RADIOAKTIVNÍ ODPADY A SKUPINA ČEZ

SKUPINA ČEZ

OBSAH

ÚVOD 5
Vznik radioaktivních odpadů – strašák moderní doby 6
Vysokoaktivní odpady 6
Jak s nízkoaktivním a středněaktivním odpadem 13

KONCEPCE NAKLÁDÁNÍ S RADIOAKTIVNÍMI ODPADY V ČR 17
Ukládání v Dukovanech 19
Ukládání v Temelíně 22
Záložním řešením ukládání je centrální sklad Skalka 23

RADIOAKTIVNÍ ODPADY A EVROPSKÁ UNIE 25
Příklady ukládání v Unii 26
Hlubinné ukládání a země EU 27
Místo závěru 30

ÚVOD

Žádná lidská činnost – a jaderná energetika není výjimkou – se neobejde bez produkce odpadů. Jen země EU každoročně vyprodukují 2 miliardy tun odpadu všeho druhu. Z toho je 35 milionů tun klasifikováno jako „nebezpečný odpad“ (pesticidy, asbest, těžké kovy atd.). Z celkového množství připadá na jednoho obyvatele 80 kg těchto odpadů. V případě radioaktivních odpadů jde pouze o 0,00013 m^3, tj. 0,13 litru na osobu ročně či o 9,75 litru za průměrně dlouhý lidský život. Méně než 1 % z toho jsou tzv. vysokoaktivní odpady ve formě zbytků použitého jaderného paliva. Drtivá většina radioaktivních odpadů (90 %) z celkového množství 50 000 m^3 radioaktivních odpadů vyprodukovaných v EU jsou odpady nízkoaktivní (papír, nářadí, látky, filtry apod.).
Na rozdíl od jiných průmyslových nebo chemických odpadů, které jsou jedovaté či jinak nebezpečné na věky, radioaktivní odpady svou nebezpečnost postupně ztrácejí. Radionuklidy, které použité palivo obsahuje, se totiž s charakteristickým poločasem rozpadu přeměňují na neaktivní prvky. Přesto se ve světě – a samozřejmě i v České republice – nakládání s radioaktivními látkami věnuje v zájmu bezpečnosti mimořádná pozornost.
Radioaktivní odpady vznikají v jaderné energetice v podstatě v průběhu celého palivového cyklu – od vytěžení uranové rudy až po likvidaci elektrárny na konci její životnosti. Kromě použitého paliva, které jako vysokoaktivní odpad představuje cca 95 % veškeré radioaktivity v jaderné elektrárně, vznikají při provozu jaderné elektrárny převážně nízkoaktivní, příp. středněaktivní odpady. Vysokoaktivní odpady se dočasně skladují s event. možností budoucího přepracování na znovu použitelné palivo, nízkoaktivní, příp. středněaktivní odpady se ukládají do úložiště. V průběhu provozu obě naše jaderné elektrárny vyprodukují asi 3000 tun jaderného odpadu.

Ukládání vysokoaktivního jaderného odpadu v Hanfordu

Podíl průměrného ozáření člověka z různých zdrojů

VZNIK RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ – STRAŠÁK MODERNÍ DOBY

Vyslovení pojmů jako „radioaktivní odpady“, „ionizující záření“ či jim podobných v mnoha lidech vyvolává nepřiměřenou emoci, v řadě případů i strach. Zbytečně. Ionizující záření nás totiž provází takřka na každém kroku a v řadě případů vrací lidem zdraví či zachraňuje život. Průměrné ozáření obyvatel v ČR z přírodních zdrojů je 3–3,5 mSv (nejvíce z radonu v podloží, budovách a v podzemních vodách, na které připadá zhruba polovina dávky). Průměrné ozáření z umělých zdrojů, tj. z těch, které vytváří člověk svojí činností, se na celkovém ozáření podílí asi jednou šestinou. Z nich nejvíce přispívají lékařská ošetření (včetně roentgenového vyšetření) a radioaktivní spad (zkoušky jaderných zbraní). Výpusti z jaderných zařízení představují pouhou 0,001 mSv. Z uvedených čísel, monitorovaných Státním úřadem radiační ochrany ČR, je zřejmé, že jaderná energetika pro obyvatelstvo nepředstavuje významné nebezpečí. To však v žádném případě neznamená, že by pro nakládání s radioaktivními odpady neplatila přísná bezpečnostní pravidla a opatření.

VYSOKOAKTIVNÍ ODPADY

Jaderné palivo používané v našich jaderných elektrárnách je oxid uraničitý UO_2 s uranem mírně obohaceným o štěpitelný izotop 235 (obohacení na 2–4 % celkového množství uranu; v přírodním uranu je jen asi 0,7 % izotopu 235). Použité jaderné palivo lze po přepracování znovu použít, není proto považováno za typický jaderný odpad. I po eventuálním přepracování použitého jaderného paliva nicméně zbývá vysokoaktivní odpad, který je nutné bezpečně uložit. Pro trvalé uložení použitého paliva jsou určena budoucí hlubinná úložiště.

použité jaderné palivo lze po přepracování znovu použít

Historie, současnost a budoucnost ukládání v ČR

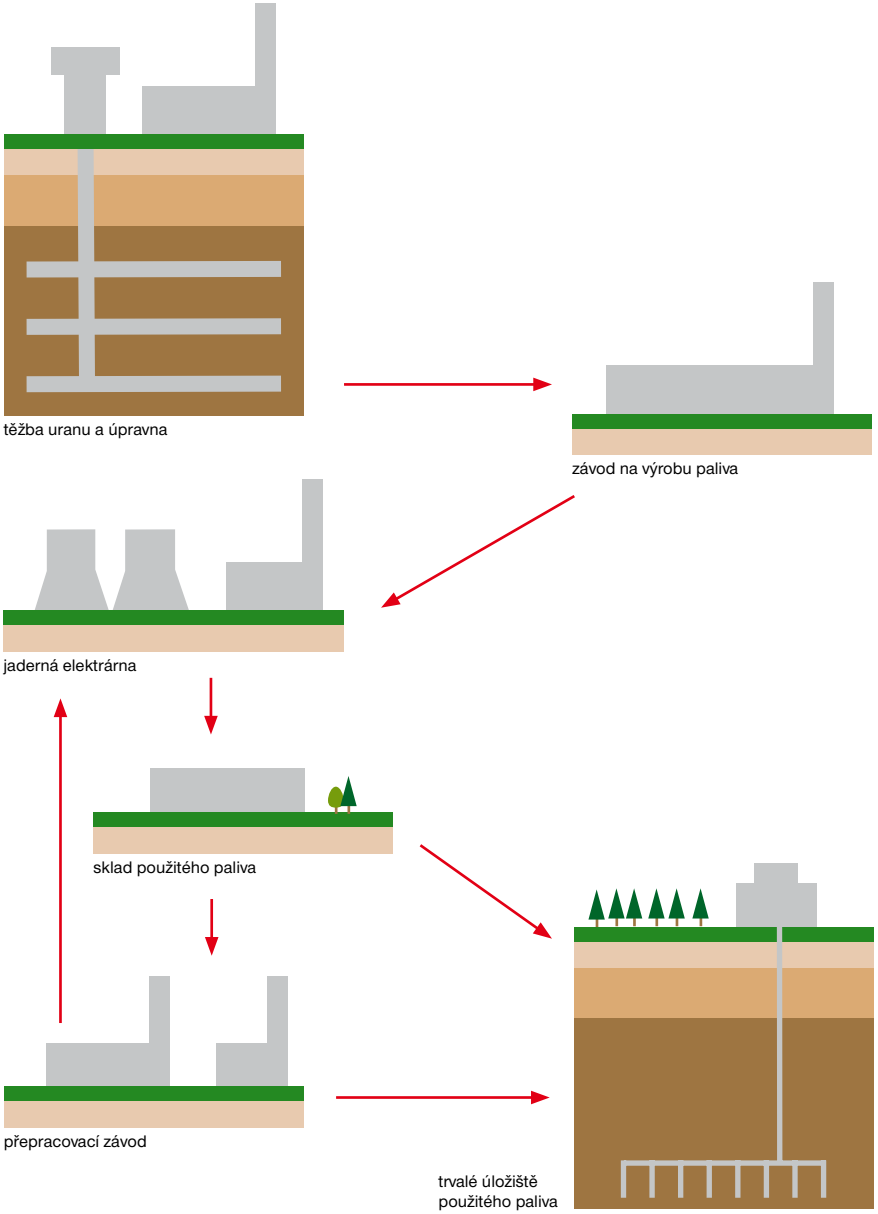
Jaderný odpad z Jaderné elektrárny Dukovany byl původně převážen do skladu v areálu Jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice na Slovensku, odkud měl být postupně odebírán na základě mezistátní smlouvy se Sovětským svazem a odvezen na území tehdejšího SSSR. Ruská federace jako nástupnický stát po rozpadu Sovětského svazu od těchto závazků ustoupila. Po rozdělení Československa byl jaderný odpad ze zahraničí postupně převezen do vlastního skladu v areálu Jaderné elektrárny Dukovany.

V současné době je kromě dvou skladů použitého jaderného paliva v Jaderné elektrárně Dukovany v plánu zřízení obdobného skladu i v areálu Jaderné elektrárny Temelín. Pokud by ani tyto skladovací prostory v budoucnu potřebě české jaderné energetiky nestačily, je připraven jako záložní varianta projekt třetího meziskladu jaderného odpadu umístěného mimo areály jaderných elektráren v lokalitě Skalka.
Ve fázi záměru je i výstavba hlubinného úložiště vysokoaktivních odpadů na území ČR. Všechny činnosti spojené s přípravou tohoto úložiště, s jeho výstavbou, uváděním do provozu, provozem a jeho budoucím uzavřením jsou plně v kompetenci Správy úložišť radioaktivního odpadu ČR.

