

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vyřazování jaderných elektráren z provozu

**vedoucí práce: Ing. Romana Řáhová
autor: Miroslav Zeman**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Miroslav ZEMAN
Osobní číslo: E10B0511P
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Komerční elektrotechnika
Název tématu: Vyřazování jaderných elektráren z provozu
Zadávající katedra: Katedra technologií a měření

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

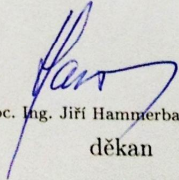
1. Uveďte důvody tvorby rezervy na vyřazování JE.
2. Uveďte jaké by mohli být náklady na vyřazování JE.
3. Uveďte zpracování radioaktivního odpadu z JE po vyřazení z provozu.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

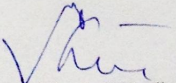
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Romana Řáhová**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na důvody tvorby rezerv na vyřazování jaderných elektráren z provozu . Legislativní rámec České Republiky pro vyřazování jaderných elektráren z provozu a rozdělení závazků souvisejících s touto činností. Zároveň se zabývá odhadem finančních nákladů na vyřazování jaderných elektráren z provozu, které zahrnuje i zpracování radioaktivního odpadu a jeho následné uložení.

Klíčová slova

Jaderná elektrárna,(vyhořelé) jaderné palivo, radioaktivní odpad, jaderné zařízení, zářič, radionuklid, ionizující záření, palivový článek, úložiště.

Abstrakt

This bachelors thesis is focused on the reasons for the creation of reserves for decommissioning nuclear power plants. The legislative framework of the Czech Republic for the decommissioning of nuclear power plants and the distribution of liabilities associated with this activity. It also deals with the estimated financial costs of decommissioning nuclear power plants, which includes the processing of radioactive waste and its subsequent storage.

Key words

Nuclear Power, (spent) nuclear fuel, radioactive waste, nuclear facilities, radiation, radionuclide, ionizing radiation, fuel cell, storage.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 14.6.2012

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Romaně Řáhové za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

ÚVOD	11
1 DŮVODY TVORBY REZERVY NA VYŘAZOVÁNÍ JE Z PROVOZU	16
1.1 TVORBA REZERVY NA VYŘAZOVÁNÍ JADERNÉHO ZAŘÍZENÍ Z PROVOZU	16
1.1.1 Platby ČEZ na jaderný účet.....	17
1.1.2 Odvody původců radioaktivních odpadů na jaderný účet.....	18
1.1.3 Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO).....	18
1.1.4 Služby SÚRAO původcům radioaktivních odpadů.....	19
1.1.5 Přebírání radioaktivních odpadů k uložení.....	19
1.2 LEGISLATIVNÍ RÁMEC VYŘAZOVÁNÍ JADERNÉHO ZAŘÍZENÍ Z PROVOZU	19
1.3 PROCES VYŘAZOVÁNÍ JADERNÉHO ZAŘÍZENÍ U ČEZ	20
1.3.1 Možný postup pro vyřazování jaderného zařízení.....	20
1.4 DLOUHODOBÉ "JADERNÉ" ZÁVAZKY ČESKÉ REPUBLIKY DLE PLATNÉ LEGISLATIVY	22
1.4.1 Skladování vyhořelého paliva z produkce jaderných elektráren v České republice	22
1.4.2 Skladování radioaktivního odpadu z produkce jaderných elektráren v České republice.....	23
2 NÁKLADY NA VYŘAZOVÁNÍ JADERNÉ ELEKTRÁRNY Z PROVOZU	24
2.1 METODY ODHADU NÁKLADŮ V ČESKÉ REPUBLICCE.....	24
2.1.1 Jaderný účet.....	25
2.1.2 Výpočet stanovení odvodu na jaderný účet.....	26
2.2 METODY ODHADU NÁKLADŮ U OSTATNÍCH ZEMÍ EVROPSKÉ UNIE	27
2.2.1 Metody odhadu nákladů ve Velké Británii	27
2.2.2 Metody odhadu nákladů ve Francii.....	27
2.3 POROVNÁNÍ ODHADŮ NÁKLADŮ NA VYŘAZOVÁNÍ JADERNÝCH ELEKTRÁREN V ČESKÉ REPUBLICCE, FRANCIÍ A VELKÉ BRITÁNII.....	28
3 RADIOAKTIVNÍ ODPAD	30
3.1 ZPRACOVÁNÍ A ÚPRAVA RADIOAKTIVNÍHO ODPADU	31
3.1.1 Pevné radioaktivní odpady	31
3.1.2 Kapalné radioaktivní odpady.....	32
3.1.3 Plynné radioaktivní odpady.....	32
3.2 METODY ZPRACOVÁNÍ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ	33
3.2.1 Kapalné radioaktivní odpady.....	33
3.2.2 Zpracování pevných radioaktivních odpadů.....	34
3.2.3 Zpracování plynných radioaktivních odpadů.....	34
3.3 PODMÍNKY PRO VÝPUSTI RADIOAKTIVNÍCH LÁTEK	34
4 JADERNÉ PALIVO	36
4.1 PALIVOVÝ CYKLUS	36
4.2 PALIVOVÝ SOUBOR	36
4.3 VÝMĚNA PALIVOVÝCH SOUBORŮ.....	37
4.4 BAZÉN SKLADOVÁNÍ VYHOŘELÉHO PALIVA NA JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ TEMELÍN	38
4.5 MEZISKLAD VYHOŘELÉHO PALIVA V AREÁLU JADERNÉ ELEKTRÁRNY TEMELÍN	38
4.6 VYHOŘELÉ JADERNÉ PALIVO	38
5 ÚLOŽENÍ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ	40
5.1 ÚLOŽIŠTĚ NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY	40
5.1.1 Úložiště radioaktivních odpadů Richard.....	40
5.1.2 Úložiště radioaktivních odpadů Bratrství.....	41
5.1.3 Úložiště radioaktivních odpadů Dukovany.....	41
5.1.4 Úložiště radioaktivních odpadů Hostim.....	42

