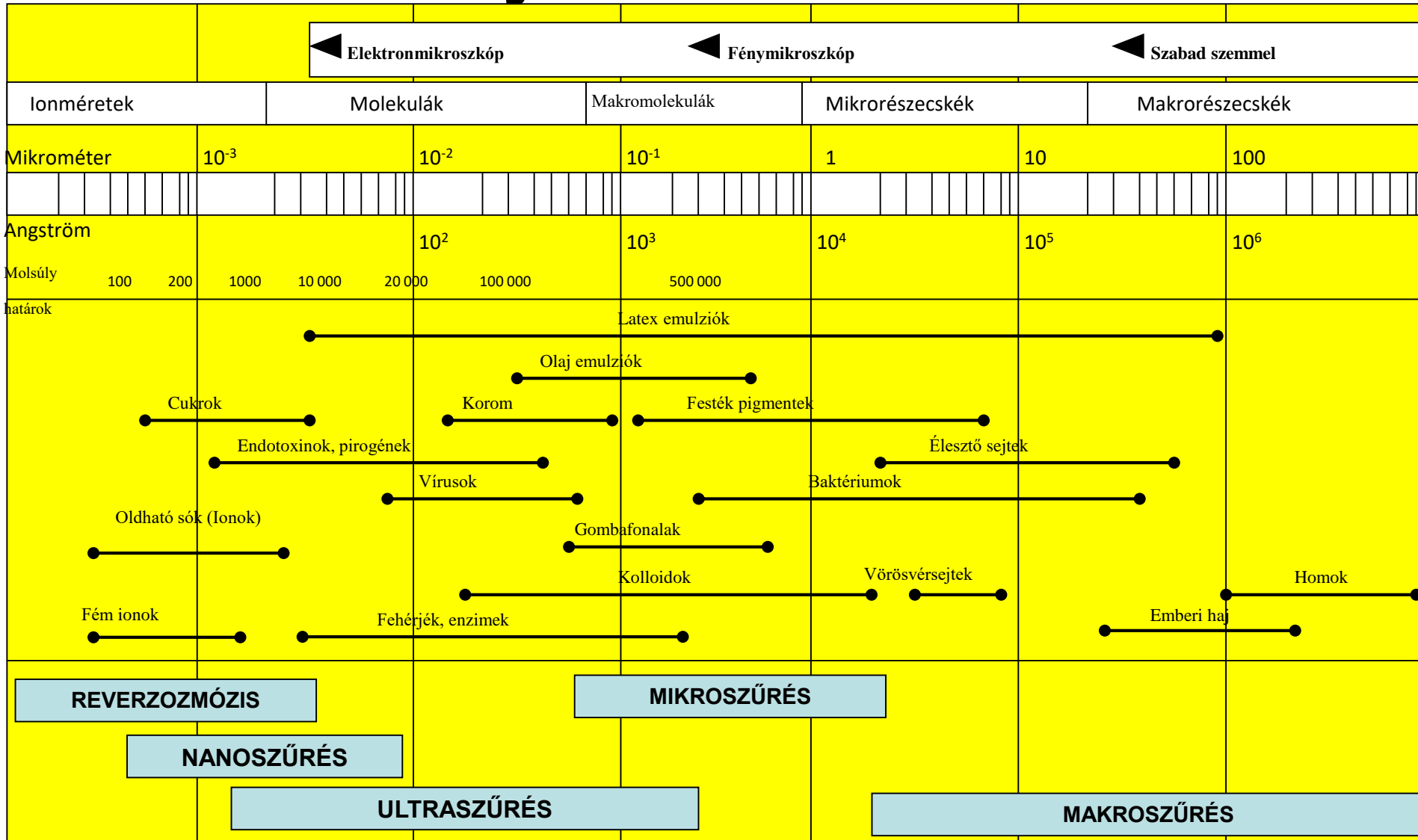
FHF (folyékony hulladék-feldolgozó) technológia
 ^{60}Co és ^{137}Cs elválasztása a bepárlási
maradékokból

- Kobalt komplexek oxidatív bontása, lúgos lecsapás, mechanikus szűrés
- Bórsav visszanyerése (présszűrő)
- Ultraszűrés: radiokolloidok kivonása
- Cézium elválasztása hexacianoferrát ioncserélőn
- A szűrlet kibocsátható, a bórsavlepeny felszabadítható

FHF-technológia - ultraszűrés



A szűrési folyamatok mérethatárai



1 Å = 10^{-10} méter = 10^{-4} µm (mikron)

6. Radioaktív hulladékok szállítása

Törésteszt-videók

<http://www.youtube.com/watch?v=1mHtOW-OBO4>

http://www.youtube.com/watch?v=N_JhruRobRI

7. Hulladékok átmeneti és végleges elhelyezése – Mérnöki gátak

Mérnöki gátak – ki- vagy bejutni képes víz megkötése

Bentonit

Agyagszármazék (ásványi fő komponensek: montmorillonit vagy illit), adalékozással optimálják. Saját térfogatánál 15 - 20-szor nagyobb mennyiségű vizet is képes megkötni. Magyarországon a Kemenesalján és a Mátra környékén bányásszák az alapanyagot.

SiO_2 - >60 %

Al_2O_3 - >20 %

Továbbá Ca, Mg, Na, K-ionok.

A megkívánt szivárgási tényező $k < 5 \cdot 10^{-9}$ [m/s]