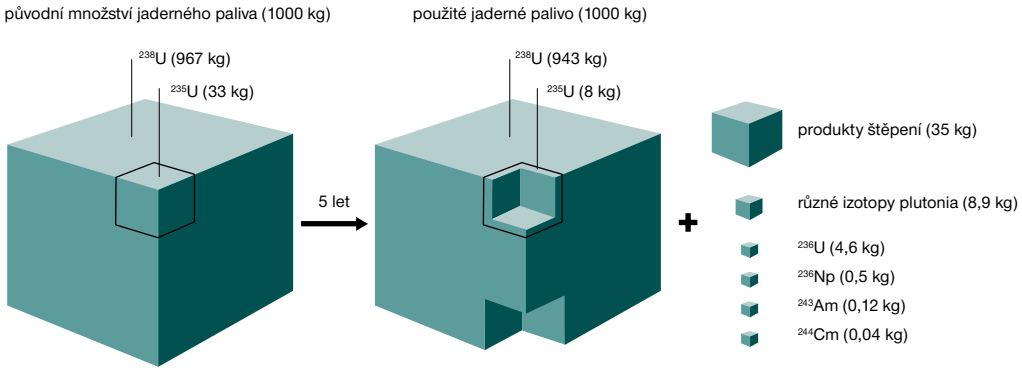
Putování použitého jaderného paliva

Kazety s použitým jaderným palivem vypadají na první pohled stejně jako kazety s palivem čerstvým – jsou nepoškozené a čisté. Palivové články pro tlakovodní reaktory jsou pokryty obalem ze slitiny zirkonia, která je mnohem odolnější než například nerezavějící ocel. V reaktoru palivové články musely vydržet teploty okolo 300 °C a tlak přes 12 MPa; snadno tedy odolají i mnohem mírnějším podmínkám při skladování a další manipulaci. Oproti palivovým článkům s čerstvým palivem se však výrazně liší v radioaktivitě látek, které obsahují.

Na konci každého palivového cyklu, tj. období určeného pro výměnu použitého paliva, se palivové články z aktivní zóny vyjmou a převezou se pod vodou do bazénu použitého paliva; ten je umístěn vedle reaktoru. Zde zůstávají 5 až 10 let. Za tu dobu klesne jejich radioaktivita a teplota asi na polovinu a je možné s nimi dále manipulovat – předat je k dočasnému uložení ve skladech vysokoaktivních odpadů, k recyklaci nebo k trvalému uložení. Voda v bazénu slouží kromě chlazení i jako stínění chránící personál.
Tzv. projektová palivová vsázka v Jaderné elektrárně Dukovany původně předpokládala využití jaderného paliva v tříletém cyklu. Každý rok zde byla vyměněna přibližně jedna třetina palivových kazet. Moderní konstrukce paliva s lepšími parametry umožnila v roce 1997 přechod na čtyřletý cyklus, v současné době dochází k přechodu na pětiletý cyklus; to s sebou přináší nejen úsporu prostor na uskladnění paliva, ale i finanční efekt v řádech miliard korun ročně.
Sklady použitého paliva jsou obvykle umístěny v lokalitě jaderné elektrárny a palivo je v nich pod přísným dohledem skladováno a monitorováno ve speciálních kontejnerech po dobu cca 50 let. Ve skladech tepelný výkon i radioaktivita použitého paliva postupně klesají – po desetiletém skladování se vývin tepla sníží desetinásobně, radioaktivita pětinásobně. Prodloužení doby skladování poskytuje čas



Jak se změní jaderné palivo po „vyhoření“ v reaktoru



pro další technické a ekonomické zdokonalení přepracovacích a jiných metod recyklace. Poskytuje i dostatek času k vývoji nových metod likvidace jaderných odpadů.

Mokrý způsob skladování

Mokrý způsob skladování je dnes v jaderných elektrárnách ve světě nejrozšířenější. Použité palivo se skladuje ve vodních bazénech buď přímo u reaktoru, nebo mimo něj. Voda zajišťuje spolehlivý odvod tepla i ochranu obsluhy elektrárny před zářením. Snadná je i vizuální kontrola vyhořelého paliva. Nevýhodou je potřeba stálého chlazení a čištění vody, přičemž vznikají kapalné radioaktivní odpady. Provozní náklady jsou vyšší než u suché metody skladování. Skladování použitých článků po dobu mnoha let provozu jaderné elektrárny není technickým problémem, tato technologie se používá po desetiletí. V posledních letech došlo téměř ve všech jaderných elektrárnách ve světě k rozšíření skladovacích kapacit tím, že se palivové články začaly ukládat do skladovacích bazénů hustěji.

Suché skladování

V řadě jaderných elektráren, včetně jaderných elektráren na území ČR, se používá suché skladování ve stíněných kontejnerech. Tomuto způsobu skladování se dává přednost při delších intervalech skladování. Použité palivo je ukládáno buď do betonových staveb (sklípků), nebo do betonových či kovových kontejnerů. Suché skladování má nižší provozní náklady, žádné nebo malé množství korozních produktů a umožňuje snadnou manipulaci a rozšíření skladu. Do suchých skladů se použité palivo dává po několika letech „odpočinku“ a chlazení v bazénu použitého paliva.

V kontejnerech se přepravuje, skladuje i trvale ukládá

K transportu i skladování použitého paliva se v českých jaderných elektrárnách používají speciální dvouúčelové kontejnery. Tyto kontejnery, nazývané také obalové soubory, umožňují, aby v případě potřeby transportu paliva nebylo třeba použité palivo ze skladovacích kontejnerů překládat do kontejnerů transportních, ale aby bylo možné převést ho bez zbytečných časově i technologicky náročných manipulací.

Skladování použitého paliva v kontejnerech umožňuje nejen uložit radioaktivní materiál nevratně v trvalém úložišti, ale také ho eventuálně dále využít pomocí nově vyvinutých technologií. Kontejnery jsou vyrobeny z tlustostěnné uhlíkaté nebo nerezavějící oceli, z mědi nebo z jejich kombinace. Existují i projekty kontejnerů z titanu. Podle projektových výpočtů budou kontejnery hermetické po statisíce let. Vyhovět musejí i těm nejtěžším mechanickým, tepelným a vodotěsným testům, jako je např. náraz plně rozjeté lokomotivy nebo pád dopravního letadla.

Přeprava čerstvého či použitého paliva není z hlediska množství ničím mimořádná, vzhledem k charakteru přepravovaného materiálu však probíhá podle přesně stanovených, respektovaných a kontrolovaných pravidel. Zásady přepravy jaderného paliva v ČR vymezují právní předpisy, které vycházejí z doporučení Mezinárodní agentury pro atomovou energii, Mezinárodní komise pro radiační ochranu a z řady mezinárodních dohod, u nás i z atomového zákona. Svá mezinárodní pravidla má přitom každý způsob přepravy (letecký, lodní, silniční, železniční).

použité palivo obsahuje asi 95 % nespotřebovaného uranu

Ročně se na celém světě přepravuje na 10 milionů různých zásilek s radioaktivním obsahem, z toho 10 % přes hranice států. Mezi všemi přepravami nejrůznějšího nebezpečného materiálu činí těchto 10 milionů zásilek pouhá 3 %, přeprava radioaktivních materiálů spojených s jadernou energetikou pouhou čtvrtinu procenta a přeprava vysokoaktivního použitého paliva pouze tři tisíciny procenta.

Použité palivo z jaderných elektráren se chladí ve vodních bazénech před jeho chemickým přepracováním (La Hague, Francie)

Z jaderného odpadu cenná surovina

Použité jaderné palivo lze po přepracování energeticky využít opakovaně. Princip přepracování využívá faktu, že i když použité jaderné palivo z jaderných reaktorů představuje méně než 1 % objemu všech radioaktivních odpadů na světě, z hlediska aktivity reprezentuje přes 90 % veškeré radioaktivity. Obsahuje nejen různé cenné prvky, které vznikly při štěpení a radioaktivních přeměnách z původního paliva, ale stále i mnoho energie. Například palivo vyjmuté z lehkovodních reaktorů pracujících v Dukovanech a Temelíně obsahuje stále ještě asi 95 % nespotřebovaného uranu, z toho 1 % štěpitelného ^{235}U a 1 % štěpitelného izotopu plutonia ^{239}Pu. Hlavní podíl radioaktivity nesou produkty cesium ^{137}Cs a stroncium ^{90}Sr, oba s poločasem rozpadu okolo 30 let. Místo těžby přírodního uranu tak výrobci energie jednoduše sáhnou do skladů, kde použité palivové články budou čekat na praktické využití nových vědeckých poznatků.

K výhodám přepracování použitého jaderného paliva patří redukce původního množství paliva na méně než dvacetinu původního objemu a možnost získání různých radioizotopů pro lékařské, průmyslové či jiné potřeby (např. platiny, ruthenia, rhodia, paladia, stříbra, prvky vzácných zemin apod.). K nevýhodám dnes

místo skladování použitého paliva	bazény použitého paliva	sklady pro dočasné skladování použitého paliva	konečné hlubinné úložiště
doba skladování	5–13 let	asi 60 let	trvale
současná situace v ČR	Jsou umístěny vedle reaktoru jaderné elektrárny. V Temelíně má každý ze 2 bazénů (na každém bloku jeden) kapacitu na 12 let provozu reaktoru.	Jsou postaveny v areálech jaderných elektráren. V Dukovanech funguje od roku 1995. V roce 2006 byl postaven druhý. V Temelíně se sklad s kapacitou 1370 tun připravuje a zahájit provoz by měl od roku 2014.	V současné době probíhá vyhledávání lokality. Sklad by měl být připraven v roce 2065.
financuje	Provozovatel jaderné elektrárny, akciová společnost ČEZ, ze svého rozpočtu.	Provozovatel jaderné elektrárny, akciová společnost ČEZ, ze svého rozpočtu.	Z jaderného účtu, který spravuje stát (Ministerstvo financí ČR). Peníze na účet vkládají producenti odpadů. ČEZ, a. s., podle výroby z jaderných elektráren Temelín a Dukovany cca 50 Kč na 1 vyrobenou MWh, tj. cca 1,6 miliardy Kč ročně.
za skladování zodpovídá	Akciová společnost ČEZ jako provozovatel jaderné elektrárny.	Akciová společnost ČEZ jako provozovatel jaderné elektrárn.	Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO) – organizace zřízená a řízená státem.
dozor	Státní úřad pro jadernou bezpečnost.	Státní úřad pro jadernou bezpečnost.	Státní úřad pro jadernou bezpečnost.

známých přepracovacích technologií patří fakt, že zákazník, který si nechá ve specializovaných závodech použité palivo přepracovat, dostane sice zpět materiál na nové palivo, ale musí převzít i vysokoaktivní, středněaktivní a nízkoaktivní zbytky po přepracování. A o ty se musí bezpečně postarat. Vysoce radioaktivní štěpné produkty přitom tvoří jen malou část odpadního materiálu, z každé tuny jen asi 35–45 kilogramů.
Přepracovací závody jsou dnes v provozu např. ve Francii, Velká Británii, Rusku, Číně a Japonsku. Kapacita těchto závodů představuje možnost zpracovat asi jen 25 % vyhořelého paliva ze dnes provozovaných jaderných elektráren. Je to škoda – Francouzi vypočítali, že recyklace 10 až 11 tun plutonia z vyhořelých palivových článků za rok se rovná 11 milionům tun ropného ekvivalentu.
Mezi země, které nechávají vlastní použité jaderné palivo přepracovávat v zahraničí a kromě štěpných materiálů odebírají zpět také příslušné radioaktivní odpady, patří Belgie, Německo, Japonsko, Švýcarsko a Nizozemí. Přepracování si dnes mohou dovolit jen ekonomicky velmi silné země. Takto získané palivo je vždy dražší, než přírodní uran. Vzhledem k ekonomické náročnosti není technologie přepracování použitého paliva zatím příliš rozšířena – celkově se přepracovává zhruba 10 % celosvětové produkce použitého jaderného paliva.

