

Jaderná energetika (JE)

Pavel Zácha

2014-04

16. Radioaktivní odpady

Úvod

Dělení radioaktivních odpadů

Vznik a zpracování RaO

Ukládání RaO

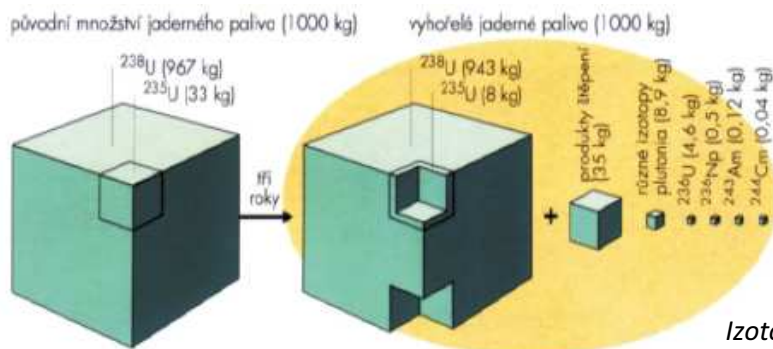
16.1 Úvod

- Radioaktivní odpady (RAO) a vyhořelé jaderné palivo (VJP)
 - nejčastější argumenty odpůrců JE
- Zneškodňování RAO – multidisciplinární problematika
 - chemie, fyzika, strojnictví, stavebnictví, geologie ...
- Základní termíny
 - Radioaktivní odpad (RAO)
 - Vyhořelé jaderné palivo (VJP)
 - Nakládání s RAO a VJP
 - Předběžné zpracování a zpracování RAO
 - Úprava RAO k uložení
 - Skladování RAO a VJP
 - Ukládání RAO a VJP

16.1 Úvod

Základní termíny

- Radioaktivní odpad (RAO)
 - Odpadní látky, předměty nebo zařízení nevyužitelné jejich vlastníkem
 - Obsah radionuklidů nebo povrchové znečištění překračuje hodnoty umožňující uvedení do životního prostředí
- Vyhořelé jaderné palivo (VJP)
 - vzhledem k vysokému obsahu energeticky využitelných složek **není odpad**
 - považováno za druhotnou surovinu
 - s VJP musí být nakládáno tak, aby nebyla ztížena pozdější úprava k uložení



16.1 Úvod

Základní termíny

- Nakládání s RAO a VJP

- Radioactive waste management
- Zahrnuje:
 - předběžné zpracování (sběr, třídění)
 - zpracování
 - skladování
 - úpravu k uložení
 - uložení

Zneškodněním se rozumí uvedení do stavu, aby neohrožovaly životní prostředí (úprava a uložení)

- Předběžné zpracování a zpracování RAO

- souhrn technologických procesů a postupů vedoucích k převedení vzniklých odpadů do formy umožňujících jejich **efektivní úpravu k uložení**
 - koncentrace
 - fragmentace
 - chemická úprava
 - dekontaminace
 - ochranné obalení

16.1 Úvod

Základní termíny

- Úprava RAO k uložení

- souhrn technologických procesů a postupů, jimiž se odpad převádí do chemické a fyzikální **formy, v jaké bude uložen**
 - imobilizace do 200 litrového ocelového sudu
 - kapaliny převedeny do pevného skupenství
 - tuhé odpady zality betonem

- Skladování RAO a VJP

- časově omezené umístění RAO do určených prostor, objektů nebo zařízení (sklad)

- Ukládání RAO a VJP

- trvalé umístění RAO a VJP do vhodných prostor (úložiště) bez úmyslu jakkoliv s nimi v budoucnosti manipulovat



16.2 Dělení radioaktivních odpadů

- Doba života radionuklidů
 - $T_{1/2} < 1$ rok - přechodné RAO
 - $T_{1/2} < 30$ let - krátkodobé RAO
 - $T_{1/2} > 30$ let - dlouhodobé RAO
- Obsah radionuklidů
 - $< 10^9$ Bq.m⁻³ – nízko-aktivní odpady (NAO)
 - $< 10^{14}$ Bq.m⁻³ – středně-aktivní odpady (SAO)
 - $> 10^{14}$ Bq.m⁻³ – vysoce-aktivní odpady (VAO)
- typ emitovaného záření (α , β , γ , n)
- povrchová kontaminace
- tepelný výkon
- kritičnost

