

Odpady a recyklace



Přednáška č.11 - Radioaktivní odpad

- Radioaktivita
- Radioaktivní odpad - rozdělení
 - ukládání RAO
 - přepracování RAO
- Úložiště odpadů ve světě/u nás dnes/zítřa
- Multibariérový princip ukládání odpadů



Radioaktivní odpad V ČR produkce cca 45 g.rok⁻¹ na ob.
celosvětově 81 000m³ RAO ročně

Zdrojem RAO jsou :...

- **těžba a úprava uranových rud** (včetně sanace uzavř. dolů)
hlušina a výluhy, většinou nižší intenzita, těžba v Dolní Rožínce cca 5 let? poslední důl v EU!
obohacování paliva U²³⁵ u nás ne
- **institucionální odpady**
(radioizotopy z nemocnic a laboratoří, UJV Řež)
- **jaderná energetika** - 4g na každou MWh (uhlí 115kg!),
všechny druhy a intenzity odpadů – VJP 1‰ objemu,
90% radiace všech odpadů!
- **jaderný zbrojní průmysl** i odstranění (u nás ne)

Mohou vznikat i sekundární RAO (v průběhu úpravy, skladování, ale i jako sanační řešení po ukončení těžby – Ralsko ještě 25let!...)

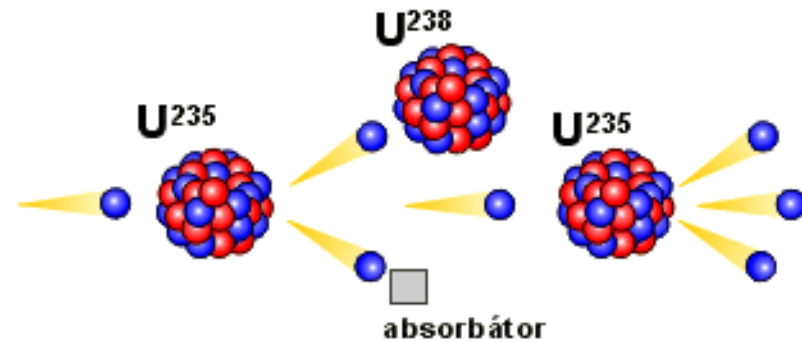
Co (ne)víme o radioaktivitě...

→ samovolný rozpad částic x řízená štěpná reakce

Rozpad částic

→ rozpadové řady

Štěpná reakce



Jaderné Palivo – obohatit izotopem U^{235} na 3,1÷4,4%

Emitované záření:

α – proud jader He

β – proud elektronů/pozitronů

γ – el-mg záření (nízké λ)

| Radionuklid | Název | Rozpad | Poločas rozpadu |
|-------------------|--------------|----------|-----------------------|
| ^{238}U | uran | α | 4,47 10^9 roků |
| ^{234}Th | thorium | β | 24,1 dne |
| ^{234}Pa | protaktinium | β | 1,18 min |
| ^{234}U | uran | α | 2,45 10^5 roků |
| ^{238}Th | thorium | α | 8 10^4 roků |
| ^{226}Ra | rádium | α | 1600 roků |
| ^{222}Rn | radon | α | 3,82 dne |
| ^{218}Po | polonium | α | 3,11 min |
| ^{214}Pb | olovo | β | 26,8 min |
| ^{214}Bi | vizmut | β | 19,9 min |
| ^{214}Po | polonium | α | 164 μs |
| ^{210}Pb | olovo | β | 22,3 roků |
| ^{210}Bi | vizmut | β | 5,01 dne |
| ^{210}Po | polonium | α | 138 dní |
| ^{206}Pb | olovo | | STABILNÍ PRVEK |

Fyzikální veličiny v radiační fyzice:

<http://www.sujb.cz/>

Aktivita – počet radioaktivních přeměn v látce za jednotku času.
Jednotkou je *becquerel (Bq)*. (v látce 1 přeměna za 1 s)

Dávka – účinek záření = množství energie pohlcené na jednotku hmotn.
prostředí, záleží na typu záření, jednotkou je *gray (Gy)*.

Efektivní dávkový ekvivalent – vliv záření na člověka, jednotkou je
sievert (Sv).

