



Český model
amerického kongresu

Nakládání s jaderným odpadem

Zpráva Výzkumné služby Kongresu

Matěj Eberle

Jan Kmínek



1 Úvod

Jako jaderný odpad je označován materiál, který produkuje radioaktivní záření a který nemá v současné době další využití. Radioaktivní odpad se dělí na nízkoaktivní, středně aktivní a vysoce aktivní. Do těchto kategorií je zařazen podle množství radioaktivního záření, které produkuje, a také podle poločasu rozpadu daného materiálu (poločas rozpadu je doba, za kterou se přemění přesně polovina částic, a je charakteristický pro jednotlivé nuklidy prvků). V omezené míře je možné radioaktivní odpad znovu využít při přepracování na nové palivo, avšak většina se ho v současné době hromadí a čeká na trvalé uložení. Klíčovým problémem, kterým se zabývá tato výzkumná zpráva, je řešení otázky ukládání využitého radioaktivního materiálu tak, aby nikomu neškodil.

2 Producenti radioaktivního odpadu

2.1 Jaderné elektrárny

2.1.1 Provoz

Mezi veřejně nejznámější producenty radioaktivního odpadu patří jednoznačně jaderné elektrárny. Palivový cyklus v jaderných elektrárnách začíná zavezením čerstvého paliva. To je obvykle složené z nuklidu uranu $U\ 92238$, který je obohacen o izotop $U\ 92\ 235$. Čerstvé palivo není před svým použitím téměř vůbec radioaktivní. Po několika letech strávených v reaktoru, během nichž se spotřebuje využitelná energie, se však již jedná o vysoce radioaktivní jaderný odpad, který je třeba uložit na dobře odstíněné místo splňující řadu požadavků.

2.1.2 Likvidace odstavených jaderných elektráren

Vzhledem k omezené životnosti jaderných i nejaderných částí jaderných elektráren musí dojít po určité době provozu k jejich odstavení. Plánovaná doba provozu jaderných elektráren je obvykle 20 až 40 let, tato doba však bývá po zhodnocení stavu prodlužována až na 60 let. Nejkritičtější částí je tlaková nádoba reaktoru, která nejde vzhledem k vysoké radiaci opravit ani vyměnit. Po definitivním odstavení z provozu je třeba zařízení rozebrat a bezpečně zlikvidovat, což u nejaderných částí není problém, avšak s technologiemi zasaženými radiací je třeba zacházet bezpečně. Tyto technologie se opět dělí podle množství záření, které vyzařují, a podle toho se s nimi nakládá. Nízkoaktivní části je možné dekontaminovat, u vysoce aktivních zařízení je ale možné pouze jejich uložení spolu s vyhořelým palivem do trvalého úložiště radioaktivního odpadu. Náklady na budoucí likvidaci odstavené jaderné elektrárny představují průměrně 5 % z ceny elektřiny, kterou elektrárna dodává na trh.



2.2 Institucionální producenti

Mezi další producenty jaderného odpadu patří např. nemocniční zařízení. Zde se využívají radioaktivní prvky zejména při ozařování různých typů nádorů. Odpad z těchto zařízení je podstatně méně radioaktivní, je ho ale nutné sledovat neméně obezřetně. Do této kategorie se začleňují též výzkumná střediska, která mohou provozovat vlastní zmenšené modelové reaktory, které také produkují velmi malé množství jaderného odpadu.

2.3 Armáda

V armádě vzniká jaderný odpad při mnoha různých činnostech. Jednou z nich je provoz jaderných ponorek či letadlových lodí. Princip jejich činnosti je v podstatě stejný jako u jaderných elektráren, pouze v menším měřítku. Jaderné reaktory na palubách těchto plavidel tedy produkují podobný druh vyhořelého paliva, které je vysoce aktivní. Dalším zdrojem mohou být nukleární hlavice, ať už do mezikontinentálních balistických raket či jiných nosičů. V nich se nachází izotopy v takových množstvích, kdy nedochází ke štěpným reakcím, a nevyzařují tedy radioaktivní záření. Problémem může být případně jejich likvidace (např. v případě odzbrojování), jelikož se jedná o obohacený uran. V případě, že dojde k využití těchto zbraní, zařízení v nich způsobí neřízenou štěpnou reakci produkující obrovské množství radiace a následně radioaktivní spad. V tomto případě se však nedá hovořit o jaderném odpadu, který by bylo třeba zlikvidovat, neboť by při jeho rozmetání na obrovské území byla likvidace téměř nemožná. V některých typech zbraní¹ se používá též ochuzený uran. Ten se vyznačuje velmi vysokou tvrdostí a průrazností, avšak velmi nízkou radioaktivitou, takže téměř není nebezpečný. Při intenzivním nasazení těchto zbraní, během kterého dochází k jejich rozptýlení do prostředí, však může dojít k poškození životního prostředí.