Princip přepracování použitého paliva

Princip přepracování použitého paliva je znám od 40. let minulého století. Palivové kazety se rozdělí na kratší kusy – vše pomocí dálkově řízených manipulátorů a robotů. Kusy palivových kazet se rozpustí v kyselině dusičné a z roztoku se chemicky oddělují jednotlivé složky. Uran a plutonium se uskladní nebo použijí pro výrobu nového paliva. Zbytky kovového pokrytí palivových článků se zpracují jako středněaktivní odpad. Štěpné produkty se oddělují a vitrifikují (zataví do skla). Z jedné tuny vyhořelého paliva tak vznikne pouze 115 litrů vysokoaktivního jaderného odpadu převedeného do formy skla.

Perspektivy transmutačních technologií

V současné době se jako perspektivní jeví opakované využití použitého jaderného paliva pomocí transmutační technologie ADTT (Accelerator-Driven Transmutation Technologies, tj. urychlovačem řízené transmutační technologie). Jde o vývoj technologií směřujících k dalšímu využití velkého potenciálu jaderného paliva, který současné typy reaktorů nedokáží z paliva uvolnit. Současně tato technologie umožní jadernou přeměnu dlouhožijících radionuklidů tak, aby se podstatně zkrátila doba, po kterou jsou odpady svou radioaktivitou nebezpečné pro životní prostředí.
Princip ADTT byl navržen již v 50. letech minulého století. Spočívá v tom, že se radio-

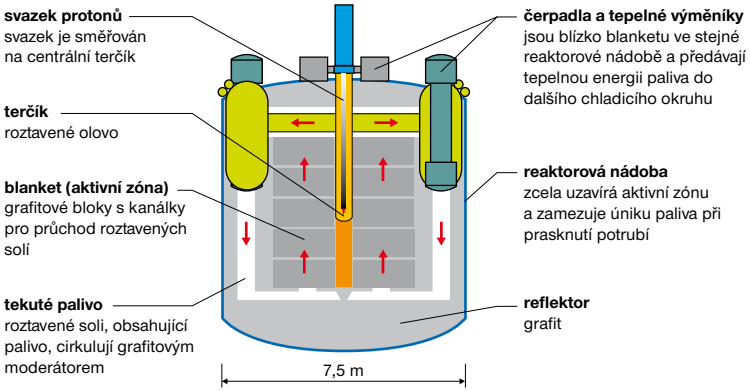
Sklad použitého jaderného paliva Dukovany; kontejnery se přepravují na speciálních vagónech

aktivní odpad roztaví nebo rozpustí v těžké vodě a ostřeluje neutrony. Ty vznikají v olověném terčíku, na který dopadá svazek protonů urychlených mohutným lineárním urychlovačem. Neutrony pak doslova „rozstřílejí“ radioaktivní izotopy buď na radioizotopy s krátkým poločasem rozpadu, nebo dokonce na neaktivní izotopy. Zbytky odpadů z reaktoru využívajícího technologii ADTT pak stačí uložit na 10 až 50 let, během kterých se stanou neškodnými. Výhodou je i fakt, že reaktor obsahuje pouze podkritické množství štěpitelného paliva a nemůže tedy nastat řetězová štěpná reakce. Výkon reaktoru bude možné regulovat pomocí výkonu urychlovače.

Provoz urychlovače by spotřeboval asi 20 % vzniklé energie, zbytek by mohl být dále využíván. Pokud by se tedy urychlovač instaloval do areálu jaderné elektrárny, mohl by i po skončení její plánované životnosti likvidovat použité jaderné palivo a dál na elektrárenském zařízení vyrábět elektřinu.

Technologie ADTT umožňuje kromě použitého jaderného paliva využít i thorium. Ze 12 gramů thoria lze uvolnit tolik energie jako spálením 30 tun uhlí. Bude-li tento reaktor schopen přeměnit 99 % svých zplodin, bude k dispozici téměř neomezený a bezodpadový zdroj energie. Do výzkumu transmutačních technologií je zapojena i Česká republika.

Reaktor pro transmutaci radioaktivních odpadů



Průmyslovému využití ADTT v současné době brání nízká účinnost dodávky neutronů prostřednictvím urychlovače protonů a vysoká cena výstavby podobného zařízení.

Trvalá likvidace – definitivní uložení

Zbytek vysokoaktivních odpadů, které nemají v dané chvíli další využití, je třeba trvale bezpečně uložit. Použité jaderné palivo a vysokoaktivní odpady mají společného jmenovatele – velmi dlouhou dobu, po kterou si uchovávají své nebezpečné vlastnosti. Proto je ukládání tohoto druhu jaderného odpadu situováno do tzv. hlubinných úložišť. Hlubinné úložiště jaderného odpadu je uměle vyhloubený nebo pečlivě upravený podzemní prostor situovaný do hlubokých stabilních geologických vrstev. Přednost před úpravou starších důlních děl se dává zbudování úložiště nového, a to v neporušeném geologickém prostředí, v oblasti, kde nehrozí vulkanická činnost, zemětřesení nebo zaplavení. Příkladem je lokalita Carlsbad v Novém Mexiku v USA, kde byl počátkem roku 1999 zahájen provoz v úložišti WIPP (Waste Isolation Pilot Plant – pilotní provoz pro izolaci odpadů). Po dobu desítek tisíc let v něm budou uloženy odpady z amerických vojenských jaderných programů včetně plutonia. Další hlubinné úložiště buduje USA v Nevadě v lokalitě Yucca Mountain.

Hlubinné úložiště v ČR

Práce na projektu hlubinného ukládání použitého paliva pokračují i v ČR. Příprava hlubinného úložiště byla zahájena již v roce 1990. V případě potřeby by se v něm použité palivo mohlo v kontejnerech ukládat v hloubkách několika set metrů do prostoru vybudovaného v neporušené skalní formaci, která je geologicky, seismicky a hydrogeologicky stabilní. Obdobné žulové formace zkoumají vědci v podzemních laboratořích ve Švýcarsku a v Kanadě. Úložné kontejnery, jejich obložení bentonitem a řešení hlubinného úložiště odpovídá řešením přijímaným ve většině zemí.
Na základě hodnocení geologických informací podle bezpečnostních a legislativních kritérií bylo počátkem roku 2003 doporučeno 6 lokalit pro dlouhodobé uložení vysokoaktivních odpadů. Dlouhodobým uložením se míní časový úsek srovnatelný s geologickými časovými obdobími v měřítku delším než 10 tisíc let, spíše však 40 až 100 tisíc let. Všechny práce směřují k tomu, aby byl znemožněn jakýkoli kontakt budoucích pokolení s uloženým materiálem. Vybudování hlubinného úložiště proto předchází finančně i časově náročná vývojová činnost a průzkumné práce. Letecká geofyzikální měření proběhla v ČR na podzim 2003. Zahájení provozu hlubinného úložiště v podmínkách ČR se předpokládá okolo roku 2065. Do této doby bude použité jaderné palivo bezpečně skladováno v kontejnerech v suchých nadzemních skladech.
Podrobnější informace ke koncepci skladování použitého paliva a hledání vhodných lokalit pro zřízení trvalého úložiště jsou k dispozici na internetové stránce Správy úložišť radioaktivních odpadů: www.surao.cz.

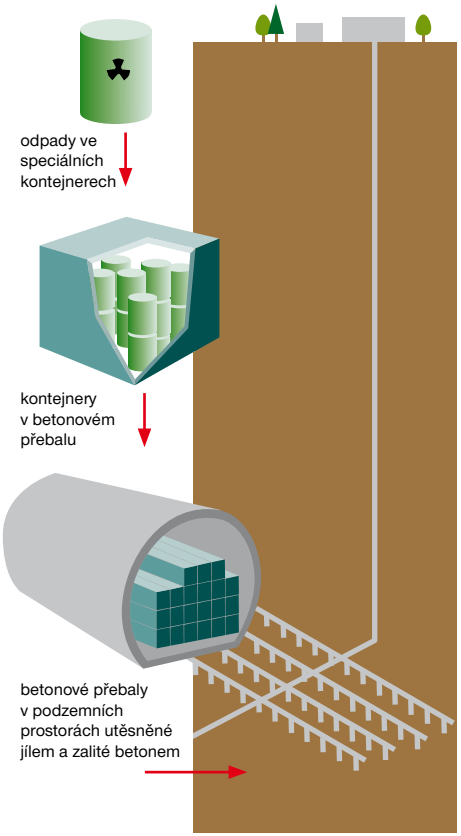
Vitrifikace

Ve světě se vysokoaktivní odpady upravují takzvanou vitrifikací, tj. převedením na stabilní materiál – sklo. Vitrifikace představuje pevné zabudování škodlivin do struktury skla metodou zpracování za vysokých teplot. K vysušenému rozemletému odpadu se přidají sklotvorné přísady a běžnou sklářskou technikou se při asi 1200 °C vytaví křemičitanové nebo boro-křemičitanové sklo. Zkoušejí se i fosfátosilikáty. Zesklovatělé odpady mají vysokou odolnost vůči vyluhování vodou, dobrou tepelnou vodivost a mechanickou pevnost. Pro lepší tepelnou vodivost se zkouší kapky skla obalovat kovem – olovem nebo hliníkem.
Prvními průmyslovými závody na vitrifikaci odpadů byly závody v Marcoule ve Francii (1978), v Čeljabinsku v tehdejším Sovětském svazu (1987), v Cap de La Hague ve Francii (1989) a ve Windscale ve Velké Británii (1990). Metoda vitrifikace je vhodná kromě fixace ra-

dioaktivních odpadů i pro zpracování dalších odpadů, jako jsou např. toxické odpady obsahující sloučeniny např. Pb, Cd, Zn, Cu, As, Sb, P, F, Se, chemikálie z anorganických výrob, popílky z odlučovačů, popely ze spaloven nebo kaly z brusíren skla.