Poločas přeměny $T_{1/2}$ – čas potřebný k tomu, aby došlo k přeměně
poloviny radionuklidů

Symbol
radiace



Nový symbol pro radiaci
= srozumitelnější inf. o
hrozícím nebezpečí!

MAAE 2007

Radiační ochrana (při práci s RAO):

Čas – obdržená dávka je přímo úměrná době expozice,
práce provádět pokud možno rychle!

Vzdálenost – dávka je nepřímo úm. druhé mocnině vzdálenosti zdroje
Zdržovat se co nejdále od zdrojů, používat manipulátory

Stínění – odstínění záření vhodným **absorbujícím** materiálem (pro α záření cca 10cm vzduch, β 5-10mm plasty, pro γ materiály s velkou měrnou hmotností – především **olovo**, ze stavebních materiálů beton)

Polovrstva absorpce – *tabulková hodnota materiálů, udává tloušťku stínícího materiálu, která sníží intenzitu daného typu záření na polovinu (2 polovrstvy na $\frac{1}{4}$...)*

Dělení RAO

→ dle míry jejich aktivity/nebezpečnosti

- **Nízko Aktivní Odpady NAO (LLW)** $< 10^9 \text{ Bq.m}^{-3}$
(např. roušky a oděvy z pracovišť se zvýšenou radioaktivitou)
- **Středně Aktivní Odpady SAO (ILW)** $10^9 \div 10^{14} \text{ Bq.m}^{-3}$
(hlušina a výluhy z těžby...)
- **Vysoce Aktivní Odpady VAO (HLW)** $> 10^{14} \text{ Bq.m}^{-3}$
(*VJP* s vysokým obsahem ^{241}Pu + ^{235}U , ^{238}U ... u nás 8g /os.rok)

→ dle doby jejich neg. působení

- **Přechodné RAO** $T_{1/2} < 1 \text{ rok}$ (^{214}Po $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ s}$)
- **Krátkodobé RAO** $T_{1/2} 1 \div 30 \text{ let}$
- **Dlouhodobé RAO** $T_{1/2} > 30 \text{ let}$ (^{232}Th $1,4 \cdot 10^{10} \text{ let}$)

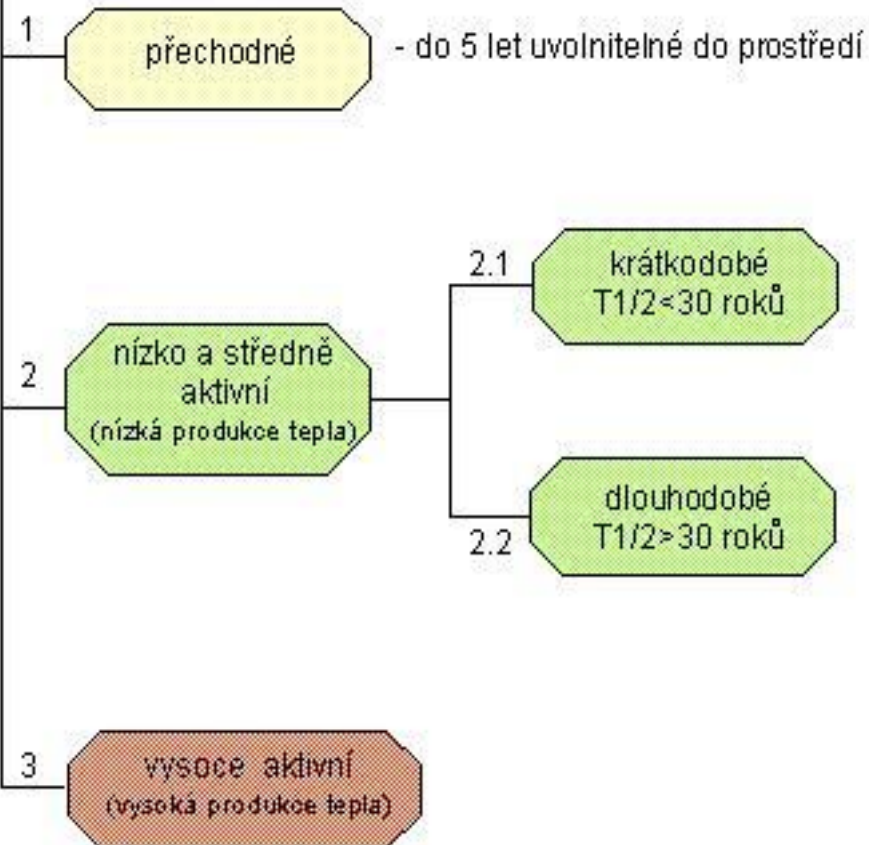
TŘÍDĚNÍ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ

TŘÍDĚNÍ PODLE RŮZNÝCH HLEDISEK

- a **Skupenství:** plynné, kapalné, pevné
- b **Původce**
 - jaderná energetika
 - institucionální odpady
- c **Složení:** radionuklidové + chemické
- d **Aktivita:**
velmi nízká → nízká → středně → vysoce aktivní
- e **Poločas rozpadu**
 - krátkodobé
 - dlouhodobé
- f **Produkce tepla**
 - nízká
 - vysoká

PRAKTICKÉ TŘÍDĚNÍ PODLE EVROPSKÉ KOMISE

PEVNÉ RADIOAKTIVNÍ ODPADY



Jak nakládat s RAO?

Nakládání s RAO financuje státní jaderný účet, na nějž odvádí čeští původci radioaktivního odpadu stanovené finanční prostředky.

Nakládání kontroluje Státní Úřad pro Jadernou Bezpečnost
<http://www.sujb.cz/>

Výhodou RAO je snadná detekce (senzory u skládek) → TŘÍDĚNÍ

RAO podléhají *Atomovému zákonu* (z. 18/1997 Sb. ve smyslu pozdějšího znění) a ne zákonu *O odpadech*!

→ **dříve nebyl problém = export do Ruska**
dnes princip zodpovědnosti (můžeme ale spolupracovat – společné úložiště ve střední Evropě?)

Co tedy s odpady...?

- ↪ Radioaktivní odpad neumíme současnými technologiemi opakovaně **recyklovat** – vznik nebezpečnějších radionuklidů, prvovýroba paliva je výhodnější (levnější)...
(vývoj technologie *ADTT* - Urychlovačem řízené transmutační technologie
příp. **hybridní reaktory** \approx štěpení+fúze transuranů - zprac dnešních RAO)
- ↪ Zbývá ho **uložit** → **zakonzervovat** = stínění absorb. materiálem
(zatím konečná fáze pro veškerý RAO)
 - Mezinárodní instituce doporučují hlubinné úložiště jako nejbezpečnější způsob naložení s RAO
- **zabránit transportu radionuklidů**
- **spolehnout se na samovolný rozpad**
- **doufat, že se objeví nová technologie**

✓ Odpad koncentrovat-upravit-uložit

↪ *před zneškodněním odpadu - úprava* (odpaření, spálení, lisování, iont. výměna, filtrace a sorpce tekutých odpadů ,...)

↪ *úprava odpadu* – **úprava skupenství** – manipulace s RAO

– **solidifikace** – (nebezpečí kontaminace)

– **koncentrace** – filtry prachových částic



Kategorizace RAO

| Kategorie | Koncentrace radionuklidů | Obsah dlouhodobých zářičů | Produkce tepla | Doporučený typ úložiště |
|------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| I. VAO | Vysoká | vysoký | vysoká | hlubinné |
| II. SAO | Střední | významný | nízká | hlubinné |
| III. NAO | Nízká | významný | nevýznamná | hlubinné, přípovrchové* |
| IV. SAO | Střední | nevýznamný | nízká | přípovrchové |
| V. NAO | Nízká | nevýznamný | nevýznamná | přípovrchové |

↪ - **využití materiálu** – kamenivo-hlušina podle intenzity...