Mérnöki gátak - bentonit

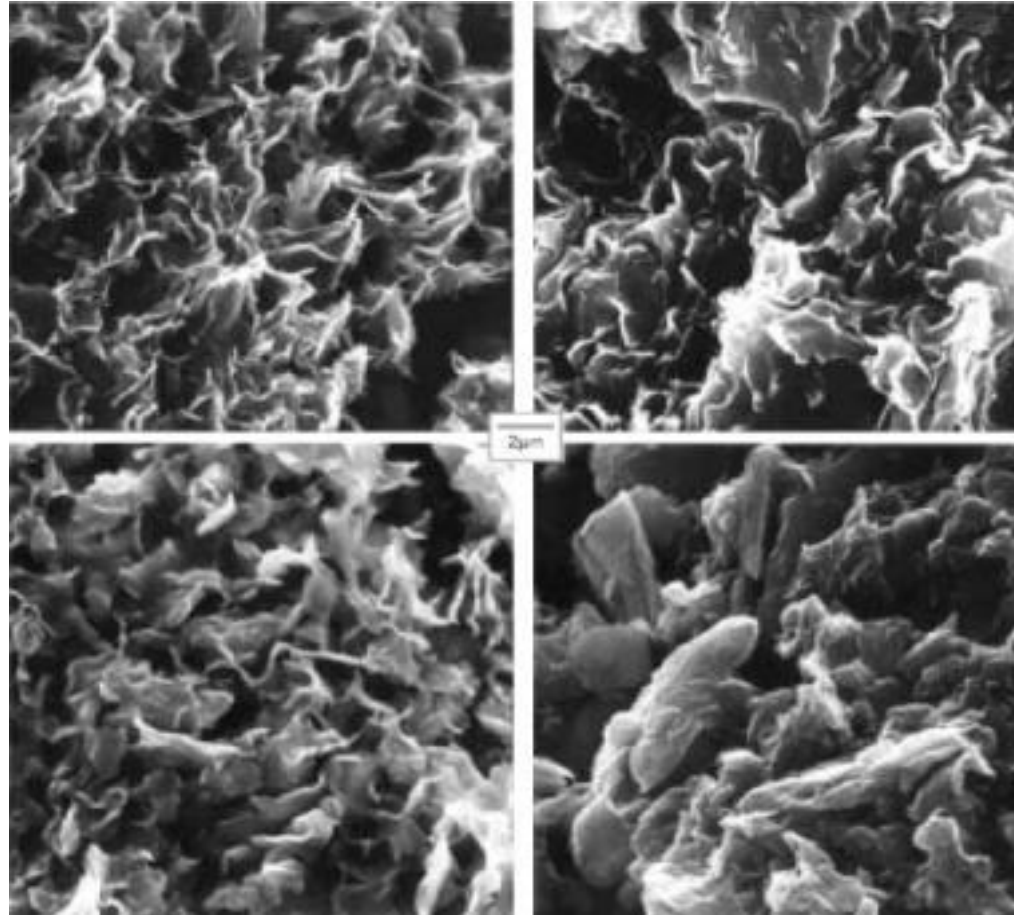


Na-bentonit



Ca-bentonit

Mérnöki gátak - bentonit

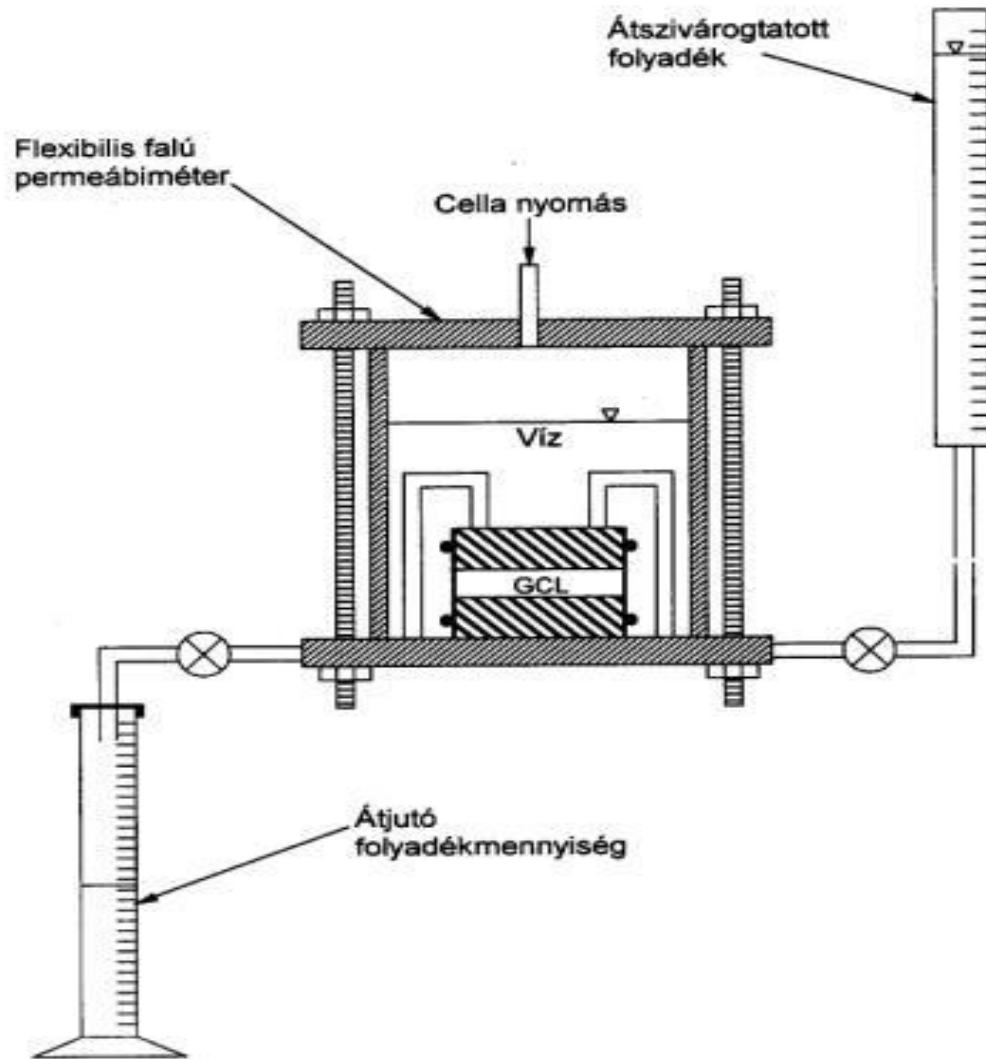


Radioaktív hulladékok elhelyezése - bentonit



A záróképesség illusztrálása

Bentonit - vizsgálatok



Permeáció mérése

8. Hulladékok végleges elhelyezése – természeti analógok

Cigar Lake (Kanada, Saskatchewan) a világ legnagyobb, még érintetlen uránbányája volt 2015. májusig, amikor a CAMECO – AREVA vállalat elkezdte a folyamatos kitermelést „jet-boring” technikával. A becsült készlet 2008-ban 497000 tonna, maximum 20,67%-os U_3O_8

McArthur River (Kanada) a világ legnagyobb uránkészlete. 1999 óta kitermelik, a világ uránbányászatának 20 %-a innen származik. 2004-ben 41000 tonna U_3O_8 -at termelt.

Természeti analógok: az uránércet körülzáró kőzet és geokémiai rendszer alkalmas kell, hogy legyen a radioaktív hulladék végleges befogadására is – aleurolit (agyagkő), gránit (vulkáni kvarc + alumíniumszilikátok)

Cigar Lake 2014.



Cigar Lake – várható kitermelés

On October 8, 2014, AREVA's McClean Lake mill started producing uranium concentrate from ore mined at the Cigar Lake operation. Expected production 0.2 - 0.6 M packaged pounds (=100 – 300 t) in 2014, depending on the mine ramp-up at Cigar Lake and the continued success of milling operations at McClean Lake. Commercial production will be reached when management determines that the mine is able to produce at a consistent or sustainably increasing level. Long-term annual production target is 18 M pounds U_3O_8 (=8000 t) by 2018.

Természetes analógok

Gránit – a radioaktív hulladékok befogadó közete



9. Radioaktív hulladékok elhelyezése

A) Franciaországi tárolók

Actual Disposal Classification in France

	Short lived waste	Long lived waste
Very low level	Centre de Morvilliers (waste from dismantling operations)	
Low level	Centre Aube (operating waste from NPPs) + Centre MANCHE	Operational in 2019 (graphite, radium bearing)
Intermediate level		
High level	SF & Waste from reprocessing plants Research stage – 1991 and 2006 acts Disposal site to be commissioned in 2025	

4 types of disposal site
No clearance level in France

Radioaktív hulladékok elhelyezése

A) Franciaországi tárolók

Operator

All radioactive waste near-surface disposal facilities in France are operated by ANDRA.

Time schedule

Name	Beginning of construction	Completion of construction	First disposal	Closure	Expected period of institutional control
L'Aube	1987	1991	1992	2050	300 years
La Manche	–	–	1969	1994	300 years

Capacity

Name	Total capacity (m ³)	Annual delivery (m ³)
L'Aube	1 000 000	17 600
La Manche	530 000	N.A.