Některé produkty štěpení uranu		
radionuklid	poločas	typ záření
stroncium ⁸⁹ Sr	52 dní	beta
stroncium ⁹⁰ Sr	28 let	beta
molybden ⁹⁹ Mo	67 hodin	beta, gama
jod ¹³¹ I	8 dní	beta, gama
cesium ¹³⁷ Cs	30 let	beta, gama
baryum ¹⁴⁰ Ba	13 dní	beta, gama
plutonium ²³⁹ Pu	24 400 let	alfa, gama

16.2 Dělení radioaktivních odpadů

Kategorizace RAO (MAAE)

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

16.3 Vznik a zpracování RaO

Kde vzniká RaO

- Jaderný palivový cyklus
 - těžba a zpracování uranových rud
 - Hlušina a odvaly z dolů
 - Zbytky po loužení rud
 - Podzemní kontaminované vody
 - výroba jaderného paliva
 - provoz jaderných reaktorů
 - zpracování vyhořelého jaderného paliva
 - Rozpouštění, oddělení uranu, oddělení plutonia
- Institucionální odpady
 - původci – “institute” – výzkumné ústavy, průmyslové podniky, nemocnice, odpady vznikající při vyřazování z provozu
- Jiné zdroje RAO
 - odpady vojenského původu



Institucionální odpad

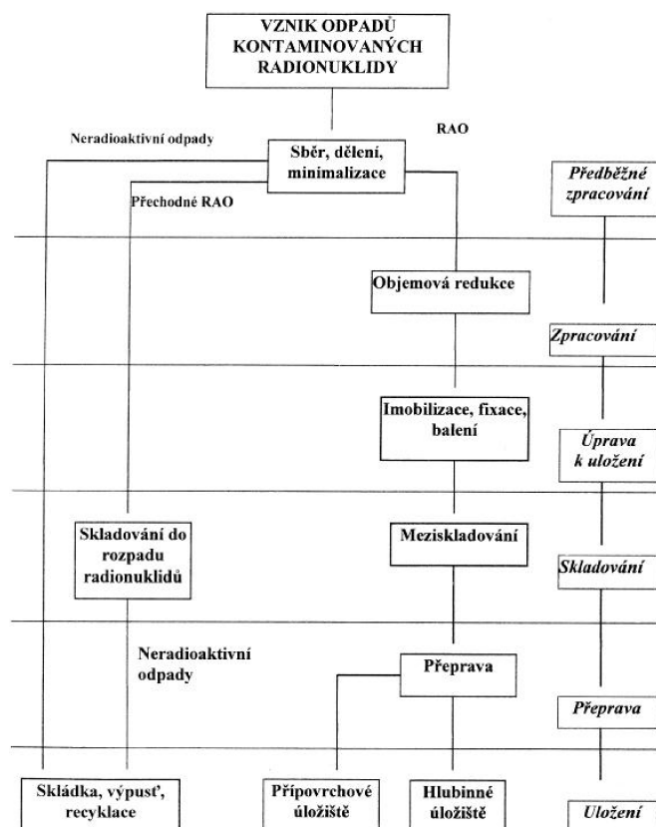
16.3 Vznik a zpracování RaO

Kde vzniká RaO

Množství RAO vznikajících při provozu energetických reaktorů v ČR

Typ RAO	EDU (m ³ za rok)	ETE (m ³ za rok)	Průměrná aktivita (MBq . m ⁻³)
Kapalné (koncentrát)	400	330	10 ² - 10 ³
Organické kapaliny (olej)	2	2	1
Pevné spalitelné RAO	75	65	< 10 ²
Ostatní pevné	<15	<15	až 10 ⁶
Použité ionexy	35	30	10 ⁴
Kaly	5	5	10 ⁴