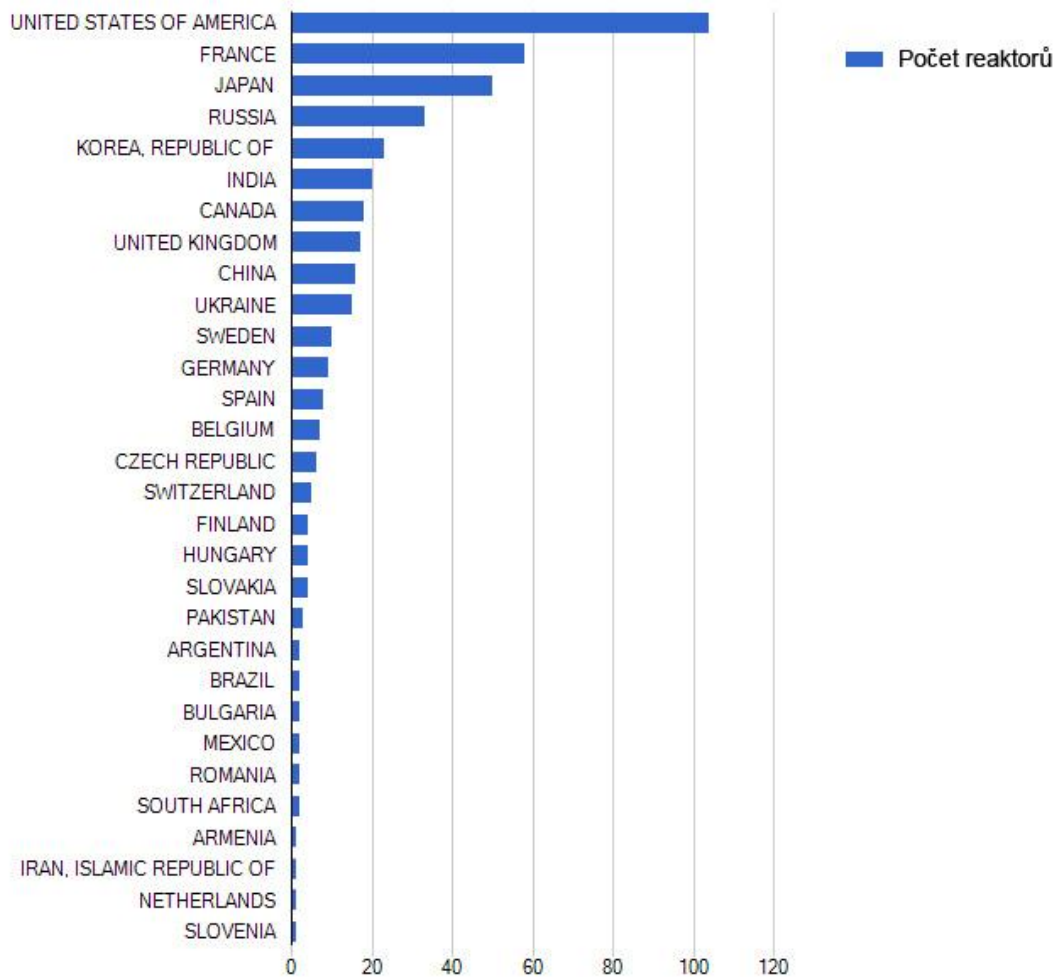
5.2	HLUBINNÉ ÚLOŽIŠTĚ NA ÚZEMÍ ČR.....	42
5.2.1	Výběr vhodných lokalit pro výstavbu hlubinného úložiště v České republice	43
5.2.2	Základní principy postavení obcí při výběru lokality:	43
5.2.3	Hlubinné úložiště - přírodní bariéra.....	44
5.2.4	Hlubinné úložiště - inženýrská bariéra.....	44
6	ZÁVĚR.....	45

Seznam použitých zkratk:

AZ	Atomový zákon
BSVP	Bazén skladování vyhořelého paliva
BAPP	Budova pomocných a aktivních provozů
ČR	Česká Republika
EDU	Elektrárna Dukovany
ETE	Elektrárna Temelín
EU	Evropská Unie
HÚ	Hlubinné úložiště
IAEA	International atomic energy agency
JE	Jaderná elektrárna
JEDU	Jaderná elektrárna Dukovany
JETE	Jaderná elektrárna Temelín
JÚ	Jaderný účet
JZ	Jaderné zařízení
LCBL	Life cycle baseline
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OS	Obalový soubor
PS	Palivový soubor
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRAO	Státní úřad pro ukládání radioaktivního odpadu
RAO	Radioaktivní odpad
ÚRAO	Úložiště radioaktivního odpadu
VVER	Tlakovodní reaktor
ŽP	Životní prostředí

