

Ukládání jaderných odpadů

Ing. Bc. Lucie Karásková Nenadálová, Ph.D., Ing. Jaroslav Stoklasa, Ph.D., Centrum výzkumu Řež s.r.o.; e-mail: lucie.nenadalova@cvrez.cz, jaroslav.stoklasa@cvrez.cz

Souhrn

Příspěvek se zabývá problematikou jaderných úložišť, popisuje současnou fázi vývoje hlubinného úložiště RAO, která směřuje k zúžení počtu kandidátských lokalit a současné výzkumné aktivity v oblasti ukládání RAO. V článku je řešena komplexní problematika ukládání RAO, jednak z pohledu výstavby hlubinného úložiště a jejich vlivů na obyvatele, životní prostředí, tak i z hlediska uchovávání a předávání informací budoucím generacím.

Klíčová slova: hlubinné úložiště, radioaktivní odpady, bezpečnost ukládání, inženýrské bariéry

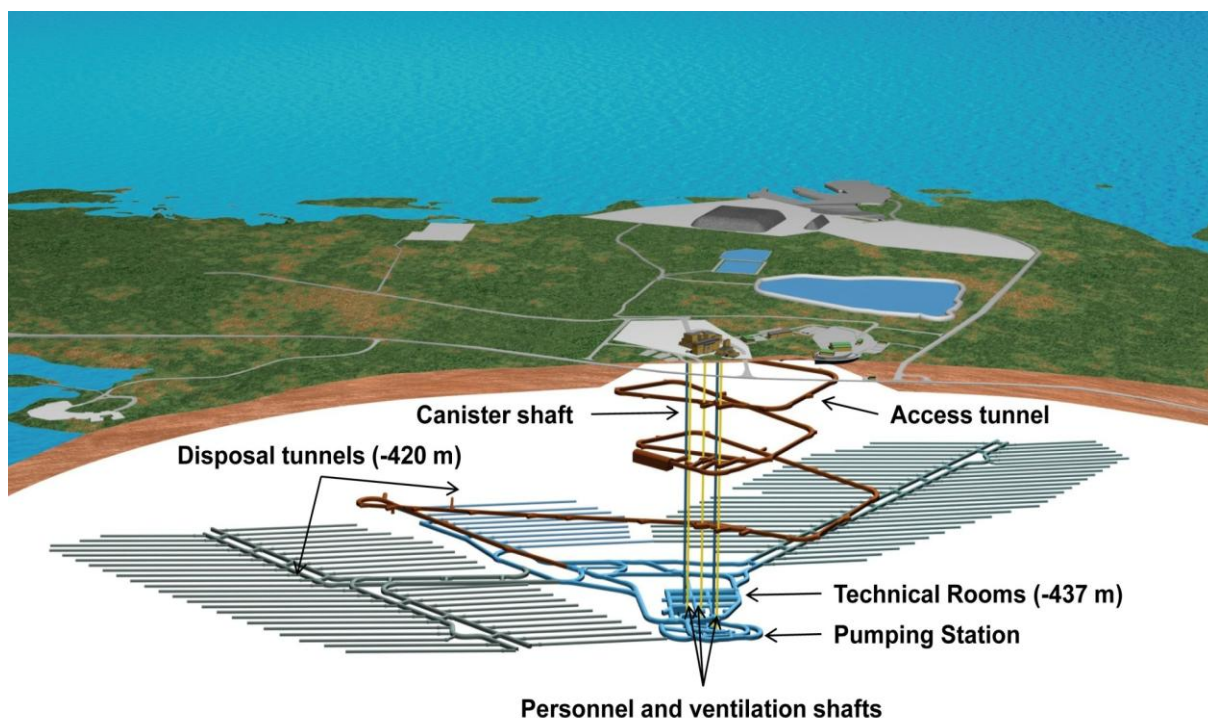
Úvod

Česká republika počítá s výstavbou hlubinného úložiště radioaktivních odpadů pro uložení vyhořelého paliva z jaderných reaktorů a středněaktivních odpadů vznikající v jaderné energetice, průmyslu a zdravotnictví. Bezpečnost ukládání je založena na kontrole migrace radiokontaminantů z úložiště do biosféry: je toho dosaženo systémem bariér, jak přírodních, tak i inženýrských vytvořených člověkem. Jejich úkolem je zajistit bezpečnost biosféry po celou dobu existence radionuklidů. Inženýrské bariéry jsou schopné zadržet kontaminanty po dobu až milionu let, potom přebírá funkci hostitelská hornina. Palivové tablety jsou uloženy v proutcích z odolné slitiny zirkonia, které jsou dále uloženy v kovových ukládacích kontejnerech – zde v současné době probíhá výzkum materiálů, které budou mít nejvhodnější vlastnosti z antikoroziního a chemického hlediska. Kovový kontejner bude dále obalen bentonitem, který vyplní a utěsní volné prostory v úložné komoře. Poslední ochrannou bariéru tvoří přírodní bariéra, která musí omezovat pohyb radiokontaminantů a také odvést teplo vznikající při jaderném rozpadu.