JAK S NÍZKOAKTIVNÍM A STŘEDNĚAKTIVNÍM ODPADEM

Většina pevných jaderných odpadů patří mezi nízkoaktivní, popř. středněaktivní odpady. Jsou to například vzduchotechnické filtry, kontaminované nářadí, drobný odpad ze sběrných míst nebo odpad vzniklý při opravách a údržbě.
K nakládání s nízkoaktivním a středněaktivním jaderným odpadem se v ČR využívá technologie nízkotlakého lisování a bitumenace. Technologie bitumenace, použitá na úpravu kapalných radioaktivních odpadů v obou jaderných elektrárnách, zaručuje dlouhodobou stabilní ochranu proti účinkům radiace, vyznačuje se nízkou louži-telností a cca 2,5násobnou redukcí objemu.
Část pevných odpadů vznikajících v reaktoru (termočlánky, neutronová čidla) nebo v jeho bezprostřední blízkosti vykazuje aktivitu, která znemožňuje jejich bezprostřední uložení. Tyto odpady se skladují v pouzdrech ve stíněných kobkách přímo na elektrárně. Časem jejich aktivita poklesne na úroveň, která je přijatelná pro konečné uložení.
Pevné radioaktivní odpady pocházející z kontrolovaného pásma jaderných elektráren jsou tříděny podle svých charakteristických vlastností (tento způsob nakládání umožňuje průkaznější charakterizaci radionuklidů, kterými jsou odpady kontaminovány). Odpady jsou skladovány a před konečnou úpravou se lisují do sudů o objemu 200 litrů. Konečná úprava probíhá kampaňovitě, sudy s předlisovaným odpadem jsou slisovány vysokotlakým lisem. Výlisky jsou umístěny do větších sudů (tzv. overpak o objemu 300 až 400 litrů) a takto ukládány. Výsledná redukce objemu je šestinásobná.
Úniku radionuklidů do biosféry zabraňuje soustava bariér s dlouhodobou životností. Jsou jimi vhodná forma odpadu, stěna sudu, betonová výplň mezi jednotlivými sudy v jímce a vlastní jímka, která je po zaplnění uzavřena a chráněna před pronikáním vlhkosti. Úložiště se budují v seismicky klidné oblasti a na vhodném geologickém podloží omezujícím pohyb vody (mj. vrstva jílových sedimentů).
Z dlouhodobých výsledků monitorování vlivu úložiště (v ČR je takové úložiště umístěno v Jaderné elektrárně Dukovany) na okolí vyplývá, že jeho provoz v žádném případě nemá jak na pracovníky, tak na okolí negativní vliv.



Vytříděná neaktivní část odpadů je zneškodněna konvenčními způsoby, které jsou používány v nakládání s neaktivními odpady.

Další formy radioaktivních odpadů

Technologické a odpadní vody z kontrolovaného pásma jsou jímány a čištěny odstřeďováním v dekantéru a odstředivce, odpařováním v odparce a filtrací v iontovýměnných filtrech. Zahuštěný koncentrát z odpařování, odstředěné kaly a vysycené náplně ionexových filtrů jsou fixovány do bitumenové matrice v 200litrových sudech. Odstředěná voda se vrací do odparky. Odpařená voda se ještě dočišťuje na ionexových filtrech. Část vody je vracena zpět do technologického procesu a zbytek je po radiometrické a radiochemické kontrole vypouštěn vně jaderné elektrárny. Plynné odpady vzniklé v primárním okruhu jsou odváděny přes čisticí filtry do ventilačního komína. Menší část plynných odpadů také vzniká uvolněním z kapalných odpadů. Plyny jsou odváděny do systému speciální vzduchotechniky, kde jsou filtrovány a zadržovány v absorpčních kolonách (filtry jsou pak zneškodňovány jako pevný radioaktivní odpad). Veškeré plynné výpusti jsou trvale komplexně monitorovány.

úniku radionuklidů zabraňuje soustava bariér s dlouhodobou životností

Sledování radiační situace

Měření radiační situace v jaderných elektrárnách a v jejich okolí není ničím mimořádným. Výjimkou nejsou ani české jaderné elektrárny.
Jako příklad může soužit Jaderná elektrárna Temelín, která má při provozu obou reaktorů ve své řídicí dokumentaci schvalované Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (v tzv. Limitech a podmínkách) stanoveny pro dávky na jedince z obyvatelstva tzv. autorizované limity:

- pro plynné výpusti 40 μSv/rok
- pro kapalné výpusti 3 μSv/rok

Tyto limity zaručují pro obyvatelstvo v okolí elektrárny mnohem nižší úroveň efektivní dávky v důsledku výpustí než připouští legislativa ČR. Skutečné hodnoty efektivních dávek v důsledku plynných výpustí jsou přitom podstatně nižší a zdaleka nedosahují ani hodnot „hodných pozornosti“, které jsou podle doporučení Mezinárodní komise pro atomovou energii a Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu na úrovni 10 μSv za rok. To znamená, že pod touto hodnotou se již další opatření s cílem snížení efektivních dávek neprovádějí. Hodnota 40 μSv přitom představuje pouze cca 1/60 efektivní dávky, kterou je ozářen každý jedinec z obyvatelstva za 1 rok působením přírodní radioaktivity.
Míru radioaktivity v životním prostředí vyjadřuje veličina dávkový příkon, která se měří v jednotkách Gray za hodinu (Gy/h). Jednotka 1 Gy/h je však příliš velká, proto se v praxi používají její odvozené hodnoty nanoGray za hodinu (nGy/h) a mikroGray za hodinu (μGy/h). Průměrné hodnoty dávkových příkonů na území České republiky se pohybují okolo 100 nGy/h, lze však nalézt oblasti s hodnotami několikanásobně vyššími (ale i nižšími).
Dávkový příkon se v areálu Jaderné elektrárny Temelín měří nepřetržitě pomocí 24 čidel teledozimetrického systému (TDS), která jsou schopna zaznamenat hodnoty v rozmezí od 10 nGy/h až do 10 Gy/h. Čidla TDS jsou v areálu elektrárny rozmístěna takovým způsobem, aby byla zajištěna detekce sebemenšího úniku radioaktivity z elektrárny; znamená to, že jim neunikne žádná změna hodnot dávkového příkonu v kterémkoliv směru a systém je schopen identifikovat nejen potenciální velikost, ale i směr případného úniku radioaktivity z jaderné elektrárny.
Od září roku 2002 je v provozu systém staniček radiační kontroly okolí (SRKO), jehož sondy automaticky měří dávkový příkon v prostředí ve vybraných lokalitách v okolí elektrárny. Od roku 1991 zabezpečuje Jaderná elektrárna Temelín v tzv. zóně bezpečnostního

plánování měření dávkových příkonů dvěma dalšími nezávislými způsoby. Měření se provádějí 35 termoluminiscenčními dozimetry (TLD) a zařízením RSS 131 pro terénní měření příkonu ekvivalentní dávky.
Přísná opatření platí i pro sledování nezávadnosti odpadních vod z Jaderné elektrárny Temelín. Vypouštění odpadních vod se zde řídí dokumentem Rozhodnutí o povolení k nakládání s vodami, který na základě platné legislativy České republiky vydal referát životního prostředí Okresního úřadu České Budějovice. Některé základní vlastnosti a parametry odpadních vod jsou sledovány kontinuálně, u ostatních kvalitativních parametrů odpadních vod je jednou za 14 dnů sledována jejich koncentrace v miligramech na litr, jejich okamžité množství v gramech za sekundu a celkově vypuštěné množství za rok v tunách. Pro stanovení koncentrací znečišťujících látek je odebírán 24 hodinový směsný proporcionálně slévaný vzorek s intervalem odběru maximálně 1 hodina. To znamená, že speciálním automatickým odběrovým zařízením je po 24 hodin každou hodinu odebírána část vzorku, která je pak podrobena analýze v certifikované laboratoři elektrárny.

KONCEPCE NAKLÁDÁNÍ S RADIOAKTIVNÍMI ODPADY V ČR

Nakládání s radioaktivními odpady upravuje v ČR tzv. atomový zákon (zákon č. 18/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů). Každý radioaktivní odpad v ČR podléhá regulaci a dozoru Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Za bezpečné ukládání všech radioaktivních odpadů – od okamžiku jejich vzniku až do období jejich uložení – je na základě atomového zákona zodpovědná státní organizace Správa úložišť radioaktivních odpadů. Zřízením Správy úložišť radioaktivních odpadů stát zaručuje bezpečné ukládání všech radioaktivních odpadů. Za krytí veškerých finančních nákladů spojených s nakládáním s radioaktivními odpady a za předání odpadů k uložení ve formě, která odpovídá schváleným předpisům, odpovídá původce odpadů.

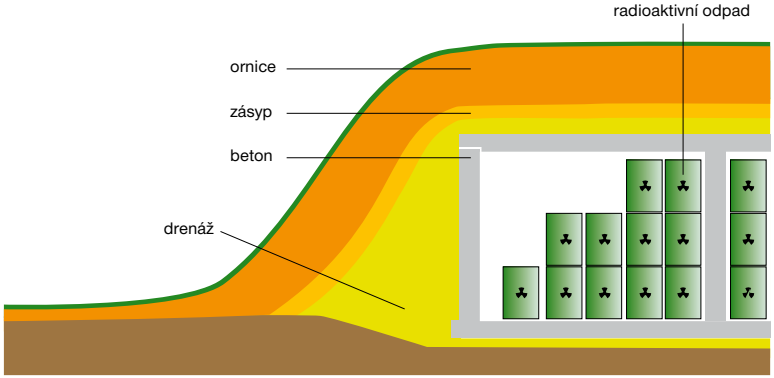
Podle Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v ČR, schválené vládou 15. 5. 2002, jsou nízkoaktivní a středněaktivní odpady kromě skladu v Jaderné elektrárně Dukovany ukládány i do přípovrchových úložišť Richard u Litoměřic a Bratrství u Jáchymova. Pro vysokoaktivní odpady a použité jaderné palivo bude připravováno hlubinné úložiště.

Záložním řešením je centrální sklad, který je v lokalitě Skalka.

Koncepce předpokládá, že bude dále sledován a podporován rozvoj nových technologií, které by v budoucnosti mohly umožnit další využití použitého jaderného paliva jako cenné energetické suroviny.

Finanční zajištění nakládání s radioaktivními odpady vychází ze zásady „původce platí“. V souladu s tímto principem a s požadavky atomového zákona platí jaderná elektrárna, resp. její provozovatel, veškeré náklady spojené s radioaktivními odpady, a to včetně monitorování úložišť radioaktivních odpadů po jejich uzavření.

Řez povrchovým úložištěm



Jaderný účet

Pro zajištění ukládání všech vzniklých i budoucích radioaktivních odpadů – použité palivo není výjimkou – provozovatel pravidelně odvádí finanční prostředky na tzv. jaderný účet, který je zřízen u České národní banky a je spravován Ministerstvem financí ČR. Do něho vkládá provozovatel z každé MWh elektřiny vyrobené v jaderné elektrárně 50 Kč.
Pro představu o jaký objem finančních prostředků se jedná, použijeme jednoduchý výpočet na příkladu Jaderné elektrárny Temelín: Dva bloky Temelína vyrobí za rok cca 13 milionů MWh elektřiny; za tuto vyrobenou elektřinu odvede společnost ČEZ na jaderný účet 650 milionů korun; za 30 let provozu elektrárny to již bude 19,5 miliardy korun. Podobná částka proudí na jaderný účet i z druhé české jaderné elektrárny, z Jaderné elektrárny Dukovany.