3 Ukládání jaderného odpadu

3.1 Bezprostřední ukládání vyhořelého paliva v JE

Bezprostředně po vytažení prutů s vyhořelým jaderným palivem z reaktorů dochází k jejich uložení v bazénech, které se vyskytují přímo v reaktorových sálech v kontejnmentu. ³ V těchto bazénech palivo

¹Mezi takové zbraně spadá především vysoce průrazná munice, jako jsou protipancéřové střely apod. (spolu s ochuzeným uranem obsahuje obvykle wolfram).



stále ještě produkuje vysoké množství energie (zejména tepla), kterou je nutné odvádět. Po několika letech již poklesne radioaktivita paliva natolik, že je možné jej skladovat mimo vodní prostředí.

3.2 Dočasná úložiště

Dočasná úložiště, která jsou někdy označována jako tzv. mezisklady, slouží, jak již název napovídá, ke střednědobému ukládání vyhořelého jaderného paliva. Bývají často stavěna v areálech jaderných elektráren a jedná se o budovy, které musí splňovat přísné bezpečnostní podmínky (např. musí odolat pádu letadla apod.). V nich je palivo skladováno ve speciálních uzavřených nádobách, které jsou neustále monitorovány. Je u nich sledována především teplota, ale i mnoho dalších ukazatelů včetně možného úniku radiace do prostoru meziskladu. Tímto způsobem je v současnosti ve Spojených státech amerických skladováno přibližně 65 000 tun vyhořelého jaderného paliva, přičemž každý rok přibývá dalších 2 000 tun.

Pro institucionální producenty středně aktivního odpadu je ukládání zprostředkováváno státní agenturou, která po dokončení výstavby trvalého úložiště zajistí přesun těchto středně aktivních odpadů na nové místo. V případě nízkoaktivních odpadů jsou vzhledem k jejich malému záření tato úložiště dostatečně bezpečná, a jsou tedy využívána jako trvalá.

3.3 Trvalá úložiště

Trvalá úložiště jsou projektována jako podzemní objekty vyhloubené v geologicky velmi stabilním a pevném podloží s minimem prosakujících podzemních vod. Tyto podmínky nejčastěji splňují například žulové masivy. Jedná se o systém tunelů a šachet, do kterých by měly být ukládány nádoby s radioaktivním odpadem, které by zde měly vydržet izolovány po celou dobu radioaktivních přeměn, tedy miliardy let. Otázkou zůstává, zda použité materiály například na výrobu izolačních sudů na ukládání vyhořelého jaderného paliva po tak dlouhou dobu vydrží. Jisté však je, že hornina, do které je trvalé úložiště jaderného odpadu vyhloubeno, je velmi stará a bude ve své podobě existovat ještě mnoho miliard let. S tím souvisí i podmínka geologické stability oblasti, jelikož při pohybech podloží v geologicky aktivních oblastech by mohlo dojít například ke zničení ochranných obalů radioaktivního odpadu nebo k jeho vyloučení na povrch a následnému rozšíření radiace do okolí.

Trvalá úložiště budou z většiny své kapacity využita vyhořelým jaderným palivem z elektráren, které je do doby jejich zprovoznění uchovávalo v meziskladech. Z malé části budou využívána k ukládání středně aktivního odpadu produkovaného zdravotnickými či vědeckými institucemi.