Hlubinné úložiště radioaktivních odpadů a vyhořelého jaderného paliva v České republice

V ČR se předpokládá umístění hlubinného úložiště v krystalických horninách (žuly, metamorfity) zhruba 500 metrů pod povrchem. V současnosti probíhá výběr finální lokality pro umístění úložiště, pro které je nyní zvažováno devět lokalit. Zahájení výstavby úložiště je plánováno v roce 2050 a uvedení do provozu v roce 2065. Souběžně probíhají výzkumy zaměřené na výběr vhodných bariérových materiálů, chování uložených odpadů a vyhořelého paliva v podmínkách hostitelských hornin, výběr metodik pro zkoumání a prověřování charakteristik horninového masivu atd. Odhaduje se, že cena vybudování a provozu úložiště přesáhne 110 miliard Kč, z toho cca třetina je určena na výstavbu povrchových a podzemních provozů.

Každoroční množství vyhořelého paliva a vysokoaktivních odpadů se pohybuje v České republice okolo 80 tun. Celková kapacita úložiště má být téměř 10 000 t (včetně nových reaktorů). Vyhořelé jaderné palivo v České republice se nejprve skladuje na několik let v elektrárenských bazénech u reaktorů a poté se palivo překládá do speciálních kontejnerů z litiny a převáží do meziskladů elektráren. Kontejnery jsou konstruovány tak, aby odstínily jaderné záření a odvedly vznikající teplo.



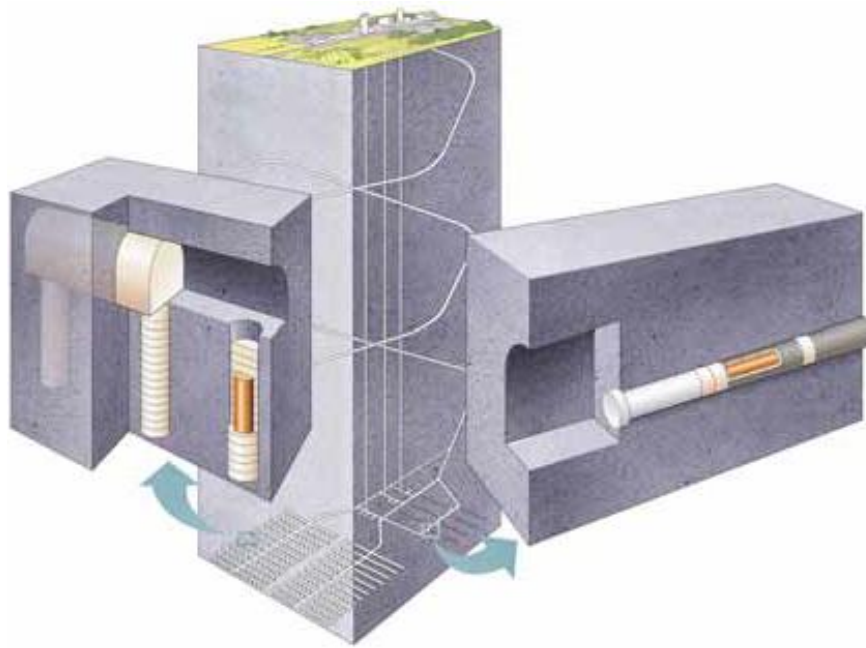
Obrázek 1 Popis areálu úložiště, příklad Finsko; zdroj: (www.posiva.fi)

Další možnost, jak se vypořádat s vyhořelým jaderným palivem, je přepracování jaderného paliva, které se využívá například ve Francii. Po přepracování paliva však zůstávají vysokoaktivní odpady, které je třeba stejně uložit do hlubinného úložiště. V České republice se zatím o přepracování paliva neuvažuje. V rámci výzkumu se však zkoumají technologie, které by umožnily další zpracování vysokoaktivních odpadů.