Felszínközeli tárolók

Radioaktív hulladékok elhelyezése

A) Franciaországi tárolók

Morvilliers (L'Aube közelében) – VLLW 2003 óta

Centre de Morvilliers (Aube) disposal facility

Very low level waste

Average activity should be less than 10 Bq/g

Area : 45 ha

Capacity : 650,000 m³

First deliveries : October 2003

Deliveries 2005 : 25,000 m³

Disposed volume : 41,500 m³

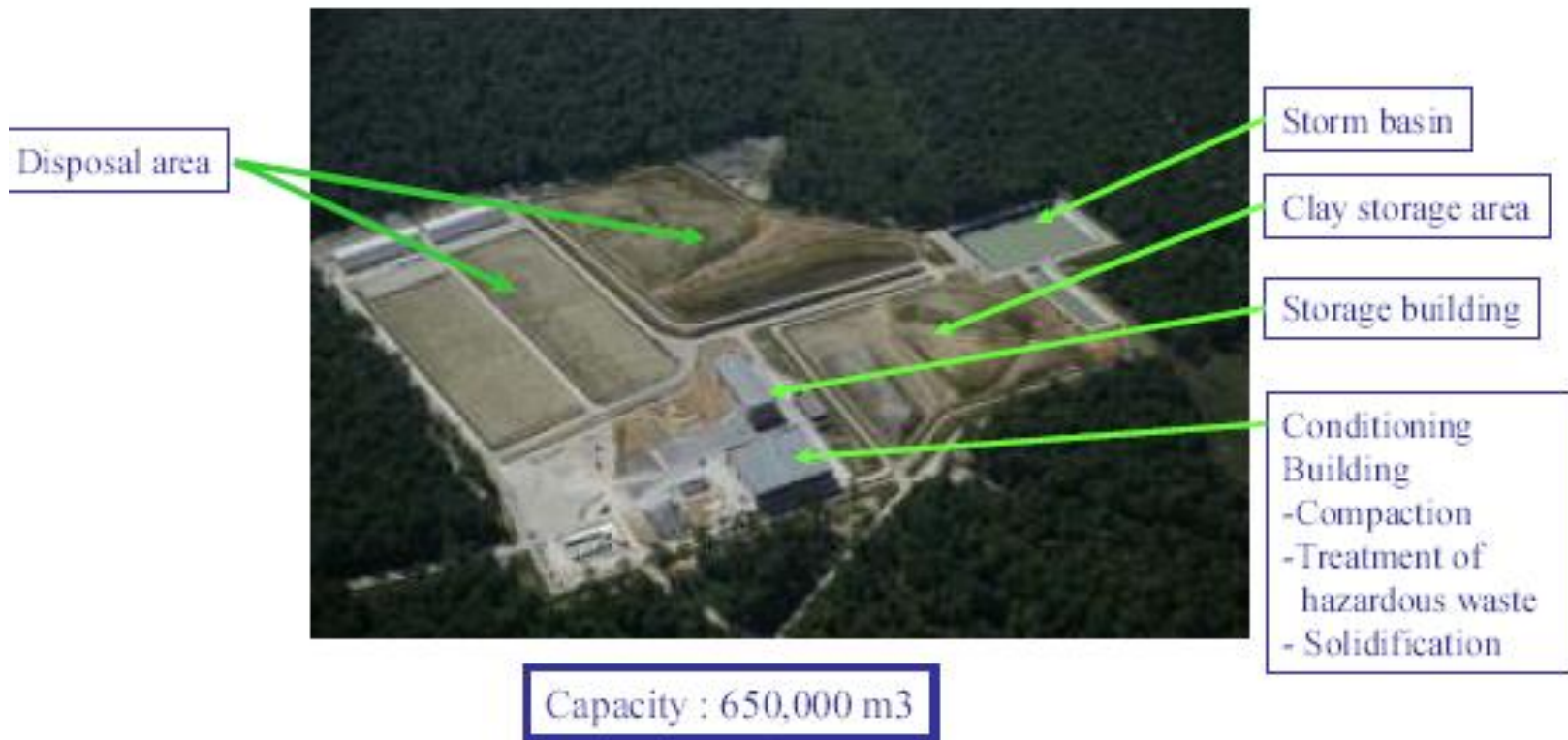
3 vaults have been closed since
start up (end of 2005)