3.4 Přepřacování vyhořelého paliva

Tato možnost je vysoce nákladná a vyplácí se pouze u velkého množství paliva. Tento proces je využíván například ve Francii, kde je většina elektrické energie vyrobena v jaderných elektrárnách. Současné technologické postupy nicméně neumožňují úplné zpracování radioaktivního paliva, a tak i při přepřacování dochází ke vzniku tekutého vysoce aktivního odpadu, který je třeba následně vitrifikovat (tj. upravit do podoby skla).

4 Yucca Mountain nuclear waste repository

Ve Spojených státech amerických se již objevil pokus o výstavbu trvalého úložiště radioaktivního odpadu. Jeho výstavba byla schválena Kongresem již v roce 2002, ale i vzhledem k odporu občanů byl tento projekt vládou Baracka Obamy v roce 2011 pozastaven, což vede k tomu, že není v současné době k dispozici žádné trvalé úložiště a produkovaný jaderný odpad se dále hromadí v meziskladech rozmístěných po celých Spojených státech.

5 Financování

5.1 Dočasná úložiště

Dočasné ukládání vyhořelého jaderného paliva je financováno přímo majiteli jaderných elektráren, kteří ze svých prostředků nakupují speciální stínící nádoby a financují výstavbu meziskladů v areálech svých elektráren. Tento typ skladování přináší náklady, se kterými společnosti počítají při stanovování ceny, za kterou dodávají elektřinu do distribuční sítě.

V případě institucionálních producentů středně aktivního odpadu dochází k přechovávání tohoto odpadu státní agenturou za poplatek podle množství předaného odpadu.

5.2 Trvalá úložiště

Vybudování trvalého úložiště s sebou přináší obrovské náklady. Obecně rozšířeným modelem je financování stavby trvalého úložiště speciálním fondem, do kterého přispívají jednotliví producenti radioaktivního odpadu. Hlavními přispěvateli do tohoto fondu jsou provozovatelé jaderných elektráren, kteří platí poplatky za vyprodukované MWh elektrické energie. Experimentální (výzkumné) jaderné reaktory, které jsou umístěné například na univerzitách, mají stanoveny poplatky podle svého tepelného výkonu (MWh(t)). Další producenti jako zdravotnická zařízení mají stanoveny poplatky podle množství vyprodukovaného odpadu. V porovnání s příjmy z výroby elektrické energie pak poplatky od menších producentů představují pouze několik málo procent. Ve Spojených státech



amerických slouží k tomuto účelu Nuclear Waste Fund, který v současné době obsahuje asi 25 miliard dolarů. Vzhledem k legislativním omezením je z něj však tyto prostředky nyní velice obtížné čerpat.

6 Shrnutí

Vzhledem k povaze jaderného odpadu, který není v krátkodobém ani střednědobém horizontu z důvodu nebezpečného záření možné zcela recyklovat, je nutné přistoupit ke stavbě hlubinného trvalého úložiště radioaktivního odpadu. Současný stav, kdy je jaderný odpad skladován ve více než 120 zařízeních, vyvolává nejistotu ohledně úrovně jeho zabezpečení. Jeho přesun na jedno vysoce zabezpečené místo by byl zcela jistě více než žádoucí. Při výběru lokality by samozřejmě mělo být dbáno na eliminaci všech možných rizik, od geologické nestability přes záplavy až po extrémní klimatické podmínky. Určitou roli by mohlo hrát i to, že je zařízení Yucca Mountain nuclear waste repository již částečně rozestavěné.

7 Důvody hovořící pro stavbu úložišť

Nejčastěji rezonujícím argumentem je, že jedno úložiště, které by obsáhlo veškerý jaderný odpad produkovaný v USA, by výrazně zvýšilo jeho bezpečnost. S tím se nabízí i další argument, jímž je, že veškerá nadbytečná radiace by se koncentrovala na jednom místě.

Oba dva důvody spolu přinášejí i značné vedlejší užitky. Například množství financí, které jsou každoročně vydávány na ochranu objektů, kde je radioaktivní odpad ukládán. Zároveň by armáda nemusela poskytovat takové množství vojáků na ochranu vícera objektů, což opět vede k ušetřeným financím.

Dalším důvodem, který je hůře vyčíslitelný, je spokojenost obyvatel. Oblasti, kde je ukládán jaderný odpad, nepatří k oblíbeným turistickým destinacím ani místům, kde by chtělo větší množství obyvatel dlouhodobě žít. Pakliže by se veškerý jaderný odpad ukládal na jedno místo, tak lze očekávat větší spokojenost obyvatel, kteří v současnosti žijí v zasažených oblastech.