16.3 Vznik a zpracování RaO



16.3 Vznik a zpracování RaO

Předběžné zpracování RaO

- Rozdělení odpadů na aktivní a neaktivní
- Shromáždění aktivních dopadů podle kategorií (efektivnější oddělené nakládání)
- Případná dekontaminace RAO
- Chemická úprava
- Redukce rozměrů (řezání a stříhání trubek, drcení RAO ...)
- Ochranné obalení pevných RAO (filtry do obalů)

16.3 Vznik a zpracování RaO

Zpracování RaO

Cíl: zvýšit bezpečnost dalších fází nakládání s RAO a zlepšit technické a ekonomické parametry úpravy a uložení RAO

- snížení objemu RAO
- odstranění radionuklidů z odpadů
- změna složení RAO
- Kapalné odpady
 - chemická úprava
 - odpařování
 - iontová výměna
 - extrakce; reverzní osmóza; ultra- a mikrofiltrace

Způsoby dělení a zpracování RaO

Zdroje	Typy odpadů	Zpracování	Konečná úprava
jaderná elektrárna nemocnice výzkum atd.	pevné plynné kapalné	lisování spalování odpařování zahušťování	bitumenace cementace vitrifikace

16.3 Vznik a zpracování RaO

Zpracování RaO

- Pevné odpady
 - mechanické (lisování)
 - termické (spalování, pyrolýza, termický rozklad v taveninách)
 - tavné (tavení kovů, plastů)
 - chemické (mokrý oxidace, fotolýza, elektrolyza, biochemická dekompozice)
- Plynné odpady
 - nízké koncentrace – kontrolované vypouštění do atmosféry
 - aerosoly a úlety a další pevné částičky RAO - zachycovány na filtrech
 - radioaktivní plyny mohou být také plněny do tlakových lahví

16.3 Vznik a zpracování RaO

Úprava RaO k uložení

- **Odolnost** proti degradačním procesům
- Zachování **dlouhodobé neměnnosti** fyzikálních a chemických vlastností
- **Minimální agresivita** vůči složkám úložného systému
- **Minimální tvorba plynů**
- Dostatečná mechanická a radiační **stabilita**
- kapalné odpady
 - bitumenace, cementace, polymerace, vitrifikace, fixace do keramických hmot, sintrace
- pevné odpady
 - úprava svázaná s předchozím zpracováním – na rozdíl od kapalných RAO se obě operace provádí v jednom kroku
 - popel, ionexy, kaly – cementace
 - vzduchotechnické filtry – lisovány do sudů
 - fragmentované kusy zařízení (stavební materiály) – zabetonovány do sudů
 - přetavená ocel a barevné kovy – umístěny do skladu jen s obalem

16.3 Vznik a zpracování RaO

Úprava RaO k uložení

- Bitumenace
 - zabudování do bitumenové (asfaltové) matrice
 - při teplotách 160 – 200°C je odpařena voda a bitumen je vypuštěn do ocelového sudu – po vychladnutí ztuhne
 - vhodné pro NAO a SAO
 - nebezpečí vznícení
- Cementace
 - výroba cementového kamene smícháním vody s cementem
 - místo vody se používá koncentrát RAO
 - teoreticky třeba 24% vody, používá se 40 – 55% - nadbytečná voda se částečně odpaří, částečně zůstává v pórech
 - vhodné pro NAO a SAO



Řez sudem se zacementovaným odpadem

16.3 Vznik a zpracování RaO

Úprava RaO k uložení



- Polymerace
 - zhruba 40 termoplastů i termosetů
 - pro zpevnění ionexů a organických kapalin – polyestery, vinylestery, epoxidy
 - pro fixaci vysušených a kalcinovaných RAO – polyetylén
 - pro radioaktivní koncentráty – močovino-formaldehydové pryskyřice
- Vitrifikace
 - skelné systémy – odolné proti radiačnímu namáhání! – pro VAO
 - výroba při 900 – 1200°C
 - koncentráty obsahují oxidy prvků, které jsou součástí sklářského kmene (boru, fosforu, alkalických a dalších kovů)
 - skelné systémy z borosilikátových, olovnatých, titanových a fosfátových skel