Popis areálu úložiště

Předpokládaná výstavba úložiště zahrnuje vybudování nadzemního areálu (cca 20 ha plochy) a podzemních prostor s půdorysem cca 2 km² a délkou úložných chodeb až 45 km (v závislosti na zvoleném úložném konceptu). Nadzemní areál bude sloužit pro manipulaci s přivezenými kontejnery, budou zde administrativní budovy, podpůrné provozy, dílny, sklady materiálů a horniny a také informační centrum. Podzemní prostory budou s povrchové areálem propojeny svislými přístupovými šachtami a zároveň tunelem ve tvaru šroubovice, tak aby se oddělila doprava úložných kontejnerů od cest sloužící pro přístup pracovníků do podzemí a ústupových cest pro zajištění bezpečnosti. [3]

Předpokládaná délka úložných chodeb bude okolo 300 m, nejvhodnější způsob ukládání (vodorovně, svisle, či šikmo) bude zvolen podle nejvhodnější dostupné technologie v době rozhodnutí o výstavbě okolo roku 2040.



Obrázek 2 KBS3 koncept vyvinutý pro švédský a finský program (vertikální a horizontální verze); zdroj: (www.posiva.fi)

Důležitým požadavkem pro dosažení dlouhodobé bezpečnosti úložiště je zajištění neporušenosti hostitelské horniny, proto kvůli minimalizaci vzniku zón porušení je vyloučeno použití trhavin, vč. tzv. hladkého výlomu – tato technologie je přijatelná pouze pro budování přístupových cest k úložným prostorům. Metody, nacházející uplatnění pro budování úložných prostor, jsou v podstatě čtyři: širokoprofilové vrty (cca 1.5 m) pro budování horizontálních úložných prostor a vertikálních úložných hnízd, TBM pro obslužné chodby, použití destrukce hornin pomocí vodního paprsku bylo shledáno málo efektivním, zato nadějně vypadá řezání hornin diamantovým drátem. [4]

Současná situace v rámci Evropy

V evropském srovnání přípravy výstavby hlubinného úložiště se Česká republika nachází cca v polovině vývoje. Nejdále jsou ve Finsku, kde se právě zahajuje výstavba úložiště v Eurojaki rozšířením stávající podzemní laboratoře. Ve Švédsku očekávají povolení k výstavbě během cca 2 let, Francie rovněž o povolení výstavby požádala. Otevření úložiště ve všech třech zemích se předpokládá ke konci dvacátých let. Řada zemí je zatím v plánovací fázi přípravy úložiště (Rumunsko, Bulharsko, Litva, Ukrajina). V Holandsku jsou všechny odpady a vyhořelá paliva skladovány s tím, že do roku 2100 se má rozhodnout o způsobu jejich zneškodnění.

Evropská komise podporuje výzkum úložiště financováním řady projektů již 30 let, každoročně jsou pro tyto účely uvolňovány částky v řádech desítek milionů eur. V nedávné době mj. probíhal projekt JOPRAD (*Towards a Joint Programming on Radioactive Waste Disposal*), který měl za úkol vytvořit systém podpory vývoje hlubinného úložiště tak, aby se zvýšila účast odborníků ze zemí s méně vyvinutým programem ukládání. Projektu se účastnily výzkumné organizace, instituce podporující jaderný dozor (*Technical Support Organisations – TSO*) i budoucí provozovatelé úložišť. Ve všech třech kategoriích měla Česká republika zastoupení: SÚRAO jako provozovatelem úložiště, Centrem výzkumu Řež jako TSO organizací a Centrem experimentální geotechniky a ÚJV reprezentujícím výzkum.