Úvod

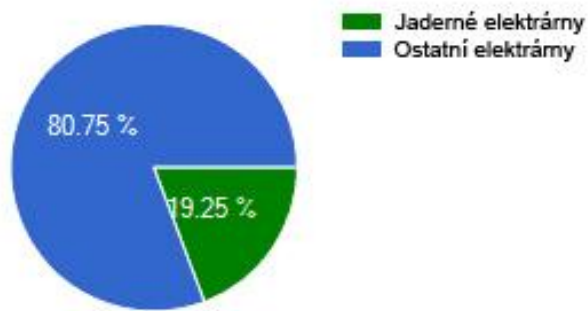
Jaderné elektrárny jsou celosvětově významným producentem elektrické energie. Ve 30 státech světa jsou k výrobě elektrické energie využity jaderné elektrárny, jejichž celkový instalovaný výkon je přibližně 370 000 MWe. K počátku roku 2012 je v provozu celkem 436 jaderných reaktorů a jejich rozmístění a počty jsou uvedeny na Obr. 1.1 a Obr. 1.2 [1]



Obr1.1 Počet provozovaných reaktorů v jednotlivých státech [1]

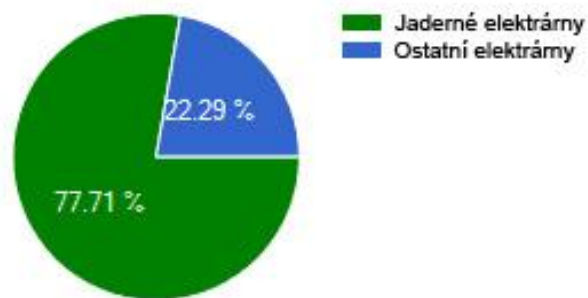
„Pozn.: Do celkového počtu provozovaných reaktorů je zahrnuto i 6 reaktorů na Taiwanu, Čína“ [1]

V roce 2009 bylo jadernými elektrárnami vyrobeno zhruba 2 600 miliard kWh. Největší množství elektrické energie vyrobené v jaderných elektrárnách patří USA, které provozují 104 jaderných reaktorů ve 31 státech a ročně vyrobí přibližně 800 miliard kWh. Podíl vyrobené elektrické energie v jaderných elektrárnách dosahuje téměř 20 % z celkového množství vyrobené energie v USA a instalovaný výkon je přibližně 101 GWe. Spojené státy jsou největším producentem elektrické energie z jaderných elektráren a z celosvětového pohledu vyprodukuje téměř jednu třetinu jaderné elektřiny. [1]



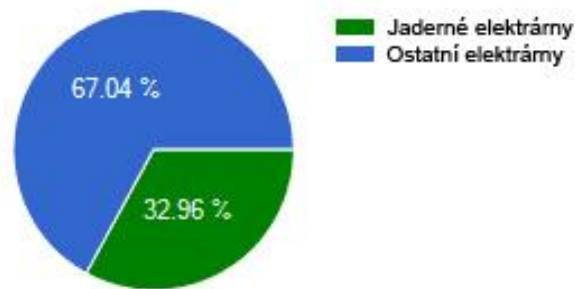
Obr. 1.2 Podíl produkce jaderných elektráren v USA [1]

V evropském měřítku je největším producentem jaderné energie Francie, která provozuje celkově 58 jaderných reaktorů s instalovaným výkonem cca 63 GWe. Z Obr. 1.3 je zřejmé, že výroba elektrické energie z jaderných elektráren ve Francii dosahuje téměř 78% a Francie je tudíž na jaderné energetice značně závislá. [1]



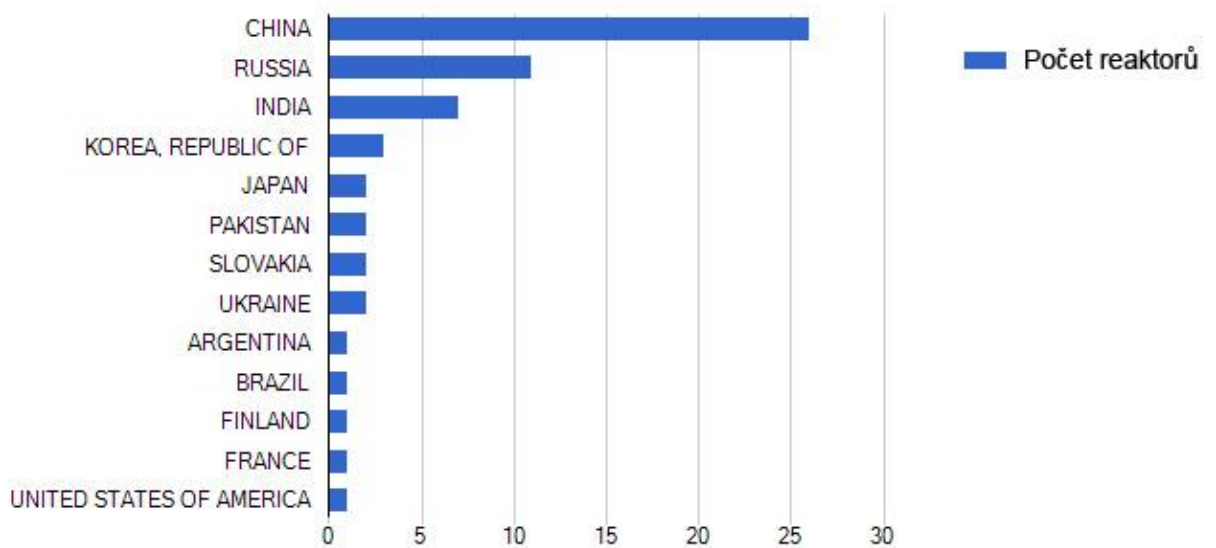
Obr. 1.3 Podíl produkce jaderných elektráren ve Francii [1]