16.3 Vznik a zpracování RaO

Úprava RaO k uložení

- Fixace do keramických hmot, sintrace
 - sklo je amorfní (tuhý roztok); vysokoteplotní proces
 - keramické materiály si zachovávají svou krystalickou strukturu
 - používají se přírodní keramické hmoty i vyvinuté – synthetic rock
 - sintrace – teplota je o několik set °C nižší než teplota tavení - levnější

Množství ukládaného RaO

		Nízko a středně aktivní odpady z provozu (m ³)	Nízko a středně aktivní odpady z vyřazování reaktorů (m ³)	Vysokoaktivní odpady z provozu (m ³)	Vysokoaktivní odpady z vyřazování reaktorů (m ³)	Vyhořelé palivo (t)
	JE Dukovany					
	1985 - 2025	10 250		50		1 937
	2025 - 2035		3 640			
	2035 - 2094		2 385		2 000	
	JE Temelín					
	2000 - 2042	12 000		50		1 787
	2040 - 2047		620			
	2090 - 2095		4 012		624	
	Instituce					
	1958 - 2000	2 800		80	5	0,2
	2000 - 2095	5 700		150	50	0,3

16.4 Ukládání RaO

Skladování RaO

- Zajistit vymezený zastřešený prostor
- Standardní ISO kontejnery, 60 – 200 litrové sudy, krabice
- Více aktivní RaO jsou vkládány do plechových přepravek
- Vysokoaktivní RaO musí být v obalech vložitelných do stíněných kontejnerů

Vlastní ukládání RaO

- Dlouhodobá izolace radionuklidů od životního prostředí
- Podmínky přijatelnosti
 - bezpečnostní: maximální koncentrace, dávkové příkony, povrchové kontaminace...
 - technické: přípustné hmotnosti obalových jednotek, rozměry ...
 - administrativní: jednoznačné označení obalových jednotek, vyplnění průvodních listů s údaji o RaO

16.4 Ukládání RaO



Suché mezisklady VJP



16.4 Ukládání RaO

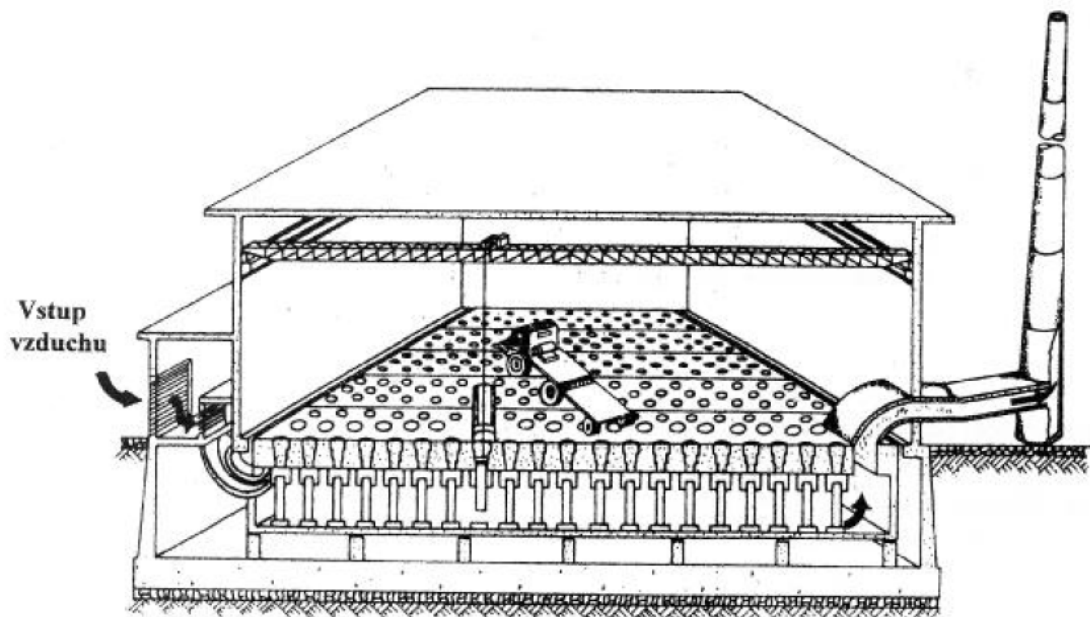
- Úložiště RaO v ČR:
 - Richard u Litoměřic
 - Bratrství u Jáchymova
 - Dukovany
 - Hostím u Berouna – uzavřeno v roce 1964