- ↳ **Odpady plynné** – nízká aktivita, velké objemy...
 - ředit na koncentraci podle hyg. normy, vypouštět
 - je-li radioaktivita vyšší - koncentrovat (filtrace, sorpce)
- ↳ **Odpady kapalné** → zvýšit koncentraci-odpařit, solidifikovat kaly (cementace a bitumenace – ÚJV)
- ↳ **Odpady pevné**
 - spalitelné* (sníží objem 30÷50x)
 - stlačitelné* (sníží objem 2÷10x)
 - bez úpravy*

↳ - další možnosti úpravy

- ✓ nutné *třídění* podle nebezpečnosti (aktivity)
- ✓ *ředění* – u NAO po snížení aktivity pod hygienickou normu

↪ - skladování + uložení odpadu... (VJP)

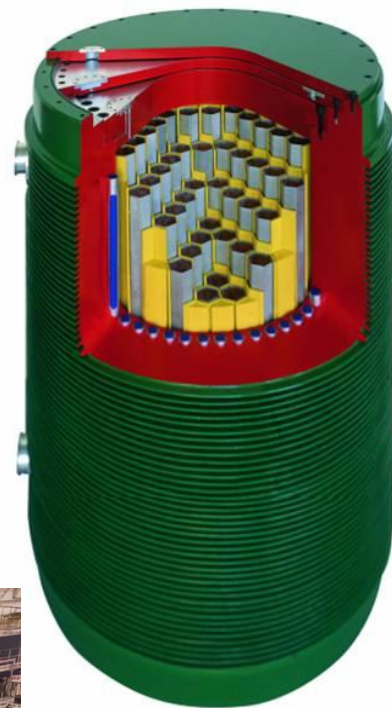
- ✓ *v místě vzniku* – „vymírací“ nádrž v reaktorovně – voda + HBO_2 ,
6m hloubka - zchlazení a sníž. aktivity

Skladování VJP (ČEZ, a. s.)

Po vyjmutí z reaktoru
se VJP skladuje
cca 5 let v chlad bazénech

Kontejner CASTOR

Transportně/skladovací obal
Měď'-nerezocel-uhlík.ocel
Životnost 500-1000let
Rozměr \varnothing 2,6 x 4,1 m



↪ - uložení odpadu

Jak navrhovat? – Zkušenosti 10^2 - 10^6 let „přírodní analogy“

Inženýrský přístup na FSv →

Centrum Experimentální Geotechniky

Experimentální výzkum ukládání radioaktivních odpadů
výzkum na štole Josef: geotechnická problematika ukládání RAO
do podzemí. Jedná se především o výzkum inženýrských bariér na
bázi jílových materiálů - <http://www.uef-josef.eu/>



↪ - uložení odpadu...

✓ *mezisklad* – asi 50 let

suchý (USA, ČR,...)

vodní bazény (Švédsko)

povrchový (do 100m hloubky – Bratrství, Richard)

zranitelnější → NAO, SAO a krátkodobé RAO

hlubinný

✓ *centrální úložiště* – dokud je RAO nebezpečný → 10x nejdelší

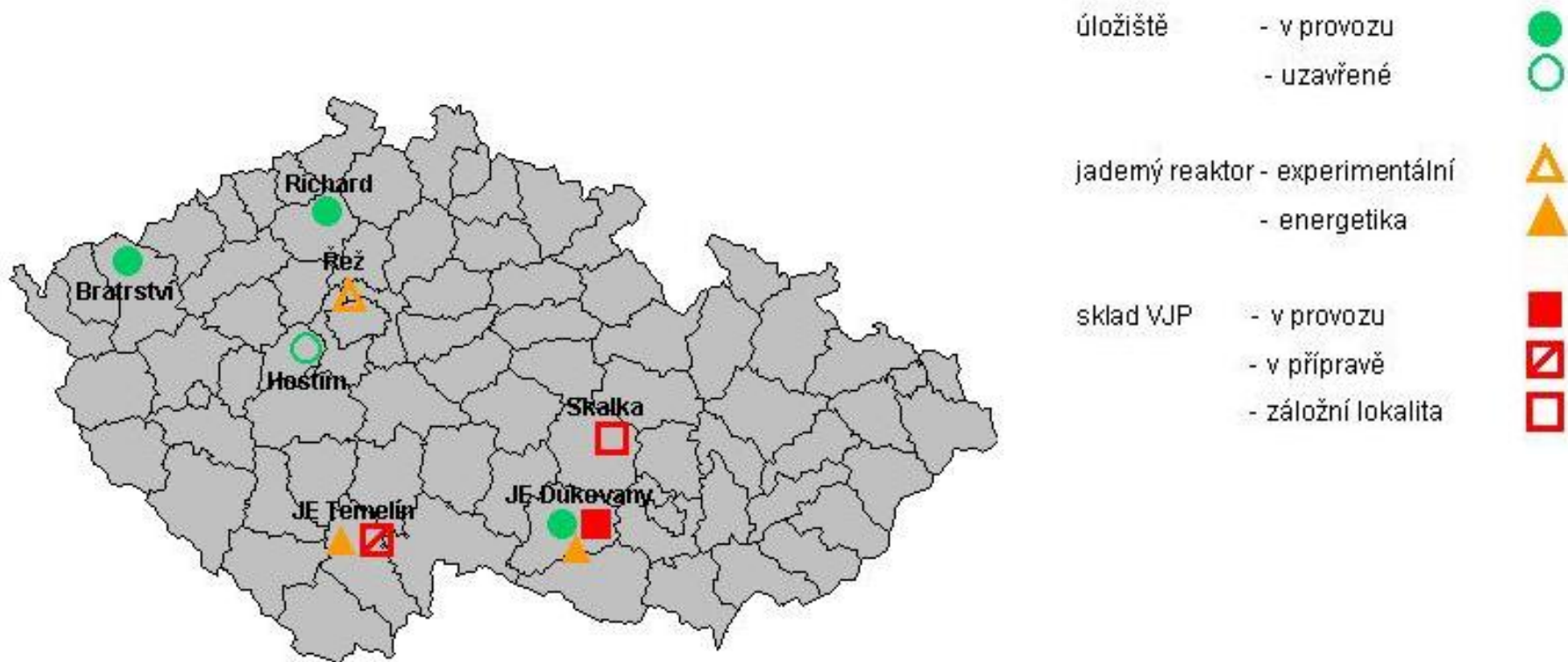
$T_{1/2}({}^{137}\text{Cs} - 30 \text{ let}) \rightarrow 300 \text{ let}$