Radioaktív hulladékok elhelyezése

A) Franciaországi tárolók

THE DESIGN DISPOSAL FACILITY LAYOUT



Radioaktív hulladékok elhelyezése

A) Franciaországi tárolók

VERY LOW LEVEL WASTE

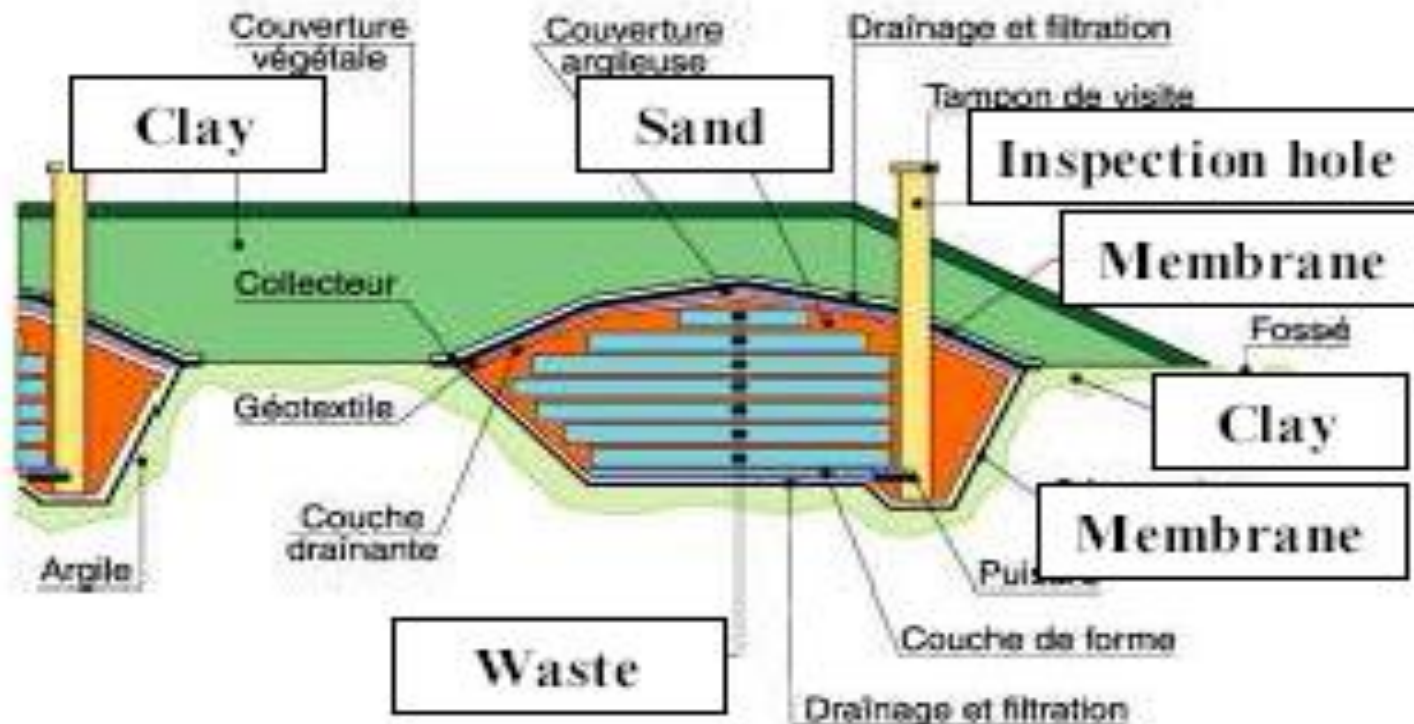
Packaging



Radioaktív hulladékok elhelyezése

A) Franciaországi tárolók

Cross section of a disposal cell



300

An institutional control period of ~~30~~ years

Radioaktív hulladékok elhelyezése

A) Franciaországi tárolók

THE DESIGN

CONSTRUCTION OF A DISPOSAL CELL



Radioaktív hulladékok elhelyezése

A) Franciaországi tárolók

THE DESIGN : CLOSING THE DISPOSAL CELL



Radioaktív hulladékok elhelyezése

A) Franciaországi tárolók

THE DESIGN

REMOVABLE BUILDINGS



Radioaktív hulladékok elhelyezése

A) Franciaországi tárolók

THE DESIGN

DISPOSAL CELL CLOSURE



Radioaktív hulladék elhelyezése - Franciaország

Centre de La Manche – LLW + ILW 1969 – 1994

Engedélyes: ANDRA (állami hulladékkezelő vállalat)

527000 m³ lerakott hulladék

Lezárás: 1991 – 1996 felső mérnöki gátakkal

Bitumenes geopolimer védőréteg

1994 – 2003: perek, hatósági eljárások

2003 - : „institutional control period” – 300 évig

Centre de la Manche



A lerakóhely,
amikor még
üzemelt

B) Szlovákia

- Jaslovské Bohunice (JB) [Apátszentmihály] Trnava [Nagyszombat] mellett
 - A-1 blokk balesetei: 1976, 1977 INES-4 (zónaolvadás) – leszerelési és baleseti hulladékok, jól észlelhető környezeti kibocsátás
- JB V-1 2 blokk (régi VVER-230): leállítva 2006, 2008 (EU-csatlakozás), leszerelése elkezdődött. V-2 2 blokk működik – ugyanott: hulladékkezelő- és kondicionáló üzem 2001 óta: cementezés, égetés, bepárlás, bitumenezés, préselés
- Mochovce [Mohi] – erőmű (2 blokk)
- Ugyanott: felszínközeli hulladéktároló (2001 óta – 22000 m³) – LLW vasbeton konténerekben

Szlovákia

- Mochovce hulladéklerakó: „The Mochovce repository is designed to receive acceptable radioactive wastes from decommissioned A-1 power plant at Jaslovské Bohunice, operational waste from NPPs V-1 and V-2 at Jaslovské Bohunice site and NPP Mochovce, as well as institutional radioactive wastes.”



Radioaktív hulladékok elhelyezése

C) Finnország

Olkiluoto: TVO, owned 57 per cent by PVO (a private utility), 27 per cent by IVO and 16 per cent by the public.

Loviisa: IVO, a state-owned utility.

Time schedule

Name	Beginning of construction	Completion of construction	First disposal	Closure	Period of institutional control
Olkiluoto	1987	1991	1992	~ 2060	Not decided
Loviisa	1993	1996	1998	~ 2050	Not decided

Capacity

Name	Total capacity (m ³)	Annual delivery (m ³)
Olkiluoto	4 960 for LLW 3 472 for ILW	224
Loviisa	2 400 for LLW 3 000 for ILW	N.A.

Finnország

Loviisa LLW - ILW Radioactive Waste Repository

Dél-Finnországban, Hastholmen-szigeten, Loviisa NPP - 2 VVER-440 reaktor

Hulladéktároló: a tengerszint alatt 110 m mélyen, sziklába süllyesztve. A tároló az erőműben keletkező összes LLW – ILW –t fogadja be.

Szilárd hulladék: 200 L-es hordókban, két tárolócsarnokban.

Folyékony: cementezve 1 m³-es konténerekbe.

Az alapkőzetben 3 zárt törésvonalakkal határolt területet tártak fel, a tároló a két felső zárt zóna között létesült.

A talajvíz két rétegű: a sós víz felett édesvíz-lencse található.

A tároló a sósvizes rétegben van, a sósvíz összefügg a tengerrel, de advekcións vektort nem állapítottak meg.

Finnország - Onkalo

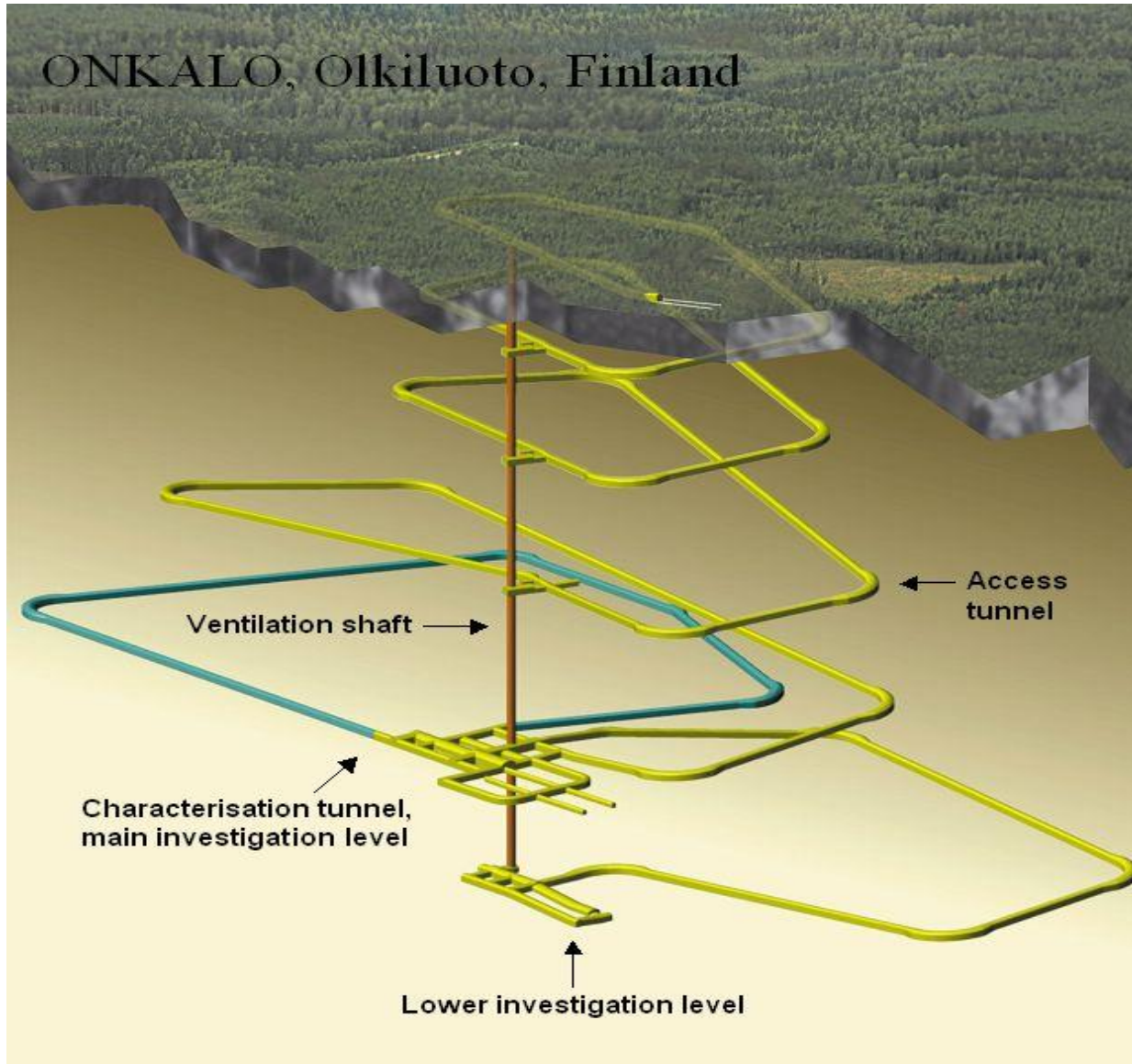
Onkalo – tervezett HLW lerakó az Olkiluoto-i reaktorok telephelyén