8 Důvody proti stavbě úložišť

Ve chvíli, kdy bude speciální objekt určený vyloženě pro skladování velkého množství jaderného odpadu, stane se tento objekt mnohem jasnějším cílem pro případný útok.

Rovněž je zde problém dostatečného odstínění radiace. Ve chvíli, kdy bude odpadu velké množství, je mnohem náročnější zajistit, aby například neprosakoval do podzemních vod.



Dalším úskalím je ekonomická stránka věci. Samotná stavba takto úzce specializovaného objektu bude stát nemalé množství peněz. A ruku v ruce s tím jde i údržba takového objektu.

Hrozícím nebezpečím je rovněž to, že jiné státy by mohli chtít ukládat svůj jaderný odpad v tomto specializovaném úložišti, což by potenciálně mohlo ohrozit zdraví Američanů.

9 Stranické názory

Co se týče otázky nakládání s jaderným odpadem, není možné zcela jasně vymezit hranici mezi názory republikánů a demokratů. Dokonce ani nejde přesně říci, která strana se snaží více zabývat tímto návrhem.

Jediné možné rozdělení tedy je na základě území. Zjednodušeně lze konstatovat následující: pakliže by se na území daného státu mělo stavět úložiště pro celou USA, bude tento stát zásadně proti, jako je tomu momentálně u státu Nevada. Názorová polarizace ostatních států záleží na množství odpadu, který mají na svém území.

Určujícím parametrem, který bude rozdělovat republikány a demokraty, jsou finance. Republikáni se budou snažit o co možná nejnižší finanční zátěž státního rozpočtu, zatímco demokraté budou prosazovat zavedení komise, která by měla kompetence činit další kroky.

10 Nestátní organizace

V tomto bodě je nutné věnovat pozornost především ekologickým společnostem jako jsou například Greenpeace. Jejich překvapivým stanoviskem je velmi obezřetná podpora pro stavbu takového úložiště. Důvodem je, že volí metodu menšího zla. V minulosti byl jaderný odpad například shazován do oceánu. Tomuto postupu lze zamezit leda stavbou hromadného jaderného úložiště, které by zamořovalo jen drobné množství území. Lze ale počítat s tím, že když se objeví příležitost, budou tyto organizace volat po omezení produkce jaderného odpadu.



11 Zdroje vhodné k prostudování

[Článek CNBC přibližující současný stav vyjednávání ohledně Yucca mountain complex](#)

[Video Jamieho Olivera rozebírající tuto problematiku](#)



12 Zdroje

CLARK, M. What Does the U.S. Do with Nuclear Waste? *Scientific American* [online]. Nature America, 2017 [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: <https://www.scientificamerican.com/article/what-does-the-us-do-with-nuclear-waste/>

HAVLÍČEK, L. Financing of Liabilities Beyond the Service Life of Nuclear Installations. *Acta Polytechnica: Journal of Advanced Engineering* [online]. Czech Technical University Publishing House, 2006, **4/2006**(46), 13-17 [cit. 2017-02-26]. ISSN 1805-2363. Dostupné z: <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/ap/article/view/842/674>

HEJHAL, M. *Analýza vytváření rezerv na budoucí vyřazování jaderných elektráren z provozu*. Praha, 2014. Diplomová práce. Fakulta elektrotechnická Českého vysokého učení technického v Praze. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

NAŘÍZENÍ VLÁDY ČR ze dne 28. srpna 2002, kterým se stanoví výše odvodu a způsob jeho placení původci radioaktivních odpadů na jaderný účet a roční výše příspěvku obcím a pravidla jeho poskytování. Praha, 2002, ročník 2002, číslo 416. Dostupné také z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/ostatni-predpisy-a-narizeni/NV_416_2002_20120103.pdf



Nuclear Power in the USA. *World Nuclear Association* [online]. London: World Nuclear Association, ©2016 [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/usa-nuclear-power.aspx>

Radioactive Waste Management. *World Nuclear Association* [online]. London: World Nuclear Association, ©2016 [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/radioactive-waste-management.aspx>