povrchové (zabezpečit např. před pádem letadla)

hlubinné

(u nás teprve musíme vybudovat)

UMÍSTĚNÍ HLAVNÍCH LOKALIT SOUVISEJÍCÍCH S KONCEPCÍ NAKLÁDANÍ RAO A VJP



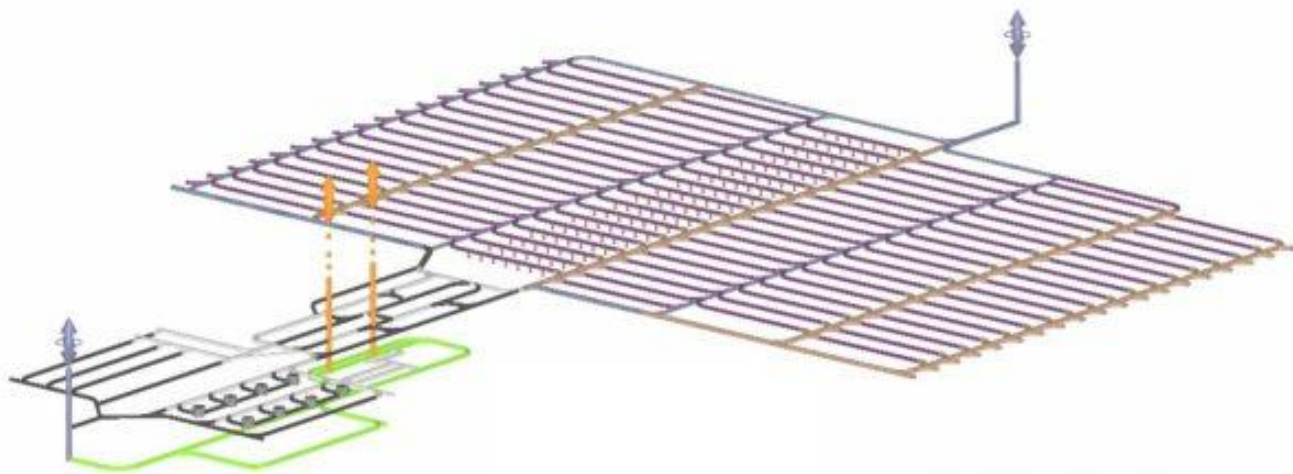
| Etapy výstavby nového úložiště | Termín dokončení prací |
|--|------------------------|
| Výběr vhodných lokalit pro hlubinné úložiště | 2015 |
| Výběr finální lokality | 2025 |
| Výstavba podzemní laboratoře v lokalitě | 2030 |
| Výstavba vlastního HÚ + pozemního zázemí | 2050 |
| Zahájení provozu hlubinného úložiště | 2065 |

**Jak úložiště
vypadá?**

**3D model
plánovaného**



**Jak úložiště
funguje?**



Při navrhování meziskladu a centrálního úložiště:...