Jelenleg kutatóvágatok készülnek, tervezett üzembe helyezés 2060 körül

<http://www.posiva.fi/en/media/videos#.WCmSuMn4aoE>

(Elek Richárd szíves közlése)

Finnország - Onkalo



Finnország - Onkalo



Radioaktív hulladékok elhelyezése

D) Svédország

Mélységi tárolás – HLW tervezett végleges elhelyezése (Svédország)

KBS-3 hatóságilag engedélyezett eljárás (többszörös mérnöki gátak).

1. Átmeneti tárolás 30 évig.
2. A hulladékot vashengerbe zárják.
3. A vashengert rézhengerbe zárják.
4. 500 m mély vágat a befogadó gránitban.
5. 8 m mély, 2 m átmérőjű akna a vágatban.
6. A hengert bentonitba ágyazzák az aknában.
7. A megtelt tárolóvágatot eltömedékelik.

Becsült élettartam: 100 ezer év. Tároló helye: Forsmark vagy Oskarshamn. Kapacitás: 6000 henger.

Radioaktív hulladékok elhelyezése

D) Svédország



**Mélységi tárolás -
HLW**

**Forsmark
(Svédország)
A próbafúrások
egyik telephelye**

E) USA - Yucca



Figure 2. (a) Rock was cut out of Yucca Mountain in Nevada and (b) tested to determine hydrologic and geochemical characteristics.

Mélységi elhelyezés – HLW Yucca Mountain (USA)



Yucca Mountain is located in a remote desert on federally protected land within the secure boundaries of the Nevada Test Site in Nye County, Nevada. It is approximately 90 miles northwest of Las Vegas, Nevada.

Mélységi elhelyezés – Yucca Mountain (USA)



Ingnimbrit – olvadt vulkáni tufa
Előny: sivatag – nincs talajvíz
A 2000-es évek elején engedélyezett HLW elhelyezés – „pilot plant”: néhány konténer elhelyezése próbaképpen – az engedélyt nemrégiben visszavonták.

USA - Yucca

- No deep geological repository for spent fuel from NPPs is in operation in any country today.
- In the USA, the Obama administration cut most of the Yucca Mountain geological repository project's 2010 funding and asked an expert commission to make recommendations for developing a new plan for the back-end of the fuel cycle.

E) USA – Hanford „Legacy Waste”

Hanford High Level Tank Wastes



Single Shell Tanks

- 149 tanks
- 35M gallons of wastes
- 190K tons of chemicals
- 132M curies of radioactivity
- 75% Sr-90, 24% Cs-137
- 65 "leakers"

Double Shell Tanks

- 28 tanks
- 20M gallons of wastes
- 55K tons wastes
- 82M curies of radioactivity
- 72% Cs-137, 27% Sr-90

Brookhaven Science Associates
U.S. Department of Energy

BROOKHAVEN
NATIONAL LABORATORY

12 - Prague Presentation (Sept. 2000)

Aktivitásleltár: $3 \cdot 10^{18}$ Bq ~ Csernobili kibocsátás

Hanford – a feldolgozott hulladék elhelyezése



Figure 2. Integrated Disposal Facility.

Felszíni végleges elhelyezés a folyékony LLW szilárdítása (üvegesítés) után.

Kezdet: 2013. Tervezett befejezés: 40 év múlva.

F) Nagy-Britannia - Drigg

LLW Repository - Drigg (ÉNy-Anglia)
befogadóképesség: 800.000 m³

Low Level Waste Repository (LLWR) – 1959 óta működik. 1995-től kezdve a korábban lerakott hulladékot betonaknákba telepítik át.

Helyszíni kezelés: préselés, cementezés

Az akna végleges lezárásáig „the waste is regarded as stored and is included in the UK Radioactive Waste Inventory”.

Nagy-Britannia - Drigg



Közvetlen közelében:
-BNFL kutatóközpont
-Sellafield (Windcale)
reprocesszáló és
kísérleti telep