Záhlaví vyhrazeno pro redakci • Záhlaví vyhrazeno pro redakci • Záhlaví vyhrazeno pro redakci • Záhlaví vyhrazeno pro redakci • Záhlaví vyhrazeno pro redakci • Záhlaví vyhrazeno pro redakci •

Z dalších významných projektů s českou účastí je třeba zmínit projekt SITEX-II: *Sustainable network for Independent Technical EXPertise of radioactive waste disposal – Interactions and Implementation*, účastnily se zejména TSO a dozorové orgány v oblasti jaderné bezpečnosti, předmětem bylo vytvoření sítě TSO v Evropě a vypracování společné strategie ověřování bezpečnostní dokumentace úložišť. [2]

MIND – *Microbiology In Nuclear Disposal* – cílem projektu bylo provádění experimentů pro určení korozní rychlosti uhlíkové oceli vlivem mikroorganismů; projektu se účastnilo Centrum výzkumu Řež a TUL (Technická univerzita v Liberci).

DOPAS – *Full Scale Demonstration of Plugs and seals* – projekt ověřuje technologie uzavírání podzemních úložných sekcí, jeden z experimentů je instalován v podzemní laboratoři Josef provozované CGE (*Centrum experimentální geotechniky*).

Ve Švédsku byla v roce 2009 již vybrána konečná lokalita pro výstavbu hlubinného úložiště v žulovém masivu blízko jaderné elektrárny *Forsmark*, úložný koncept je založen na použití dvouvrstvých kontejnerů vyrobených z oceli a mědi. Tento koncept byl vyvinut ve spolupráci s finskými a jinými evropskými i zámořskými institucemi na základě výzkumů prováděných v podzemní laboratoři v *Äspö*.



Obrázek 3 Podzemní laboratoř Äspö Švédsko, -450 m pod zemským povrchem pro výzkum hlubinného ukládání; foto: autor

Laboratoř se nachází na pobřeží Baltského moře. Probíhá zde například demonstrace vodorovného a svislého ukládání maket úložných kontejnerů, výzkum mikrobiálního osídlení chodeb, testování mechanismů pro ukládání úložných kontejnerů a těsnění kontejnerů nebo vrtání a studium stability

Zápatí vyhrazeno pro redakci • Zápatí vyhrazeno pro redakci • Zápatí vyhrazeno pro redakci • Zápatí vyhrazeno pro redakci • Zápatí vyhrazeno pro redakci • Zápatí vyhrazeno pro redakci •
Zde může být upoutávka na vaši firmu, stane-li se PATRONEM ČÍSLA, a její jméno bude na každé stránce!

úložných prostorů. Podzemní laboratoř a informační centrum jsou přístupné veřejnosti pro předem objednané exkurze.

Významné projekty v ČR v oblasti hlubinného ukládání

Vývoj hlubinného úložiště v ČR je řízen SÚRAO, které zadává většinu zakázek v této oblasti. Významným projektem, který byl nedávno dokončen je *Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště* (koordinovaný ÚJV): Zkoumal chování obalových souborů pro VJP (vyhořelé jaderné palivo) a RAO (radioaktivní odpady) vliv mikrobiální aktivity na korozi materiálů úložného obalového souboru pro ukládání odpadů, nepřijatelných do přípovrchových úložišť, v prostředí hlubinného úložiště.

Byl také zahájen projekt zaměřený na inženýrské aspekty budování hlubinného úložiště (koordinátorem je ČVUT v Praze). Průzkum potenciálních lokalit je odložen kvůli negativní reakci obyvatel z ovlivněných lokalit, přestože byl vydán souhlas s jeho zahájením Ministerstvem životního prostředí.

Vývoj hlubinného úložiště (SÚJB): nezávislé posouzení bezpečnosti lokalit navrhovaných pro umístění budoucího hlubinného úložiště (HÚ) na základě vstupů poskytnutých budoucím provozovatelem úložiště v rozsahu zadávací bezpečnostní zprávy pro povolení umístění HÚ.