V České Republice jsou společností ČEZ, a.s provozovány dvě jaderné elektrárny s celkovým počtem šesti reaktorů. Elektrárny jsou provozovány v lokalitách Temelín (2 reaktory typu VVER V-320) a Dukovany (4 reaktory typu VVER V-213). Výstavba JE Dukovany byla zahájena v roce 1979 a jednotlivé bloky byly postupně připojovány do sítě v letech 1985 až 1987. Po provedených změnách projektu jejich instalovaný výkon dosahuje 1950 MWe. Výstavba JE Temelín byla zahájena v roce 1987. První blok JE Temelín byl připojen do sítě 21.12. 2000 a druhý blok byl připojen 29.12. 2002. I na JE Temelín byly provedeny úpravy projektu vedoucí k navýšení výkonu a instalovaný výkon obou bloků dosahuje 2026 MWe. Z Obr. 1.4 je vidět, že podíl vyrobené elektrické energie z jaderných elektráren v České republice dosahuje 33%. [2]



Obr. 1.4 Podíl produkce jaderných elektráren v České Republice [1]

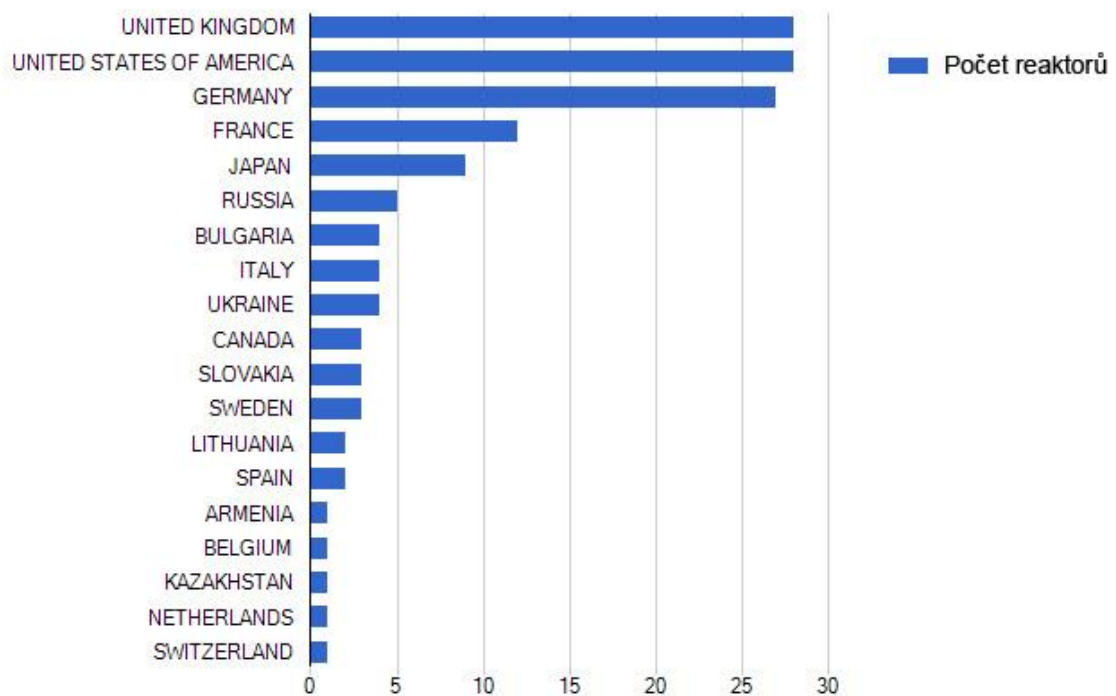
V současné době jednotlivé státy světa realizují výstavbu 62 nových jaderných reaktorů. Předpokládaný instalovaný výkon nově budovaných elektráren má dosáhnout cca 59 GWe. Jak je vidět z Obr. 1.5, nejmasivněji probíhá rozvoj jaderné energetiky v Číně. [1] Rusko hodlá do roku 2020 vybudovat 22 nových tisícimegawatových reaktorů. Mezi státy, které chtějí pokračovat v rozvoji jaderné energetiky patří i Česká republika. Společnost ČEZ a.s. na podzim roku 2011 vypsal výběrové řízení na dostavbu JE Temelín. Termín zaslání nabídek kvalifikovaných kandidátů na dostavbu třetího a čtvrtého bloku JE Temelín je 2.7. 2012. [4]



Obr. 1.5 Počet jaderných reaktorů ve výstavbě [1]