Nagy-Britannia - Dounreay



Nagy-Britannia - Dounreay



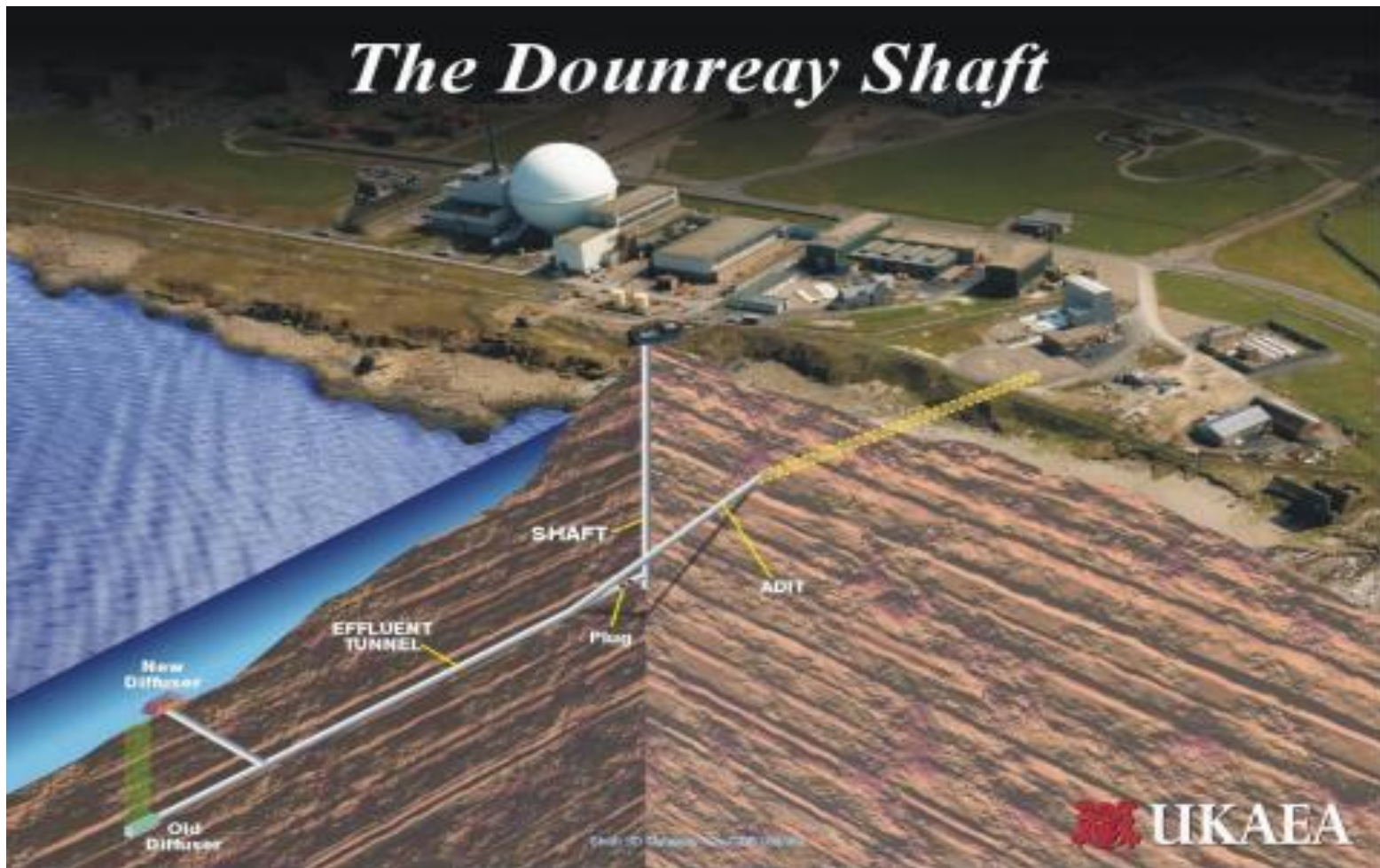
Dounreay's disused LLW pits

CLOSE X

Felszámolandó betontárolók Dounreay-ben

Dounreay – az 1977-es tárolóakna-baleset

Az akna rekonstruált vázrajza a baleset utáni állapotban



Dounreay – az 1977-es tárolóakna-baleset

Az akna bemeneti nyílása a baleset után



Dounreay – az 1977-es tárolóakna-baleset

Helyreállítás – 2002: Új furatokkal szigetelik el a sérült aknát.



G) Németország

Konrad – vasbánya volt 1961 – 1976-ig. (Szárász!)

1975 – 2002: kutatások.

2002: Engedély LLW-ILW mélységi tároló létesítésére.

2006 – 2007: Perek az engedély visszavonásáért.

Tárolási engedély 303000 m³ LLW – ILW, ebből 88000 m³ korábbi, felszámolandó tárolókból.

Költség: 2007 végéig 945 M euró, várható még 900 M euró.

Németország

Gorleben – 1973-tól kutatás: 140 sólencsét vizsgáltak.

Költségek: 1973 – 2000: 1,5 milliárd euró.

Ellenzők: „Átláthatóság és ellenőrizhetőség hiánya”

1996: Két próbavágot 840 m mélyre.

Töredezett határoló kőzetek miatt 2000-ben legfeljebb 10 évre felfüggesztették a kutatásokat.

Asse II. (750 m mélyen)

1908 – 1925: káliumkarbonát (hamuzsír) bányászata, utána kősóbánya

Sóakna - Kutatóvágat 1965, 1967 – 1978: LLW lerakás

Feltöltés befejezése: 1995; 1995 – 2004 üregek feltöltése sóval

2008: sós vízben ^{137}Cs és ^{239}Pu beoldódása (?) volt mérhető

Morsleben: volt NDK - sóbányából LLW – ILW 1971-1998: 40000 m³

Felszámolják (leszerelés, felszabadítás)

Németország – Asse II.

A tároló induló felső vágata 490 m mélyen



A vízbetörés kockázata a geológiai mérések alapján növekszik. (Jelenleg még $<0,5$ $\text{m}^3/\text{év}$)

Németország – Asse II.

Hulladék-elhelyezés az 1980-as években



Németország – Asse II

Erhöhte Krebs-Raten rund um die Asse

Donnerstag 25.11.2010, 20:23 Reuters

Atomendlager: Erhöhte Zahl von Leukämie-Fällen im Umfeld der Asse

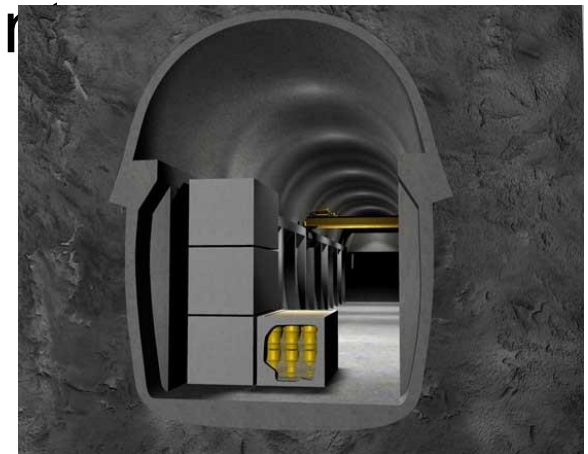
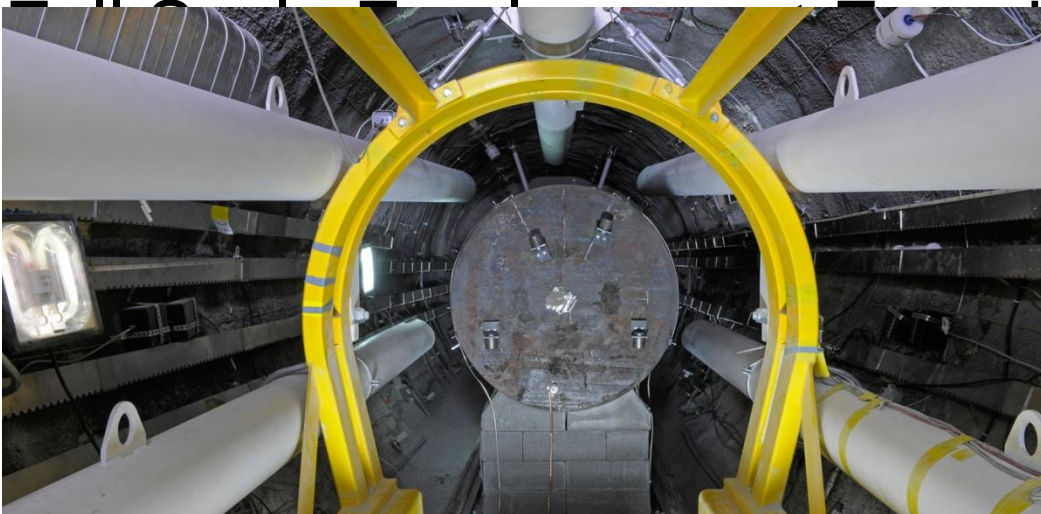
- Im Umfeld des maroden Atomendlagers Asse bei Wolfenbüttel ist eine erhöhte Zahl von Leukämie-Fällen bei Männern festgestellt worden. Frauen erkranken dort weit öfter an Schilddrüsenkrebs als anderswo. Die Gründe sollen nun erforscht werden.
- Dies teilte das niedersächsische Umweltministerium am Donnerstagabend in Hannover mit und bestätigte damit einen Bericht des regionalen NDR-Fernsehmagazins „Hallo Niedersachsen“: ^{25.11.2019} Ministeriumssprecher Thomas Spieker sagte, Auswertungsergebnisse des Epidemiologischen Krebsregisters des Landes hätten Hinweise auf ein gehäuftes Auftreten von Leukämie-Erkrankungen insbesondere bei Männern ergeben.