Uchovávání a předávání informací budoucím generacím

V posledních letech získává problematika uchovávání informací, dat a jejich předávání budoucím generacím (IDKM) stále důležitější roli ve společnosti, přičemž několik analytiků dokonce tvrdí, že moderní společnost přechází z produkční ekonomiky ke znalostní ekonomice (Drucker, 1993). Spolehlivé a efektivní IDKM se proto stalo zásadní výzvou ve všech odvětvích průmyslu, výzkumu, vývoje a demonstrace (RD&D) a základní vědy.

V rámci problematiky výstavby hlubinného úložiště je problematika IDKM řešena v pracovní skupině pod hlavičkou NEA – OECD. [5]. (NEA – OECD byla založena 1 února 1958 a v současné době je zapojeno 33 zemí ze světa).

Návyky a dovednosti budoucích generací se mohou rychle změnit. Potenciální potřeby budoucích generací proto nelze předvídat, ale lze je předpokládat na základě potenciálních potřeb, schopností a dovedností současných generací. Předpokládá se široká škála potenciálních potřeb jako například provádění monitorování úložiště, provádění úpravy úložiště v případě nepřijatelného vývoje úložiště.

Celý proces úložiště bude trvat několik desetiletí až do uzavření a možná dokonce trvat více než 100 let.

Potřebná dokumentace je naznačena v Aktualizované koncepci nakládání s RAO a VJP [6]. Evidence, uchování a předání informací o uložených odpadech dalším generacím, systematika ukládání těchto informací, musí být jednoznačné i po 50 letech. Tomu má být přizpůsoben výběr informací a způsob zápisu.

Je zřejmé, že zneškodnění RAO a VJP musí být bezpečné a ekonomické. V současné době se prakticky ve všech zemích světa stále více zdůrazňuje požadavek, aby vybraná řešení byla přijatelná pro veřejnost. Zvolená řešení musí proto být nejenom bezpečná a ohleduplná k životnímu prostředí, ale musí být všeobecně přijímána jak v lokalitách, kde jsou či by měla být tato zařízení umístěna, tak širokou veřejností.

Závěr

V současné fázi vývoje hlubinného úložiště RAO se směřuje k zúžení počtu kandidátských lokalit, nicméně doposud chybí podstatné informace z hloubkové úrovně budoucího úložiště. Rovněž výběr

materiálů pro konstrukci inženýrských bariér nebyl dosud ukončen. Přesto je v této fázi možno a nutno vytvořit nástroje a metodické postupy hodnocení vhodnosti navrhovaných lokalit a technického řešení.

Presentované výsledky byly finančně podpořeny Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy – projekt LQ1603 Výzkum pro SUSEN. Práce byla realizována na velké infrastruktuře Udržitelná energetika (SUSEN) vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0108.

Literatura

- [1] Udržitelná energetika SUSEN, informace o projektu, Jiří Richter, vydáno 2015
- [2] Interní přednášky výzkumného programu Jaderný palivový cyklus v projektu SUSEN – J. Mikšová, T. Černoušek, L. Karásková Nenadálová
- [3] Hlubinné úložiště radioaktivních odpadů a vyhořelého jaderného paliva, Informační materiál SÚRAO, 2011
- [4] Možnosti využití BT při výstavbě hlubinného úložiště, Lucie Karásková Nenadálová, Lumír Nachmilner, časopis NO DIG, ročník 22, číslo 4, ISSN 1214-5033, vydává Česká společnost pro bezvýkopové technologie
- [5] Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M) Across Generations, Compiling a Set of Essential Records for a Radioactive Waste Repository, NEA – OECD, 2019
- [6] Aktualizace Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem – Ministerstvo průmyslu a obchodu, SÚRAO, 2017

Nuclear waste disposal

Ing. Bc. Lucie Karásková Nenadálová, Ph.D., Ing. Jaroslav Stoklasa, Ph.D., Centrum výzkumu Řež s.r.o.; e-mail: lucie.nenadalova@cvrez.cz, jaroslav.stoklasa@cvrez.cz

Summary

The paper deals with the issue of nuclear repositories, describes the current stage of development of a deep geological repository, which aims to narrow the number of candidate sites and current research activities in the field of RAW disposal. The article deals with the complex issue of RAW disposal, both from the point of view of the construction of a deep geological repository and its impact on the population, the environment and from the point of view of preservation and transfer of information to future generations.

Keywords: deep geological repository, radioactive waste disposal, safety of disposal, engineering barriers