- nutná dokonalá znalost lokality → mapy, měření
- využívat území s vhodnými geologickými podmínkami
→ krystalinikum, solné sedimenty
- brát v potaz názory veřejnosti → informovat!
(z. 123/1998 Sb. + z. 106/1999 Sb. *O právu na informace o ŽP*)
- geologický systém odzkoušet na modelu
(laboratoř v podobných podmínkách)

sklad (časově omezené umístění)

úložiště (trvalé umístění do vhodných prostor, bez úmyslu jakkoli s nimi v budoucnu manipulovat – snížení aktivity na 1/1000)

Výběr lokality pro HÚ

- **Etapa 1** - Hodnocení území (studie archivních geol. dat), – schválení výsledků Etapy 1 v rámci výroční zprávy SÚRAO za rok 2002
- **Etapa 2** - Zužování území lokalit 27→6 (+1 doplněna) geologické práce bez vrtných činností – geologický výzkum
- **Etapa 3** - Charakterizace lokalit (geologické práce s vrtnými činnostmi – geologický průzkum)

| Příprava hlubinného úložiště VAO/VJP v ČR (1992 - 2015) | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | 1992 | 1994 | 1996 | 1998 | 2000 | 2002 | 2004 | 2006 | 2008 | 2010 | 2012 | 2014 | |
| ETAPA 1 | ■ | | | | | | | | | | | | |
| ETAPA 2 | | | | | | | ■ | | | | | | |
| ETAPA 3 | | | | | | | | | | ■ | | | |

Finální lokalita bude vybrána na základě detailních geologických průzkumů, technických a ekonomických studií, studie dopadů na životní prostředí a socio-ekonomické analýzy...

Jak jsou na tom jinde?

- **Švédsko, Finsko** – v běhu - (Finsko 2015 schválena výstavba)
- **Německo** – „zahajuje nový proces vyhledávání lokality pro hlubinné úložiště“ VJP vozí do Francie k vitrifikaci
- **Francie, Kanada** – zúžen počet lokalit, budou pokračovat v detailnější studii pro budoucí hlubinné úložiště
- **USA** – fungující úložiště v Yucca Mountain (solné formace) na okraji Nevadské jaderné střelnice

Obce vyjadřují nesouhlas s umístěním HÚ...

V referendech se obce staví proti, přestože:

Zaměstnanost – výstavba+provoz+uzavírání 50-300 lidí (část místní)

Jaderná turistika – turistický ruch, technická zajímavost

Finance – subvence státu obcím → jen „povolení“ geol. průzkumu
9 – 12 MKč pro lokalitu ročně

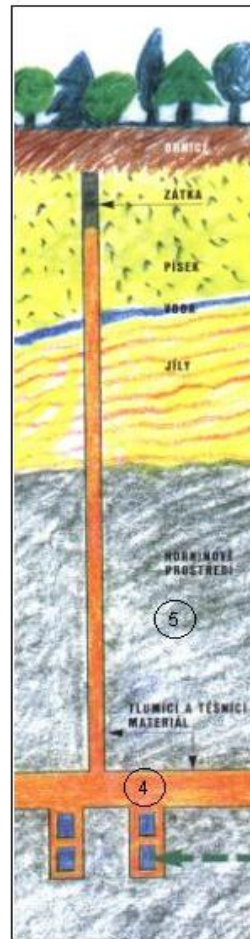
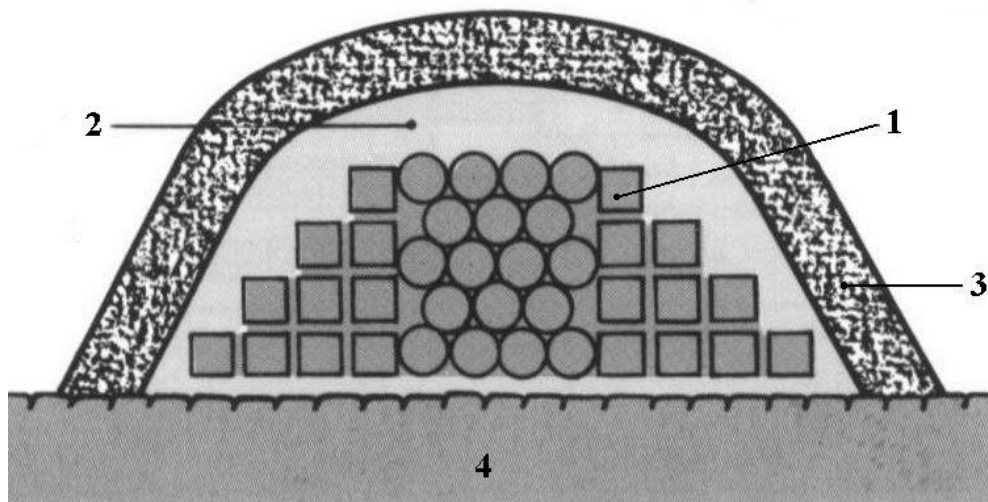
Multibariérový princip uložení