„Eine Ursache dafür kann bisher nicht festgestellt werden“, sagte Spieker. Die Auswertung sei noch nicht abgeschlossen: „Wir wissen daher noch nicht, welchen Einfluss zum Beispiel Lebensalter und Berufstätigkeit auf Erkrankungen haben.“

H) HLW végleges elhelyezése - Svájc

NAGRA – Mont Terri kísérleti laboratórium HLW elhelyezéséhez (agyagkő = Opalinus agyag befogadó közet + mérnöki gátak)

<http://www.nagra.ch/en/news/newsdetailen/feexperimentconcretepluginplace2015.htm>



117

LLW disposal model with EBs

Magyarország

Kiemelt nukleáris létesítmények Magyarországon:

- Paksi Atomerőmű
- KKÁT (kiégett kazetták tárolása)
- 2 kutatóreaktor
 - MTA AEKI BKR (KFKI telephely)
 - BME „tanreaktor”
- Bábaapáti (NRHT)
- Püspökszilágyi Hulladéktároló (RHFT)
- Az Izotóp Intézet kft. „A” szintű radiokémiai laboratóriuma (KFKI telephely)

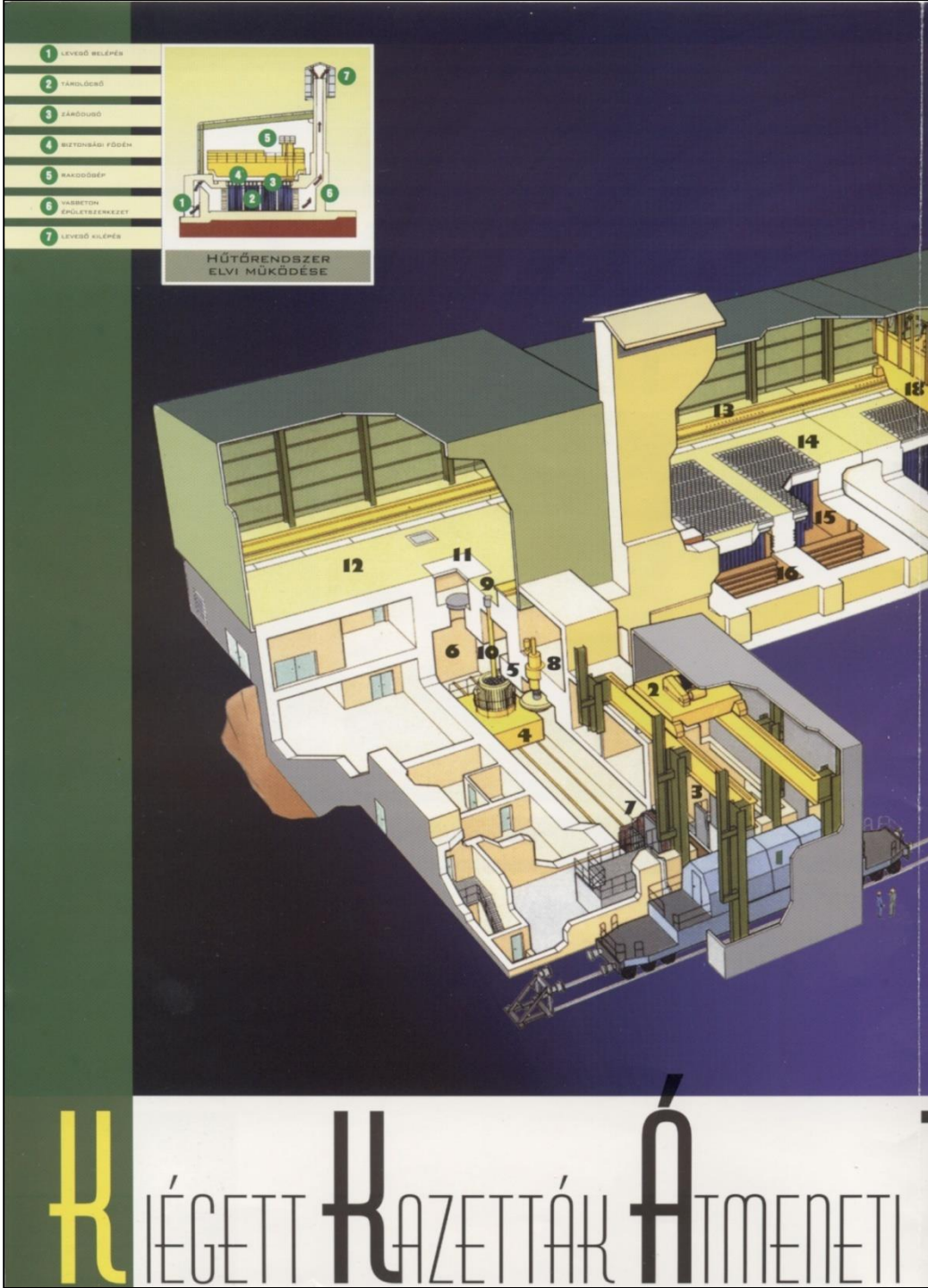




Magyarország
Átmeneti tároló HLW (kiégett fűtőelemek) - KKÁT Paks
Száraz, aknás, vegyes szellőztetésű tároló



Átmeneti
tároló
KKÁT Paks
HLW (kiégett
fűtőelemek)



Radioaktív hulladékok feldolgozása

Magyarországi hulladék helyzet 2007. I. 1.

2.2.1. táblázat – Az RHFT és a PA Zrt. területén tárolt radioaktív hulladékok és kiégett üzemanyag mennyisége (2007. január 1.)

Tárolás helye	Kis és közepes aktivitású hulladék				Nagy aktivitású hulladék		Kiégett nukleáris üzemanyag			
	Tárolási kapacitás		Tárolt mennyiség		Tárolási kapacitás	Elfoglalt tárolási kapacitás	Tárolási kapacitás		Tárolt mennyiség	
	bruttó m ³	db 200 l-es hordó	bruttó m ³	db 200 l-es hordó	m ³	m ³	db	tU*	db	tU*
RHFT (szilárd hulladék)	5040	—	5040	—	—	—	—	—	—	—
PA Rt. telephely (szilárd hulladék)	—	7852	—	7556	222,8	67,3	—	—	—	—
PA Rt. telephely (folyékony hulladék)	10020**	—	5920,5	—	—	—	—	—	—	—
PA Rt. pihentető medencék	—	—	—	—	—	—	2600	301,6	2003	232,3
Paks KKÁT	—	—	—	—	—	—	4950	574,2	4747	550,7

Radioaktív hulladékok feldolgozása

**Püspökszilágy – felszínközeli tároló LLW, ILW (kapacitás: 5000 m³) +
feldolgozó üzem és átmeneti tároló
Agyagglencse (18 – 20 m vastagon)**



Püspökszilágy - RHFT







Püspökszilágy – „A” típusú medencék lefedés előtt, csőkutak a használt sugárforrások számára



Radioaktív hulladékok végleges elhelyezése

Püspökszilágy – RHFT

A radioaktív hulladékok RHFT-n belüli elhelyezésére

- vasbeton tárolómedencék („A” típusú tároló),
- szénacél és rozsdamentes acél csőkutak („D” és „B” típusú tárolók)
- sekély mélységű vasbeton kazetták („C” típusú tároló) szolgálnak.