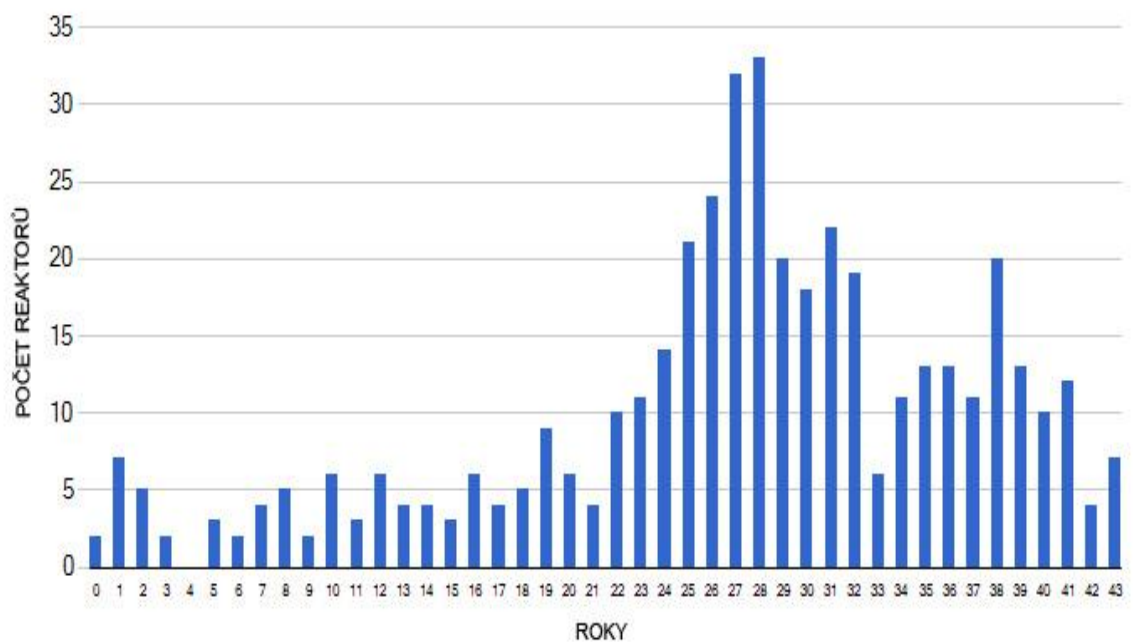
V minulosti postupně docházelo k odstavení jednotlivých jaderných elektráren z provozu. Mezi nejčastější důvody patří dosažení životnosti zařízení (především tlakové nádoby reaktoru), mezi méně časté patří například havárie (Černobyl, Fukušima) nebo politické rozhodnutí (Rakousko - Zwentendorf, Německo). Celkový počet jaderných elektráren vyřazených z provozu ve světě je uveden na obr. 1.6. [5]

Jaderná elektrárna Zwentendorf, jenž měla mít jeden reaktor, s výkonem 730 MW, nebyla nikdy zprovozněná a nachází se v Rakousku poblíž města Zwentendorf an der Donau. Je někdy označována jako pomník jaderné energetiky v Rakousku („Atomkonserve Zwenti“). [6]



Obr. 1.6 Počet jaderných reaktorů dlouhodobě vyřazených z provozu [1]

Z následujícího Obr. 1.7 je zřejmé, že většina provozovaných reaktorů dosahuje druhé poloviny životnosti, je provozována více než 20 let. S určitou mírou nepřesnosti se tudíž nechá konstatovat, že většina provozovaných jaderných elektráren se nachází v druhé polovině jejich životnosti.



Obr. 1.7 Počet jaderných reaktorů v závislosti na stáří (době provozu) [1]

S ohledem na "dožívání" některých jaderných reaktorů a na nedávné události ve Fukušimě, které podstatnou mírou ovlivnily veřejné mínění a politické rozhodnutí o osudu jaderných elektráren, je téma jejich vyřazování z provozu velice aktuální. Například Německo plánuje vyřazení všech 22 jaderných elektráren na svém území do roku 2022 a některé další evropské státy odstoupily od záměru výstavby jaderných elektráren. [4]

1 Důvody tvorby rezervy na vyřazování JE z provozu

„V České republice dozor a státní správu při využívání jaderné energie a ionizujícího záření oblasti radiační ochrany a v oblasti jaderné, chemické a biologické ochrany vykonává Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Jeho působnost je stanovena zákonem č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření zákonem č. 19/1997 Sb., a zákonem č. 281/2002 Sb.“ [7]

Ve světě se metodologie odhadu nákladů na vyřazování JE z provozu během posledních 25 let postupně vyvíjela. Z počátku byly využívány zkušenosti získané při vyřazování menších zařízení a postupem času se metodologie rozvíjela i o zkušenosti z velkých jaderných zařízení. Odhady nákladů byly postupně strukturovány a upřesňovány pro jednotlivé skupiny činností, jako například náklady na dekontaminaci jednotlivých zařízení, jeho rozebrání, přepracování, přípravu na přepravu, přepravu a jejich finální uložení. Přístupy k vyřazování zařízení a členění souvisejících nákladů se v jednotlivých státech liší, jako příklad uvádím dělení nákladů : [7]