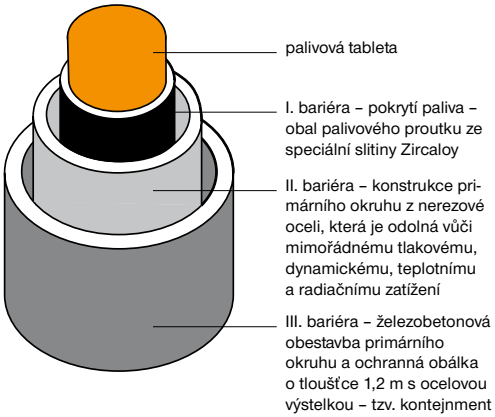
Bezpečnost ukládání radioaktivních odpadů

Zásadním požadavkem ve vztahu k životnímu prostředí a ochraně zdraví obyvatelstva je bezpečnost úložiště. Je zajištěna vlastním řešením konstrukce a provozováním úložiště podle stanovených režimů a podmínek. Bezpečnost úložiště je prověřována soustavou kontrolních mechanizmů. Rozhodnutím Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o schválení tzv. Limitů a podmínek bezpečného provozu má např. maximální aktivita, kterou lze do úložiště uložit, svá omezení. To má praktický význam pro bezpečnost zejména v daleké budoucnosti, kdy ani náhodné vniknutí do prostor úložiště nezpůsobí vážnější zdravotní újmu.
Každý projekt skladování a ukládání radioaktivních odpadů obsahuje řadu bezpečnostních analýz. Matematickým modelováním úložiště a jeho chování za všech, a to i vysoce nepravděpodobných situací, se zkoumá možnost úniku radionuklidů do okolí. Výstupem je stanovení bezpečnostních podmínek, které musí forma odpadu i samo úložiště splňovat. Dnešní bezpečnost úložiště garantuje průběžné monitorování, stejně jako důsledná kontrola dodržování limitů, podmínek provozu i parametrů odpadů k uložení Správou úložišť radioaktivních odpadů.

Izolace odpadů

Izolace odpadů, jako základ ochrany životního prostředí, je zabezpečena pomocí aplikace multibariérových systémů úložiště radioaktivních odpadů, kde se uplatňují jak přírodní, tak inženýrské (uměle vytvořené) bariéry proti únikům uložených odpadů a šíření kontaminace radionuklidy.
Inženýrské bariéry jsou tvořeny vlastní konstrukcí úložiště, způsobem ukládání odpadů do úložiště a dále např. obalem nebo matricí, do nichž jsou odpady vloženy a ukládány. První bariérou je znehybnění radionuklidů v odolné a nerozpustné chemické formě. Tou může být u vysokoaktivích odpadů borosilikátové sklo nebo keramické materiály, u středněaktivních opadů hlavně cement nebo bitumen (asfaltová živice). Vyzkoušeny jsou i metody tzv. synroc (synthetical rocks), což je zabudování odpadů do umělé, chemicky vytvořené, velmi trvanlivé horniny. Druhou bariérou je obal, do kterého se jaderný odpad umístí. U vysokoaktivních odpadů to je silnostěnný ocelový kontejner nebo měděná nádoba, uvažuje se i o nádobách z titanu. Od okolí by takový kontejner měl svůj obsah izolovat po dobu minimálně tisíc let. U nízkoaktivních a středněaktivních odpadů se používají plechové sudy, popř. betonové kontejnery. Ty by měly zajistit stínění před zářením po dobu 300 až 600 let.
Další bariéru mohou tvořit betonové pakety nebo přebaly, do nichž se ukládají plechové sudy nebo betonové kontejnery. Jako technická bariéra slouží i stavební konstrukce na povrchu, pod úrovní terénu nebo v geologických formacích (speciální betony, nepropustné nátěry, asfaltové nebo jílové izolace a drenážní systémy).
Přírodní bariérou při ukládání radioaktivního odpadu jsou geologické vlastnosti prostředí, ve kterém je úložiště radioaktivního odpadu situováno. Při výběru lokality jsou přitom

Multibariérový přístup



Model kontejneru Castor, systém vík

velmi přísně posuzována zákonem stanovená kritéria pro umístění těchto zařízení. Úložiště jaderného odpadu nemůže být umístěno např. v zátopové nebo krasové oblasti, v oblastech, kde by jeho přítomnost mohla mít znehodnocující vliv na zásoby podzemních či minerálních vod apod. Příznivými charakteristikami pro umístění jsou nepropustnost podloží, dostatečná vzdálenost od vodních toků nebo ploch a dostatečná vzdálenost od míst trvalého osídlení. Většinou se vybírá hornina, která se prokazatelně nezměnila za posledních několik milionů let. Hodnotí se především její pevnost, nerozpustnost a tepelná stabilita. Za vhodné geologické formace se považují solná ložiska, jílové sedimenty, tufy, granity (žuly) a rulové horniny.
Životnost inženýrských bariér se odhaduje na 300 let, životnost hmoty, ve které jsou radionuklidy znehybněny, je až 1 milion let. Stabilita geologických formací, do nichž jsou úložiště umisťována, je nejméně 70 milionů let.

UKLÁDÁNÍ V DUKOVANECH

Úložiště nízkoaktivních a středněaktivních odpadů

Upravené odpady z provozu českých jaderných elektráren jsou od roku 1995 ukládány do úložiště nízkoaktivních a středněaktivních

První sklad použitého paliva v areálu Jaderné elektrárny Dukovany byl uveden do provozu v roce 1995

odpadů v Jaderné elektrárně Dukovany. Jde o největší a nejmodernější úložiště radioaktivního odpadu v ČR, které svou konstrukcí i bezpečností odpovídá standardům platným v západoevropských zemích. V trvalém provozu je od roku 1995. Úložiště je svým využitelným objemem 55 000 m^3 schopno pojmout více než 180 000 sudů s radioaktivními odpady jak z provozu obou českých elektráren, tak odpadů vzniklých při jejich vyřazování. Recyklace odpadů, která má v době provozu jaderné elektrárny pouze omezené možnosti (např. kovový odpad z revizí zařízení, PE folie, regenerace odpadních vod uvnitř kontrolovaného pásma), nabude na významu zejména v období vyřazování zařízení z provozu. Materiály dekontaminované a po kontrole uvolněné do životního prostředí bude možné vrátit k jinému využití (kovový šrot, betony apod.).
Úložiště je tvořeno 112 železobetonovými jímkami uspořádanými do dvou dvouřadů po 56 jímkách. Po jeřábové dráze umístěné na horních hranách jímek pojíždí portálový jeřáb, obsluhovaný z kabiny stíněné proti účinkům radioaktivního záření. Jeřáb umožňuje manipulovat se sudy určenými k uložení i s betonovými panely, jimiž jsou jímky zakrývány. Poté, co sudy převezme Správa úložišť radioaktivního odpadu, jsou sudy vyskládány na pojízdnou rampu, odkud jsou pomocí jeřábu odvezeny nad ukládací jímku a uloženy na určené místo. Původně se počítalo s tím, že v roce 2005 bude úložiště středněaktivního a nízkoaktivního odpadu v Jaderné elektrárně Dukovany rozšířeno. Ukázalo se však, že vzhledem k možným způsobům minimalizace objemu odpadů (tzv. superlisování a bitumenace) a úspornějšímu ukládání sudů do jímek toto rozšíření nebude nutné. Kapacita současného úložiště středně a nízkoaktivního jaderného odpadu by měla být dostatečná na dobu, po kterou se předpokládá provoz obou českých jaderných elektráren.

největší a nejmodernější úložiště radioaktivního odpadu v ČR je v Dukovanech

Sklady použitého jaderného paliva

Prvním krokem k zajištění možnosti skladovat použité jaderné palivo v Jaderné elektrárně Dukovany bylo tzv. „zkompaktnění“ mříže ve skladovacích bazénech přímo u reaktorů, které přineslo zvýšení kapacity pro uložení použitého paliva. Současně byly zahájeny přípravné práce pro výstavbu skladu použitého paliva v areálu Dukovan, který byl uveden do provozu v roce 1995. Kapacita skladu je 600 tun použitého paliva.
Suchý nadzemní sklad použitého paliva připomíná běžný skladovací objekt, který je však budován podle přísných měřítek. Odborné expertízy vypracované před schválením stavby skladu v Dukovanech potvrdily, že sklad neovlivní negativně ani faunu a flóru, ani bezpečnost a zdraví obyvatelstva v jeho okolí, a to ani uvolňovaným teplem, ani radioaktivitou.
V současné době je původní suchý sklad v areálu Jaderné elektrárny Dukovany zcela zaplněn, a proto byl ve stejné lokalitě vystavěn další sklad použitého paliva o kapacitě 1340 t. Celková kapacita obou skladů 1940 tun tak postačí Jaderné elektrárně Dukovany na 40 let provozu.

Jádro do Castorů

Použité palivo je v prvním dukovanském skladu uloženo v 60 dvouúčelových (transportních a skladovacích) kontejnerech typu Castor 440/84 německého dodavatele GNS Nukem. Životnost těchto kontejnerů je minimálně 60 let. Kapacita jednoho kontejneru (10 tun použitého jaderného paliva) odpovídá téměř roční produkci jednoho reaktoru VVER 440.
Kontejner pojme 84 palivových kazet používaných v Jaderné elektrárně Dukovany. Těleso je z tvárné litiny, koš z bórovaného hliníku, neutronové stínění zajišťuje polyethylen. Vnitřní prostor kontejneru je vyplněn heliem o nižším tlaku, než je tlak atmosférický. Těsnost je zajišťována dvojnásobně, tj. dvěma víky. Helium v prostoru mezi víky má oproti atmosféře přetlak 0,6 MPa. Každé víko má jedno těsnění kovové a jedno elastomerové. Třetí víko je krycí a slouží jako

ochrana před vnějšími vlivy. Kontejner má vnější průměr cca 2,6 m a výšku 4,2 m. Hmotnost prázdného kontejneru je 93,7 t. Teplota povrchu kontejneru nepřekročí 85 °C.
Použité palivo se do kontejneru vkládá pod vodou v části bazénu použitého paliva přímo v reaktorovém sále. Následně se voda odstraní, kontejner se vakuově vysuší a naplní heliem. Poté je zkontrolována jeho těsnost a je převezen do skladu použitého paliva. Tam se dokončí příprava kontejneru pro skladování a umístí se na určenou skladovací pozici, kde bude přirozeným prouděním vzduchu ochlazován. Druhý dukovanský sklad použitého paliva má kapacitu 133 kontejnerů typu CASTOR 440/84M.