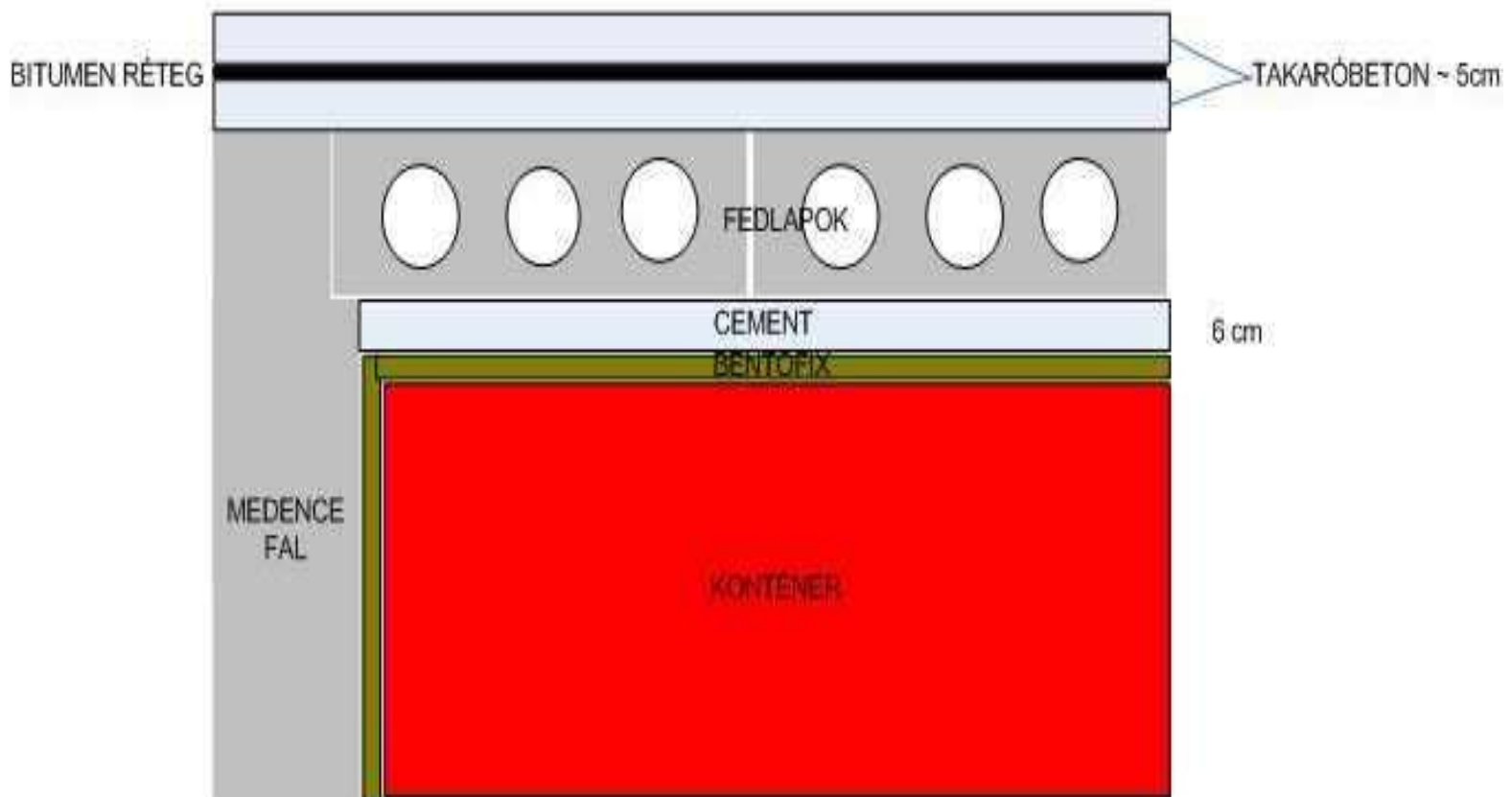
Az RHFT alapkiépítésében 48 db 70 m³-es „A” típusú és 8 db „C” típusú tárolómedence, továbbá 4 db „D” típusú és 32 db „B” típusú csőkút készült el. Az 1980-as évek végén 6 db 140 m³-es és további 12 db 70 m³-es medence kiépítésével az „A” típusú tárolómedencék teljes kapacitása 5040 m³-re bővült.

Radioaktív hulladékok feldolgozása

Felszínközeli végleges LLW tároló

Tömörítés után visszatemetett hulladék elhelyezése Püspökszilágyon

Mérnöki gátak



Püspökszilágy - RHFT

A feldolgozó térben tárolt, lerakásra
előkészített acélhordók



Püspökszilágy - RHFT

„Forró kamra” a közepes- vagy akár nagyaktivitású hulladéknak minősülő használt sugárforrások felnyitására és kezelésére.



Püspökszilágy - RHFT

2006 – 2008: projekt négy „A” típusú medence feltárására és a hulladék visszatermelésére, majd a mai követelményeknek megfelelő újracsomagolására – „ilyen volt”



Püspökszilágy - RHFT

2006 – 2008: projekt négy „A” típusú medence feltárására és a hulladék visszatermelésére, majd a mai követelményeknek megfelelő újracsomagolására – „ilyen lett” (átmenetileg visszahelyezett hordók, a medencét a lezárás előtt még bentofix paplannal bélelték).

NETTON
519
240-245

NETTON
519
220-222
202 TOM
516-518
Apt + B

NETTON
664
136
1045/1/4
490-564

NETTON
510

NETTON
500
210
200

NETTON
967
167
Thompson
12 1/2
110-987

NETTON
507
210
261
504-012

NETTON
514
199
1/2
510-415

NETTON
503
118
204

NETTON
511
511-016

NETTON
513

NETTON
515

NETTON
512

Bátaapátiban elhelyezendő hulladékok (végleges LLW – ILW)

R D	Dátum					Hulladék típusa	Mennyiség (kg)	Mennyiség (t)	Konténer	
	Leszerelési hulladék ¹	-	-	-	-	Nincs	17364	8784,5 (200 t)	113 (3,675 m ³ konténer)	
F O L Y É K O N Y	Gyanta	135,5	5	40,5	216	Cementezés 60 l/200 l	720	3600 (90 l/tonna)		
	Bepárlási maradék	5181	250	150	7331	Cementezés 182 l/400 l	16112	42290 (400 t)		
	E G Y É B	Dekontamináló oldat	94	-	50	144	Bepárlás: VR=20 és Cementezés 182 l/400 l			15,8
		Evaporátor savas oldat	250	15	-	370	Bepárlás: VR=20 és Cementezés 182 l/400 l			40,7
		Iscap	260	10	-	340	Cementezés 182 l/400 l			747,3
						Üzemvitel	21227,7			
						Leszerelés	17364,0			
						Összes	39091,7			

**Mélységi elhelyezés – Bátaapáti (LLW)
Gránitban, két lejtős aknán elérhető 300 m mélyen
Hulladék-feldolgozó és átmeneti tároló épület**



**Mélységi elhelyezés – Bátaapáti (LLW)
Gránitban, két lejtős aknán elérhető 300 m mélyen
„Mária” lejtősakna bejárata a járathajtás alatt**



Bátaapáti NRHT - hulladékékelhelyezés

- 2012-2017: egy vasbeton konténerben 9 acélhordó, a hordók közti teret cementpéppel töltötték ki.
- 2018-: 100×8×6,5 m-es vasbetonmedence, benne acél konténerek 4-4 hordóval, a hordók közti teret folyékony radioaktív hulladékkal kevert cementpéppel töltik ki.

Mélységi elhelyezés – HLW Magyarország

Bodai Aleurolit Formáció (BAF)



**350 – 1200 m
mélyen lévő,
összetömörödött
agyagásvány
Terepi kutatások
1999-ig:
kutatóvázat az
uránbánya alatt
2003-tól
folytatódó projekt**