1. na přípravnou fázi (před vlastním zahájením vyřazování z provozu)
2. na fázi finálního odstavení
3. nákup potřebného zařízení a materiálu
4. demontáž zařízení a objektů
5. zpracování odpadů, jejich skladování a konečné uložení
6. fyzická ochrana, kontrola a údržba
7. obnova lokality, úklid a zahradní úpravy
8. řízení projektu, inženýrské činnosti
9. výzkum a vývoj
10. jaderný materiál, včetně paliva
11. další náklady

Vyřazování jaderného zařízení je spojeno s nemalými investicemi. Na provozovateli i po ukončení provozu JE zůstávají závazky týkající se likvidace radioaktivních odpadů, vyhořelého paliva a vyřazení JE z provozu. Aby byl schopen těmto závazkům dostát, bude muset provozovatel vynaložit obrovský objem finančních prostředků, které musejí být vytvořeny již během provozu JE. Tyto finanční prostředky pak musí být dostupné v potřebném čase a objemu. Protože ze zákona stát (AZ, § 25) ručí za bezpečné ukládání všech radioaktivních odpadů, ukládá držitelům povolení odvádět za tímto účelem peněžní prostředky na tzv. "jaderný účet", který spravuje ministerstvo financí. [7]

1.1 Tvorba rezervy na vyřazování jaderného zařízení z provozu

Atomový zákon v §18, odst. 1, písm. h) ukládá držiteli povolení povinnost vytvářet rezervu na vyřazování jaderného zařízení z provozu. Povinnost vytvářet rezervu na vyřazování jaderného pracoviště nebo zařízení III. nebo IV. kategorie z provozu vzniká, když je odhad nákladů na vyřazování větší než 300 000 Kč. Tato povinnost se nevztahuje na zákonem definované instituce a státní složky. V případě, že odhad celkových nákladů na

vyřazování přesáhne 1 mld. Kč, je držitel povolení povinen ukládat peněžní prostředky ve výši této rezervy na vázaný účet u banky v České republice. [8]

Výše odvodů se stanoví na základě předpokládaných nákladů na činnosti zajišťované SÚRAO a podílu jednotlivých původců na celkovém vzniku radioaktivních odpadů. Odvody se platí zálohově měsíčně a u provozovatelů jaderných elektráren je výše odvozena od roční výroby elektrické energie a je měřená na svorkách generátoru. [9]

Prostředky na jaderném účtu lze použít pouze pro účely stanovené Atomovým zákonem. Výši a způsob odvádění finančních prostředků na jaderný účet stanovuje vláda České republiky svým nařízením na základě návrhu Ministerstva průmyslu a obchodu.

1.1.1 Platby ČEZ na jaderný účet

Ze skutečné výroby ČEZ platí 50 Kč/MWhvyr svých JE Dukovany a Temelín formou měsíčních plateb, jež jsou daňově uznatelnými položkami. ČEZ je dominantním plátcem na JÚ a dle IAS ČEZ tvoří rezervu na financování trvalého uložení použitého jaderného paliva a radioaktivitou zasažených částí zařízení. Pro stanovení výše rezervy se předpokládá platba 50 Kč/MWh po dobu celého 40-letého provozu JE. [10]

Pozn. : „40-letý provoz - vychází z projektové životnosti. Podle stavu zařízení (dáno údržbou a zejména výsledky testů materiálu tlakové nádoby reaktoru) může být, po posouzení podkladů provozovatele a souhlasném stanovisku SÚJB, JE provozována více než 40 let.“ [10]

Od novely AZ, ČEZ vytváří daňově uznatelnou rezervu na vyřazení provozovaných jaderných zařízení formou převodu finančních prostředků na blokovaný účet v bance. Pro banku je stanoven minimální rating, úroky z vkladů tohoto účtu jsou příjmem rezervy (navyšují rezervu). ČEZ tak vytváří finanční prostředky na vyřazení svých jaderných zařízení z provozu, tzn. zejména obou provozovaných jaderných elektráren a skladů VJP v obou lokalitách. Čerpání z blokovaného účtu povoluje SÚRAO. [10]

ČEZ, a. s., tvoří zákonnou rezervu pro zajištění vyřazování EDU z provozu ve výši 165,420 mil. Kč ročně. Na vyřazování ETE z provozu je tvořena roční rezerva ve výši 160,494 mil. Kč. Na vyřazování meziskladu vyhořelého paliva je tvořena roční rezerva ve výši 0,180 094 mil. Kč. Od roku 2006 je také tvořena rezerva na vyřazování skladu vyhořelého paliva Dukovany ve výši 0,1 84 328 mil. Kč ročně. [10]

Elektrárenská společnost ČEZ: [10]

- za účetní období 2010 deponovala na jaderný účet v souladu s nařízením vlády č. 416/2002 Sb. odvod ve výši 1 399,912 mil. Kč a celkem, od roku 1997 zaplatila na jaderný účet cca 13 219 mil. Kč,
- vytvořila rezervu na vyřazování jaderných zařízení ve výši 6 252,588 mil. Kč (z toho výše rezervy vytvořené pro vyřazování EDU je 4 680,779 mil. Kč, pro ETE je ve výši 1 569,649 mil. Kč, 1,422 mil. Kč pro MSVP Dukovany a 0,737 mil. Kč pro SVP Dukovany); vázané finanční prostředky k 31. 12. 2009 činí 6 953,802 mil. Kč,
- vytvořila interní rezervu na skladování VJP ve výši 7 986,140907 mil. Kč (z toho pro skladování VP EDU 6 533,882 121 a pro skladování VP ETE 1 452,258 786 mil. Kč).