Bariéry = bezpečnost

Úniku radioaktivních látek v nadzemních skladech, jakými jsou provozované sklady v Jaderné elektrárně Dukovany a plánovaný sklad v Jaderné elektrárně Temelín, brání několik bariér – samotné tablety keramického paliva, trubka palivového proutku a skladovací dvoubariérový kontejner. Poslední bariérou je budova skladu. Ta však plní v podstatě funkci ochrany před povětrnostními vlivy. Kontejnery jsou totiž projektovány tak, aby odolaly pádu z mnohametrové výšky, mechanickému namáhání i při 800 až 1200 °C, pádu letadla nebo ponoření do vody do hloubky 200 m. Ovlivnění okolí skladu ionizujícím zářením je nepatrné

Den otevřených dveří v lokalitě Skalka (záložní varianta skladu použitého jaderného paliva)
Přístupová a průzkumná štola podzemního skladu

a prakticky neměřitelné. Občan, který by po celý rok bydlel ve vzdálenosti 400 m od skladu by obdržel stejnou radiační dávku jako občan, který po celý rok pravidelně sleduje barevnou televizi (20 mikrosievertů). Jen pro představu: každý občan ČR obdrží ročně radiační dávku v hodnotě 3000 mikrosievertů. Z přírodních zdrojů je to asi 2400 mikrosievertů, umělé zdroje se na celkovém ozáření člověka podílejí přibližně jednou šestinou.

UKLÁDÁNÍ V TEMELÍNĚ

Vysokoaktivní odpady a Jaderná elektrárna Temelín

V březnu 1997 česká vláda rozhodla, že nejlepší variantou pro dočasné skladování použitého jaderného paliva v ČR jsou suché sklady v areálech jaderných elektráren. Toto rozhodnutí vytvořilo předpoklad zahájit přípravu výstavby skladu použitého paliva i v Jaderné elektrárně Temelín. Elektrárna bude svůj vlastní sklad potřebovat po roce 2010.

Koncepce skladování

Aktivní zóna reaktoru VVER 1000 JE Temelín obsahuje 163 palivových kazet, z nichž se každé čtyři roky vymění 41–42. Kapacita bazénu použitého paliva je 680 míst pro palivové kazety a 25 míst pro hermetická pouzdra. Použité palivo je tedy možné v bazénu skladovat po dobu deseti let. Poté se převeze v transportním kontejneru do suchého skladu. Tam je bezpečně uloženo až do přepracování nebo ke konečnému uložení.
Základní koncepce nakládání s použitým palivem v Jaderné elektrárně Temelín vychází z projektového řešení předpokládajícího provoz reaktoru ve čtyřleté palivové kampani. To znamená, že každý rok je v reaktoru vyměněna přibližně čtvrtina paliva, které je uskladněno do kompaktní mříže v bazénu použitého paliva uvnitř kontejnmentu u reaktoru.
Při čtyřleté palivové kampani stačí kapacita bazénu na skladování použitého paliva až na dobu 12 let od vyvezení z reaktoru. Elektrárna však předpokládá, že v pozdějších letech provozu přejde na používání pokročilého jaderného paliva, které umožní pětiletou palivovou kampaň a tím snížení počtu použitých palivových souborů ke skladování.

kapacita kontejneru odpovídá téměř roční produkci jednoho reaktoru VVER 440

Temelínský sklad od roku 2013

První temelínský blok vstoupil do zkušebního provozu 10. června 2002 a výměna první čtvrtiny paliva na prvním bloku proběhla v únoru 2003. Použité palivo bude tedy možné skladovat přímo u reaktoru až do konce roku 2013. Poté se Temelín bez suchého skladu neobejde.
I když jde o relativně vzdálenou budoucnost, ČEZ práce na přípravě skladu již zahájil. Základem pro zpracování dokumentace pro posouzení vlivu stavby na životní prostředí (tzv. proces EIA) se stala studie Energoprojektu Praha, a. s., z června 2002. Souběžně byla zpracována projektová a bezpečnostní dokumentace k územnímu řízení tak, aby sklad byl připraven začít koncem roku 2013 plnit svou funkci.

Základní parametry skladu

Pro použité palivo bude využit suchý způsob skladování ve speciálních kontejnerech, který vychází z osvědčeného principu používaného od roku 1995 v Jaderné elektrárně Dukovany. Tento způsob skladování tedy nevylučuje event. přepracování použitého paliva k dalšímu energetickému využití v reaktorech nové generace. Kapacita skladu zajistí uskladnění použitého paliva za 30 let provozu dvou bloků Jaderné elektrárny Temelín. Pro dva temelínské bloky to za 30 let provozu bude 1370 tun uranu. Pokud v průběhu dalších let přejde Jaderná elektrárna Temelín na pětiletou kampaň výměny paliva, sníží se roční počet vyměňovaných palivových souborů z jednoho bloku přibližně na 33 a uva-

žovaná kapacita skladu se zvětší. Technické a stavební řešení však umožňuje i další rozšíření této kapacity.
Pro skladování v Temelíně budou sloužit kontejnery, jejichž vlastnosti musí vyhovovat požadavkům a kritériím spolehlivého a bezpečného skladování použitého paliva stanoveným Státním úřadem pro jadernou bezpečnost. Konkrétní dodavatel kontejneru bude vybrán až ve fázi přípravy realizace.

Vliv skladu na okolí

Záměr umístění skladu použitého paliva uvnitř současného areálu Jaderné elektrárny Temelín je zárukou, že výstavba a s ní spojený hluk a prašnost nebudou mít žádný vliv na okolní obyvatelstvo.
Provoz skladu není spojen se žádnými výstupy, které by představovaly zátěž pro obyvatelstvo.
V průběhu přípravy celého záměru proběhne veřejná diskuze v rámci posuzování vlivu stavby na životní prostředí podle zákona 100/2001 Sb.

ZÁLOŽNÍM ŘEŠENÍM UKLÁDÁNÍ JE CENTRÁLNÍ SKLAD SKALKA

Když v roce 1992 vláda svým usnesením číslo 213 omezila kapacitu skladu v Jaderné elektrárně Dukovany na 600 tun, zadala zároveň úkol hledat vhodnou lokalitu pro umístění skladu mimo lokality jaderných elektráren. Velmi složitý průzkum vhodných lokalit trval více než 3 roky. Nakonec byly vytipovány dvě lokality – Batelov jako povrchová varianta a Skalka jako podzemní varianta. Z více hledisek se ukázala Skalka jako lepší řešení.
V roce 1997 byla zpracována a následně na Ministerstvo životního prostředí ČR předána „Dokumentace o hodnocení vlivů stavby na životní prostředí“, v létě 1999 proběhlo veřejné projednání. V březnu 2001 vydal odbor výstavby Městského úřadu v Bystřici nad Pernštejnem pro „Centrální sklad vyhořelého jaderného paliva – lokalita Skalka“ rozhodnutí o umístění stavby. Získáním tohoto územního rozhodnutí pro výstavbu skladu vyhořelého jaderného paliva v lokalitě Skalka získala akciová společnost ČEZ jako provozovatel českých jaderných elektráren plnohodnotnou záložní variantu pro řešení koncové části palivového cyklu.
Areál skladu Skalka se nachází v těsné blízkosti železniční tratě Tišnov-Žďár nad Sázavou na pravém břehu říčky Nedvědičky poblíž města Bystřice nad Pernštejnem v okrese Žďár nad Sázavou a zasahuje do katastrálních území obcí Věžná, Střítěž a Bor, obec Sejřek. Leží v upravené výškové úrovni 407,0 m n. m. a zaujímá plochu cca 1,5 ha.
Podzemní stavba by měla být vyražena v severní části tektonicky stabilního masivu Pálená. Sklad by byl suchým kontejnerovým podzemním skladem, v jehož horizontálních tunelech by byly skladovány kovové transportně-skladovací kontejnery s použitým jaderným palivem. Projektové řešení skladu předpokládá umístění cca 2900 t použitého paliva. Doprava do skladu by probíhala po železnici speciálním vagónem, použité jaderné palivo by bylo dopravováno v kontejnerech pro tento účel licencovaných SÚJB.
V souladu s projektem byla vyražena 450 m dlouhá přístupová štola, 300 m dlouhá štola průzkumná a proběhly polní a laboratorní zkoušky a testy. Výsledky průzkumů byly podrobně vyhodnoceny, tzv. režimní pozorování ve štole i v jejím okolí pokračují.

RADIOAKTIVNÍ ODPADY A EVROPSKÁ UNIE

Jednou z velmi sledovaných oblastí, která má umožnit hlubší integraci evropských energetických trhů, je v rámci Evropské unie i jaderná energetika, nakládání s jaderným odpadem a bezpečnost jaderných elektráren. Jak se ukazuje, radioaktivní odpady přitom nejsou ani tak problémem technickým nebo bezpečnostním, jako spíše politickým, který zastáncům jádra zatím nepřináší potřebné volební preference.
Evropská komise přijala nové doporučení, jehož účelem je posílit rozsah a kvalitu informací poskytovaných členskými státy EU o radioaktivních odpadech. Doporučení definuje rozsah i obsah informací o vypouštění radioaktivních látek do životního prostředí. Obdobné direktivy však nejsou pro ČR novinkou, dodržují se u nás již řadu let. Radioaktivní zdroje se používají v celé řadě aplikací v průmyslu, medicíně a výzkumu. Riziko při jejich používání je velmi malé a dobře známé. Radioaktivní zdroje se však mohou dostat i do nepovolaných rukou. Nově přijatá legislativa má proto dva stupně. Na úrovni prevence je to zajištění detekčního systému, který bude vyhledávat „zapomenuté zdroje“ (včetně organizování kampaní na odhalení takových zdrojů coby pozůstatků z minulosti); na úrovni nápravné je to zajištění jasných odpovědností, stanovení zásahových postupů a opatření potřebných finančních prostředků.
Podle nové legislativy mají země Unie najít rychlé řešení pro skladování použitého paliva a počítat s náklady na odstavené provozy. Komise nestanoví žádná data ani povinné fondy. Státy jsou však povinny zasílat zprávy o svých jaderných zařízeních a stavu skladů. Jadernou bezpečnost mají i nadále v rukou orgány každé členské země.

Závod na přepracování použitého jaderného paliva

Otevřený kontejner Castor připravený pro naplnění

PŘÍKLADY UKLÁDÁNÍ V UNII

V současnosti jsou v zemích EU bezpečně uloženy 2 miliony tun nízkoaktivních a středněaktivních odpadů. Největším zdrojem těchto odpadů je likvidace jaderných elektráren po skončení provozu. Nárůst odstavovaných reaktorů lze v souvislosti s dožíváním jaderných zdrojů po 40 letech provozu očekávat v příštích deseti letech.