- *forma odpadu* (solidifikace zabrání šíření znečištění)
- *obal* (kontejnery CASTOR) – 30cm oceli odolává i kyselému prostředí okolí a vysoké teplotě odpadu → TESTY, umožňuje rovněž lepší manipulaci) kombinace materiálů měď-ocel-zalítí olovem izolační schopnosti 1 mld. let
- *utěsnění* – kontejner je izolován od prostředí, prostor je vyplněn těsnícím mat. (bentonity, cementy, živice, stabilizáty)
→ při zvýšení vlhkosti zvětší objem
- *geologická bariéra* (sama o sobě musí poskytnout prostředí ochranu)

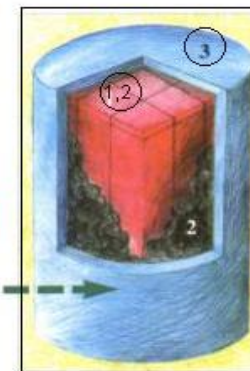
Nižší kvalita jedné bariéry vždy kompenzována vyššími nároky na ostatní prvky!!!

Multibariérový princip ochrany...

Model povrchového úložiště



- 5 Horninové prostředí (min. 500 m pod zemí)
- 4 Zásypové materiály (silná sorbční schopnost)
- 3 Úložný kontejner (hermetický, ušlechtilá ocel silné stěny)
- 2 Povlak palivových kazet (zirkonium) – vysoká korozní odolnost
- 1 Vlastní chemická forma odpadu (keramický nebo kovový materiál)

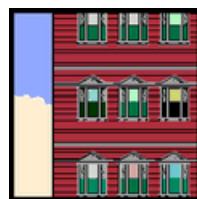


1. Solidifikovaný odpad v kontejnerech
2. Prostor vyplněný bentonitem
3. Ochranná bariéra
4. Nepropustné podloží

Na závěr: porovnání přírodních a umělých zdrojů ozáření, kterým je vystaven obyvatel Země [$\text{mSv}\cdot\text{rok}^{-1}$].



Kosmické
záření 0,25



Pozadí půda
a budovy 0,3



Potraviny a
nápoje 0,3



Přir. rad.
ovzduší 1,3



Lékařská
vyšetření 0,3



Zkoušky
zbraní 0,01



Letecká
doprava 0,01



JE včetně
úložišť 0,001

Závěr

- Radioaktivní odpad**
- ✓ malé objemy, vysoká ekologická nebezpečnost...
 - ✓ jen omezená možnost recyklace a úpravy...
 - ukládání odpadu na zabezpečená místa
 - výstavba úložiště 2050-2065
 - ✓ vzhledem k nebezpečnosti odpadu nutné několikanásobné zabezpečení odpadu!
 - ✓ nepodléhat hysterii z RAO

Doporučené odkazy

- <http://www.surao.cz/> Správa Úložišť Radioaktivních Odpadů
- <http://www.sujb.cz/> Státní Úřad pro Jadernou Bezpečnost
- <http://www.nri.cz/cz/> Ústav jaderného výzkumu