1.1.2 Odvody původců radioaktivních odpadů na jaderný účet

„SÚRAO může plnit beze zbytku své zákonné povinnosti a zajistit bezpečné uložení všech radioaktivních odpadů pouze za předpokladu aktivní spolupráce se všemi partnery. Takovými partnery jsou především původci radioaktivních odpadů, kteří jsou podle zákona č. 18/1997 Sb. (Atomový zákon) definováni jako vlastníci radioaktivních odpadů, případně jiná právnická nebo fyzická osoba, která nakládá s věcí vlastníka tak, že v důsledku její činnosti vznikají radioaktivní odpady. Mezi původce jsou zahrnovány i osoby, kterým radioaktivní odpady vzniknou až po ukončení provozu, resp. při vyřazení jejich zařízení či pracoviště z provozu.“ [9]

Většinou jde o žadatele s příslušným povolením SÚJB k činnostem spojeným s nakládáním s radioaktivními látkami. Může se ale stát, že osoby, které povolení SÚJB nemají, se v důsledku různých okolností stanou vlastníky radioaktivních odpadů. [9]

Kromě odvodů placených původci radioaktivních odpadů pocházejících z provozu jaderných reaktorů SÚRAO spravuje i odvody původců malého množství RAO. Tito původci jsou zaevidováni u SÚRAO a poukazují stanovenou finanční částku jednorázově až po převzetí RAO k uložení nebo skladování. Výše odvodů je určena rozhodnutím ředitele SÚRAO na základě nařízení vlády č. 416/2002 Sb. [9]

1.1.3 Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO)

Za účelem naplnění legislativních požadavků, tzn. činností spojených s ukládáním radioaktivních odpadů, Ministerstvo průmyslu a obchodu zřídilo Správu úložišť radioaktivního odpadů (SÚRAO). Jejím posláním je zajišťovat na území České republiky bezpečné ukládání radioaktivních odpadů. Její činnost je především financována z prostředků jaderného účtu, roční rozpočet schvaluje vláda. [9]

„Mezi činnostmi SÚRAO podle § 26, odst. 3, písm. f) patří vypracování návrhů na stanovení odvodů plátců na jaderný účet a podle písm. h) kontrola vytvářené rezervy a schvalování čerpání z této rezervy. Tímto ustanovením zákona je zajištěno, že provozovatel nepoužije peníze z JÚ na jiný účel, než na vyřazení jaderného zařízení z provozu.“ [9]

Zaevidování provozovatele jaderného zařízení u SÚRAO a ověření provozovatelem jaderného zařízení předložených nákladů na vyřazení jaderného zařízení z provozu u SÚRAO je jednou z kontrolovaných podmínek pro povolení SÚJB k zahájení jednotlivých etap uvádění jaderného zařízení do provozu (spouštění). [9]

SÚRAO je podle AZ povinna vést evidenci převzatých radioaktivních odpadů a jejich původců. Držitelé povolení SÚJB jsou povinni vypracovávat údaje o krátkodobé a dlouhodobé tvorbě radioaktivních odpadů, vyhořelého jaderného paliva a následně s dalšími podklady je předávat na SÚRAO, z nichž se stanoví výše a způsob odvádění prostředků na jaderný účet. [9]

1.1.4 Služby SÚRAO původcům radioaktivních odpadů

Služby poskytované původcům radioaktivních odpadů, kteří musejí naplnit zákonné povinnosti zajišťuje SÚRAO v těchto případech : [9]

- „zanesení do evidence původců radioaktivních odpadů
- vydání ověření odhadu nákladů na vyřazování jaderného zařízení či pracoviště III. nebo IV. kategorie z provozu
- kontrola tvorby rezerv na vyřazování z provozu
- předání radioaktivních odpadů k uložení nebo skladování
- správa odvodů na jaderný účet
- poskytování informací a služeb v oblasti nakládání s radioaktivními odpady (např. Zkušebna obalových souborů)“

1.1.5 Přebírání radioaktivních odpadů k uložení

Přebírání radioaktivních odpadů se řídí podmínkami přijatelnosti k uložení, nebo skladování. V současné době SÚRAO přebírá většinou upravené odpady nebo uzavřené radionuklidové zářiče, ve výjimečných případech nebo na základě rozhodnutí SÚJB (§ 31, odst. 4), převezme neupravené odpady. Nespĺňují-li některé radioaktivní odpady podmínky přijatelnosti k uložení, SÚRAO na náklady původce zajistí úpravu takových odpadů do formy splňující podmínky přijatelnosti na úložiště nebo bezpečné skladování takových odpadů do vytvoření podmínek pro konečné řešení (dle současné koncepce do začátku provozu hlubinného úložiště pro vysokoaktivní odpady a vyhořelé jaderné palivo). [9]

Dle AZ uzavře SÚRAO s každým původcem radioaktivního odpadu smlouvu o převzetí radioaktivního odpadu, v níž je uvedeno místo a podmínky dodání zásilky s odpady, způsob přejímky a úhrada nákladů za uložení radioaktivních odpadů. [9]

V souladu s legislativou (AZ, § 31. odst. 6), radioaktivní odpady okamžikem převzetí SÚRAO od jejich původce přecházejí do vlastnictví státu. Předání a převzetí radioaktivních odpadů si původce a SÚRAO navzájem písemně potvrdí.