Na skladování se připravují i v Německu

V současné době existuje několik technických řešení skladů – nejbližší skladům použitého paliva v areálech českých jaderných elektráren Dukovany a Temelín je koncepce pěti z dvanácti německých skladů. Všech dvanáct nových německých skladů obdrželo povolení od německého státního dozoru nad jadernou bezpečností v roce 2003 a nyní jsou v různém stupni realizace. Polovina z nich je v blízkosti česko–německé státní hranice.
Na rozdíl od USA nejsou obalové soubory umístěny volně pod širým nebem na betonové ploše, ale jsou chráněny stavbou.
V prvním procesu svého druhu v Německu zamítl bavorský správní soud v Mnichově 13. ledna 2006 všechny žaloby protijaderně zaměřených aktivistů proti dočasným úložištím použitého jaderného paliva u jaderných elektráren v této spolkové zemi. Konstatoval, že o bezpečnosti těchto takzvaných meziskladů nemá žádné pochybnosti. V celém Německu se uskuteční výstavba 12 těchto úložišť, vesměs v bezprostřední blízkosti jaderných elektráren.

Jaderná elektrárna Obrigheim

V jaderné elektrárně Obrigheim se používá metoda mokrého skladování – použité palivo se z bazénu transportuje v kontejneru, který plní pouze přepravní funkci. Kapacitu kontejneru tvoří 4 palivové kazety. Ročně je z bazénu použitého jaderného paliva vyvezeno 8 kontejnerů, každý transport trvá týden. Po naplnění transportního kontejneru následuje dekontaminace a odvoz z kontejnmentu. Kontejner se převáží i s vodou. Nakonec se použité palivo umístí na přesně vymezená místa v bazénu skladu použitého paliva.

Belgická jaderná elektrárna Doel

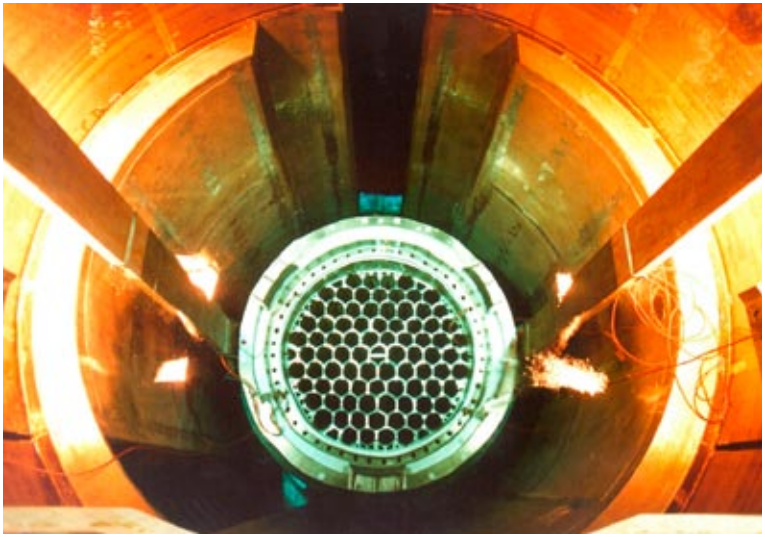
Ke skladování použitého paliva v belgické jaderné elektrárně Doel, provozované soukromou společností Electrabel, se využívá suchá metoda a kontejnery typu B(U)F a S od společnosti Transnucleaire (nyní Cogema logistics). Hlavní odlišností těchto kontejnerů od kontejnerů plánovaných pro Jadernou elektrárnu Temelín je systém těsnicích vík. Odlišností místního skladu od skladu v Jaderné elektrárně Dukovany a plánovaného skladu v Jaderné elektrárně Temelín je také odstranění plotu okolo budovy skladu. Kapacita skladu v Doel bude plně využita v roce 2025 s možností další přístavby. V současné době není belgická vláda rozhodnuta, jakým způsobem bude v budoucnu ukládat použité jaderné palivo do trvalého úložiště (v této souvislosti probíhají průzkumné práce v lokalitě Mol-Dessel).

Závod na výrobu kontejnerů Ateliers de la Meuse

Závod na výrobu kontejnerů Ateliers de la Meuse se nachází ve městě Liege na východě Belgie. Provozovatelem výrobního závodu je firma Cogema logistics, která působí v různých zemích, např. v USA, Francii, Belgii, Velké Británii, Německu či Japonsku. Za rok realizuje cca 1000 transportů s použitým jaderným palivem. Pro skladování používá tři technologie a v rámci každé z nich různé typy kontejnerů; ty je schopna přizpůsobit individuálním požadavkům zákazníka, vyplývajícím z rozdílných potřeb či právních předpisů země.

Státy EU spolupracují i v oblasti přípravy trvalého ukládání

Mezinárodní spolupráce při přípravě hlubinného ukládání vysokoaktivních jaderných odpadů probíhá zejména v oblasti výzkum-



ných prací v podzemních laboratořích. Tyto laboratoře – a především experimenty sloužící k demonstraci bezpečnosti navrhovaného úložného systému – se považují za důležitý krok v přístupu k výstavbě úložiště a v průběhu povolovacího řízení. Široká mezinárodní spolupráce v dané oblasti může sehrát kladnou úlohu při dosažení širokého konsenzu o výhodnosti a bezpečnosti hlubinného ukládání odpadů a může přispět k optimálnímu využití technických a finančních zdrojů. Očekává se, že přispěje i k lepšímu pochopení celkové koncepce vývoje úložných systémů a způsobů zapojení podzemních laboratoří do tohoto systému.

HLUBINNÉ UKLÁDÁNÍ A ZEMĚ EU

V současné době existuje v zemích s jaderněenergetickými programy řada projektů pro konečné ukládání vysokoaktivních odpadů a použitého jaderného paliva. Všechny země se shodly na tom, že nejbezpečnějším způsobem konečného uložení těchto materiálů je jejich umísťování v hlubinných geologických formacích. Rozdílné názory existují na to, zda má být použité palivo před uložením přepracováno či na hodnocení vhodných geologických podmínek. Vzhledem k malému objemu vysokoaktivních jaderných odpadů však zatím stačí budovat mezisklady.

Belgie

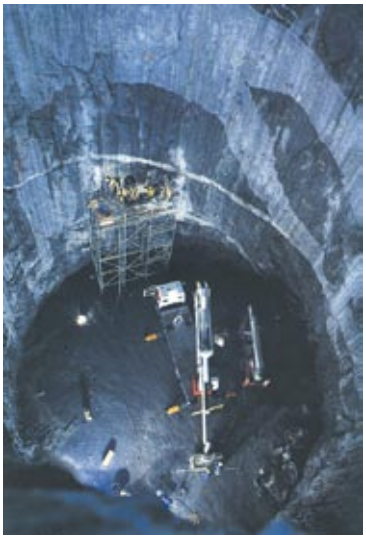
V Belgii je nakládáním s radioaktivními odpady pověřena organizace ONDRAF/NIRAS, většinu výzkumných a vývojových činností však provádí SCK-CEN. Belgie se zaměřila na přepracování vyhořelého paliva ve francouzském přepracovatelském závodě Cogema v La Hague a na prokázání možnosti uložení vzniklých odpadů v jílu. Vitrifikované odpady jsou skladovány ve výzkumném středisku SCK-CEN v Molu, ale pozornost je nově věnována i možnosti přímého uložení použitého paliva a ukládání bitumenovaných (zalitých do asfaltu) odpadů obsahujících transurany.
Současný projekt předpokládá úložiště v hloubce cca 250 m, do něhož by se ukládaly zmíněné typy radioaktivních odpadů. Podobně jako v ostatních zemích je v Belgii ukládání vysokoaktivních odpadů do hlubinných geologických formací založeno na multibariérovém principu.

Finsko

Ukládání radioaktivních odpadů ve Finsku je podle zákona nutno zajistit na území státu. Tento úkol zabezpečuje organizace POSIVA. Finská koncepce zneškodňování použitého jaderného paliva je založena na jeho přímém umístění do geologického úložiště jaderného odpadu vybudovaného v žule, v hloubce přibližně 500 metrů. Finský jaderný program je svým rozsahem a zvažovanou hostitelskou horninou blízký českému, ale liší se časovým plánem jeho realizace: žádost o stavební povolení má být podána v roce 2010, úložiště by mělo vstoupit do provozní fáze o cca 10 let později. V květnu 1999 podepsala POSIVA kontrakt s obcí Eurajoki poblíž Olkiluota, kde byl proveden intenzivní hlubinný geologický průzkum. Výstavba konfigurační podzemní laboratoře ONKALO byla zahájena přípravnými pracemi v roce 2003. Vlastní úložiště sestává z několika tunelů vzdálených od sebe 25 m a spojených transportními chodbami. Kromě šachty sloužící pro transport kontejnerů je úložiště spojeno s povrchovými objekty pracovní šachtou a šachtou pro přepravu osob. Po umístění jsou kontejnery obklopeny montmorillonitickým jílem, jenž ve styku s podzemní vodou zvětšuje objem, a tím uzavře většinu netěsností v bariérovém systému. Po uzavření nebude úložiště vyžadovat žádný monitoring.

Francie

Zneškodňování radioaktivních odpadů ve Francii bylo svěřeno státní organizaci ANDRA, která již provozuje úložiště pro nízkoaktivní a středněaktivní krátkodobé odpady, schopné



Hlubinné úložiště, Finsko

pojmout jak reaktorové, tak institucionální odpady. V oblasti nakládání s použitým palivem je francouzská koncepce založena na přepracování veškerého paliva z provozovaných jaderných elektráren a na prozatímním skladování vitrifikovaných vysoce aktivních odpadů před vybudováním hlubinného úložiště. Do dneška bylo vyprodukováno více než 2000 kontejnerů s vitrifikovanými odpady, které se nyní skladují v lokalitě La Hague.
V roce 1998 se vláda rozhodla zřídit ve Francii dvě podzemní laboratoře, jednu v hloubce 500 m ve 150 milionů let starých jílových formacích (Bure) a druhou v žule, jejíž lokalita ještě není stanovena.
Vláda se rozhodla přijmout koncepci úložiště reverzibilního typu, což znamená dát možnost budoucím generacím rozhodnout o modifikacích nebo přeorientování úložného procesu, popř. vyjmout odpady v souvislosti s novým způsobem zneškodňování nebo přepracování.

v zemích EU jsou uloženy 2 miliony tun nízkoaktivních a středněaktivních odpadů

Maďarsko

Od počátku existence jaderné elektrárny v Paksi se použité palivo vracelo do bývalého SSSR bez povinnosti odebrat zpět vysokoaktivní odpad. Tato dohoda však v roce 1992 skončila a pro Paks vznikla nutnost řešit skladování použitého paliva, neboť kapacita skladovacích bazénů se měla vyčerpat v roce 1995. Proto se rozhodlo o zřízení dočasného suchého skladu na lokalitě elektrárny; provoz byl zahájen v září 1997.
V roce 1993 započaly práce na projektu hlubinného úložiště v uranovém dole v Mecseku v hloubce 1030 až 1080 m. Druhý tzv. národní projekt byl vyhlášen v roce 1995, ale v roce 1999 byl zastaven.
V současné době je připravována koncepce přípravy hlubinného úložiště ve spolupráci se španělskou odpadovou agenturou ENRESA.