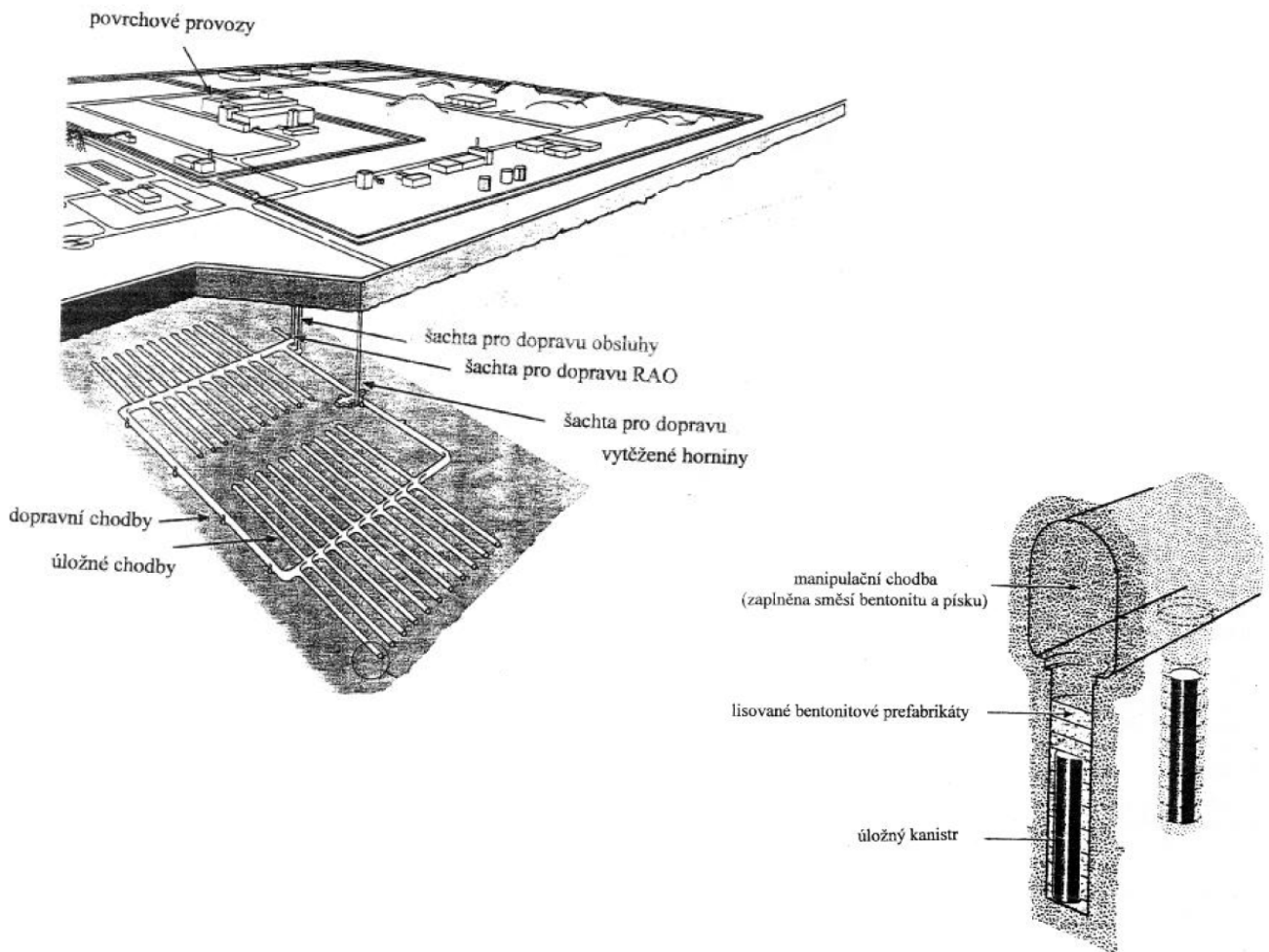
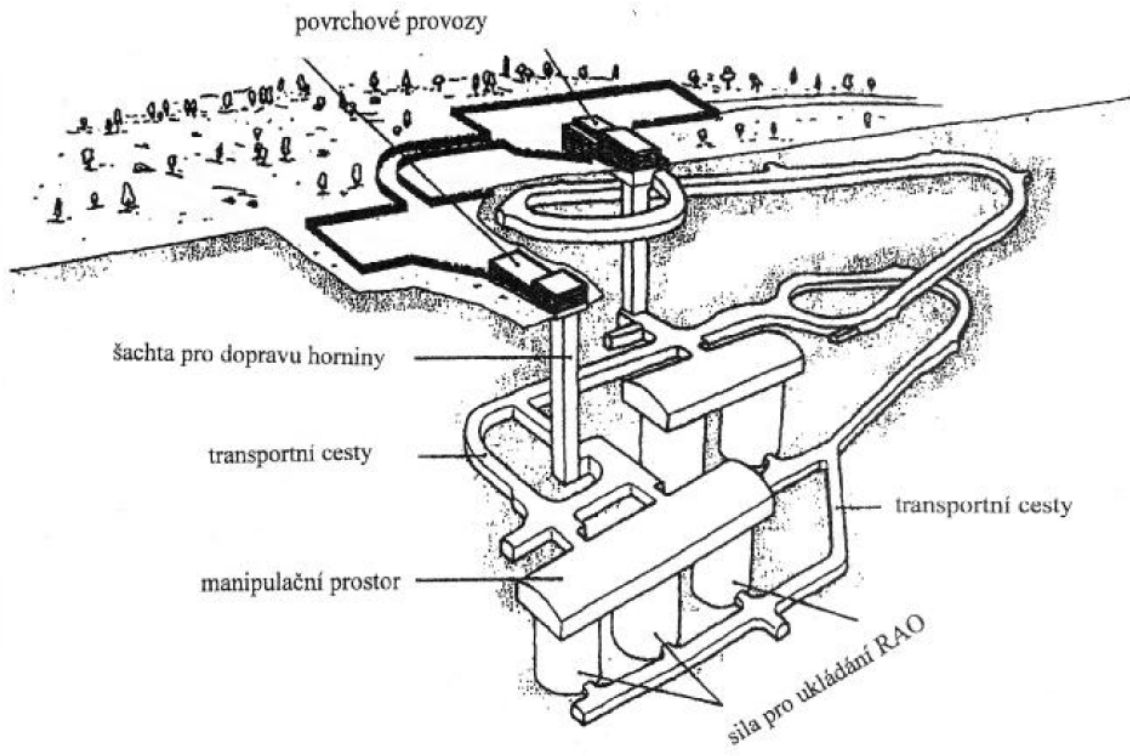


Úložiště RaO v ČR

Adaptované prostory vápencového dolu v úložišti Richard

Schéma skladu vysoceradioaktivních pevných odpadů (Tarapur, Indie)





16. Radioaktivní odpady

výstupy z kapitoly

Základní termíny

- VJP není odpad
- co zahrnuje radioactive waste management

Dělení RaO

- doba života a obsah radionuklidů, typy emitovaného záření

Vznik a zpracování RaO

- kde vzniká RaO
- hlavní způsoby úprav k uložení (bitumenace, cementace, polymerace, vitrifikace)

Ukládání RaO

- kde a jak se skladuje
- úložiště RaO v ČR