Německo

Německo patří k zemím, které mají největší zkušenosti s budováním i provozem hlubinných úložišť umístěných převážně v solných formacích. Již v roce 1967 byly zahájeny experimentální výzkumy v podzemní laboratoři Asse. Byl vybrán solný důl v Gorlebenu pro umístění úložiště vyhořelého paliva a navíc v bývalé NDR byl upraven opuštěný důl v Morslebenu pro ukládání nízkoaktivních a středněaktivních odpadů.
V roce 1999 byl vytvořen výbor AkEnd, jež dostal za úkol vypracovat postup pro určení lokality hlubinného úložiště za předpokladu, že úložiště bude v hlubinné geologické formaci a robustní multibariérový systém zajistí izolaci RAO po dobu 1 milionu let. Vlastní výběr lokality proběhne do roku 2010.

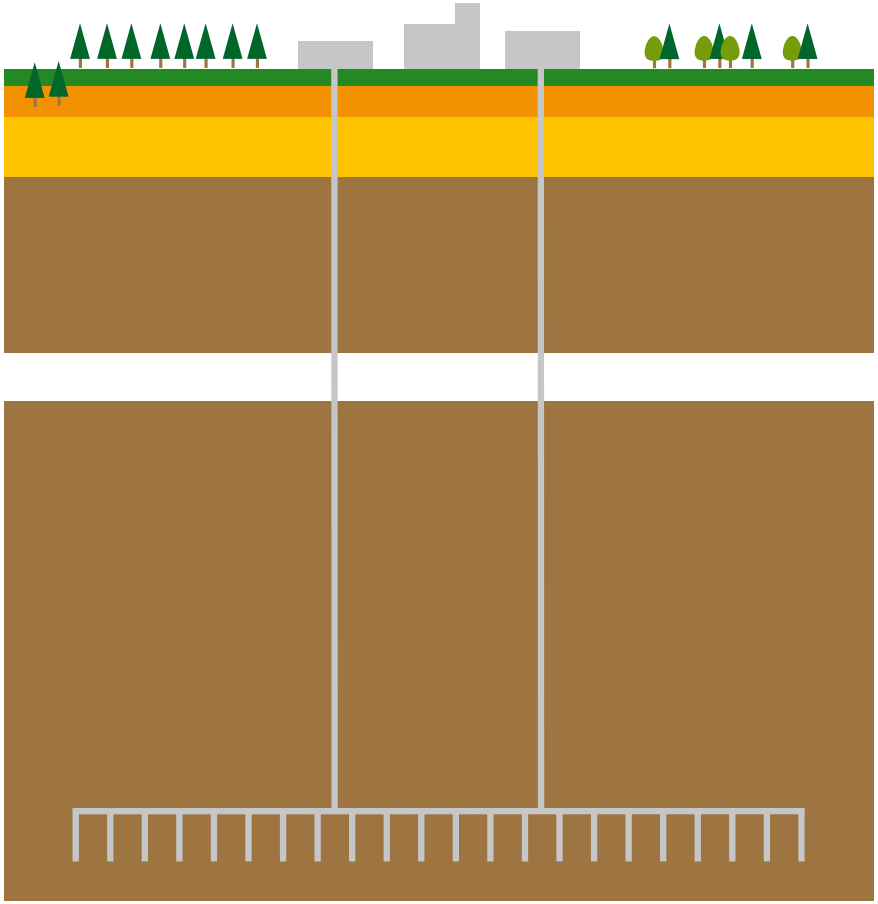
Nizozemsko

Organizace COVRA, která je v Nizozemsku pověřena zacházením s radioaktivními odpady, ještě donedávna nedisponovala povolením pro skladování použitého jaderného paliva a vysoce aktivních odpadů. V roce 1999 obdržela COVRA od státu povolení k výstavbě skladu známého jako HABOG; jeho provoz byl zahájen v roce 2003.
V souladu s principem udržitelného rozvoje vydala vláda nařízení, že odpad musí být uložen tak, aby bylo možné ho vyjmout, monitorovat a recyklovat, pokud by došlo k vývoji vhodné nové technologie. Současná koncepce předpokládá výstavbu úložiště v hloubce cca 800 metrů, s běžnými přístupovými šachtami.

Slovensko

Slovenský program přípravy hlubinného úložiště byl zahájen společně s českým programem v roce 1993. Výběr lokalit dospěl do stádia volby dvou horninových prostředí, sedimentárních jílovců a prachových jílovců, a granitoidů; celkem bylo zvažováno 5 lokalit. Výběr finální lokality je plánován na rok 2010 na základě podrobných průzkumů zvolených

Základní schéma hlubinného úložiště; areál na povrchu země spojují s ukládacími prostorami několik set metrů pod zemí přístupové a větrací šachty



lokalit, výstavba úložiště má být zahájena v roce 2028 a úložiště uvedeno do provozu v roce 2037. Má být funkční téměř do konce tohoto století. Práce zatím řídil DECOM Trnava, v poslední době řízení převzal VYZ, pracoviště Mochovce. Předpokládá se však založení národní odpadové agentury.

Španělsko

Organizace odpovědná za zneškodňování radioaktivních odpadů ve Španělsku, ENRESA, vypracovala projekt referenčního hlubinného úložiště pro tři typy hostitelských hornin, tj. solnou formaci, jíl a žulu. Ve všech případech se předpokládá umísťování použitého paliva do souběžných chodeb, zatímco středněaktivní odpady by se měly ukládat odděleně, ale v témže úložišti.
Program hlubinného ukládání byl zahájen v roce 1986 s cílem nalézt konečnou lokalitu okolo roku 2000. Avšak s ohledem na opozici veřejnosti vůči předpokládanému záměru vyhlásila ENRESA novou koncepci ukládání aktivních odpadů. Ta stanovuje, že o výběru konečného způsobu ukládání nebude rozhodnuto před rokem 2010. Souběžně s pracemi na hlubinném ukládání bude probíhat výzkum separace a transmutace radionuklidů, přičemž v roce 2010 proběhne shrnutí a posouzení dosavadních výsledků.

Švédsko

Zneškodňováním radioaktivních odpadů ve Švédsku je pověřena SKB, firma zřízená provozovateli jaderných elektráren, ale vázaná ve svých činnostech národní legislativou. Ve švédské koncepci nakládání s použitým jaderným palivem se neuvažuje o jeho přepracování, hledá se proto vhodná geologická struktura pro jeho uložení. Vzhledem ke geologickým podmínkám ve Švédsku tomuto účelu vyhovují nejlépe granity.
Všechno použité palivo se soustřeďuje v podzemním skladu bazénového typu CLAB, v blízkosti jaderné elektrárny Oskarshamn. Ve čtveřici skladovacích bazénů je dnes uskladněno už téměř 5000 tun použitého paliva. Bazény jsou projektovány na celkových 8000 tun. Nyní se v sousedství začne stavět druhý takový bazén, aby se zabezpečily potřeby dalšího provozu jaderných elektráren. Použité palivo bude v meziskladu CLAB chladnout dalších 40–50 let. Před uložením se bude palivo zapouzdřovat, a to v zařízení plánovaném v těsném sousedství skladu.
Firma SKB plánuje, že do úložiště bude nejprve uloženo cca 10 % zapouzdřeného použitého paliva a po detailním vyhodnocení a průkazu přijatelnosti navrženého řešení budou uloženy i ostatní odpady. Doba předpokládaného provozu úložiště nepřesáhne 50 let.

Velká Británie

Velká Británie nemá schválený program trvalého zneškodňování použitého paliva a radioaktivního odpadu, přestože již řadu let provozuje na komerční bázi přepracovatelský závod v Sellafieldu. Jeho nejnovější část, závod THORP, který měl do roku 2005 zpracovat cca 7000 tun vyhořelého kysličníkového paliva z reaktorů různého typu, zahájila provoz v roce 1994. Vitrifikační zařízení pro úpravu kapalných radioaktivních odpadů k uložení je v provozu od roku 1991.
V současnosti se počítá se skladováním použitého paliva a vysoce aktivních odpadů po období v délce zruba 50–100 let, což je doba postačující pro konečné rozhodnutí o uložení.
V devadesátých letech byla v Británii zahájena příprava hlubinného úložiště středně aktivních odpadů: pro tento účel byla zvolena lokalita Sellafield a jako náhradní lokalita Dounrey na severu Skotska; tam však byly kvůli široké veřejné opozici práce ukončeny.

jaderná energetika má ve vyváženém energetickém mixu ČR nezastupitelné místo

MÍSTO ZÁVĚRU

Jak Jaderná elektrárna Dukovany, tak Jaderná elektrárna Temelín patří z hlediska vlivu na životní prostředí mezi nejšetrnější zdroje výroby elektrické energie. Při jejich provozu nevznikají skleníkové plyny, nespotřebovává se kyslík ani neobnovitelné suroviny. Program environmentální politiky českých jaderných elektráren je založen na prevenci a na trvalém zlepšování vztahu k ochraně životního prostředí. Zahrnuje plnění všech zákonných norem a stanovuje cíle, kterých chce elektrárna dosáhnout (např. v oblasti odběru vody, kapalných výpustí, odparu a úletu vody, plynných výpustí a nakládání s odpady včetně uložení jaderného odpadu). To, spolu se schopností levné výroby elektřiny v podmínkách postupného vyčerpávání fosilních paliv, jsou důvody pro nezastupitelné místo jaderné energetiky ve vyváženém energetickém mixu České republiky. Odpovědný přístup k nakládání s radioaktivním odpadem z provozu obou českých jaderných elektráren k tomu vytváří optimální podmínky.

● vodní elektrárny ■ uhelné elektrárny ▲ jaderné elektrárny ▼ větrné elektrárny

ČEZ, a. s., Duhová 2/1444, 140 53 Praha 4
tel.: 211 041 111 | fax: 211 042 001 | e-mail: cez@cez.cz | www.cez.cz