1.2 Legislativní rámec vyřazování jaderného zařízení z provozu

Vyřazování JZ z provozu je v České republice upraveno atomovým zákonem a jeho prováděcí vyhláškou č. 185/2003 Sb., o vyřazování jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie z provozu, jakož i vyhláškou SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně.

Podle atomového zákona je vyřazování JZ z provozu jednou z činností souvisejících s využíváním jaderné energie a definuje vyřazování jako činnosti, jejichž cílem je uvolnění jaderných zařízení nebo pracovišť, na kterých se vykonávaly radiační činnosti, k využití pro jiné účely. SÚJB pak vydává povolení k umístění jaderného zařízení, jednotlivým etapám jeho uvádění do provozu, provozu a následně i k jeho vyřazení z provozu. Podle § 3 AZ, SÚJB schvaluje i zákonem požadovanou dokumentaci k předmětným žádostem o povolení. [7]

Příprava k vyřazování z provozu probíhá v každé etapě životního cyklu JZ: [7]

- „*Dokumentace pro povolení umístění JZ musí v zadávací bezpečnostní zprávě obsahovat návrh koncepce bezpečného ukončení provozu.*
- *Dokumentace pro povolení výstavby JZ musí v předběžné bezpečnostní zprávě obsahovat koncepci bezpečného ukončení provozu a vyřazení z provozu povolaného zařízení nebo pracoviště, včetně likvidace RAO.*
- *Součástí dokumentace pro povolení jednotlivých etap uvádění JZ do provozu pro první zavezení jaderného paliva do reaktoru je i dokumentace, která musí obsahovat také Úřadem schválený návrh způsobu vyřazování z provozu, jakož i odhad nákladů na vyřazování z provozu ověřený SÚRAO.*
- *Dokumentace pro povolení provozu JZ musí obsahovat SÚJB schválený návrh způsobu vyřazování z provozu a odhad nákladů na vyřazování ověřený SÚRAO.*
- *Rozsah a způsob provedení SÚJB schvalovaného návrhu způsobu vyřazování stanoví vyhláška SÚJB č. 185/2003 Sb. Podmínkou k vydání povolení k vyřazování je hodnocení vlivu vyřazování na ŽP, jestliže tak stanoví zvláštní právní předpis (zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na ŽP a o změně některých souvisejících zákonů). Žadatel je povinen se žádostí o vyřazování z provozu předložit požadovanou dokumentaci.“*

1.3 Proces vyřazování jaderného zařízení u ČEZ

Problematika přípravy dokumentace vyřazování je u držitele povolení ČEZ zajišťována stálým víceprofesním pracovním týmem složeným z odborníků Divize výroba a správa, jejichž znalosti a zkušenosti mohou být využity při přípravě vyřazování. Z hlediska organizačního uspořádání jsou členy týmu zástupci útvarů palivový cyklus, bezpečnost, centrální inženýring a analytická podpora divize výroba. Tým pokrývá technické, finanční, investiční a organizační otázky vyřazování, včetně problematiky zajišťování odpovídajících lidských zdrojů. Ustavení týmu a veškeré činnosti prováděné v této oblasti se uskutečňují v souladu s požadavky na zabezpečení jakosti přijatými v ČEZ a zakotvenými v programu zabezpečování jakosti pro jaderné aktivity.

1.3.1 Možný postup pro vyřazování jaderného zařízení

Je nutné, aby byly všechny kroky a veškerý pohyb materiálu zpětně dohledatelný, proto se při realizaci jednotlivých kroků vyřazování nesmí opomenout ani podrobná evidence, při využití speciálně vyvinutého SW a za podpory dalších funkcionalit informačních systémů. [10]

Neopominutelnou součástí vyřazování JZ zařízení je i ostraha lokality (dáno legislativou) tak i komunikace záměru se zaměstnanci a okolím elektrárny. Ukončením provozu dochází ke ztrátě zaměstnání a nepříznivému dopadu na region (zvýšení nezaměstnanosti, ztráta příležitostí pro firmy). Komunikace by měla být vedena tak, že dojde k vytvoření jiných pracovních pozic a příležitostí. [13]

Pro všechny součásti fyzického a radioaktivního inventáře je na prvním místě zanesení jejich údajů do databáze vyřazování. U bloků VVER se podle specializovaných odhadů jedná o cca 700 000 tun materiálu. Pomocí této SW databáze bude možné zpracovat dokumentaci potřebnou pro vyřazování, včetně harmonogramu vyřazování. Dodržování zpracované dokumentace a včasná eliminace rizik je nutným předpokladem úspěšné logistiky vyřazování. [10]

Jednotlivé kroky vyřazování:

1. Konečné odstavení. V této fázi je připravena veškerá potřebná dokumentace (např. bezpečnostní zpráva, předpisy (včetně předpisů pro řešení abnormálních stavů), zhodnocení dopadu na životní prostředí, radiační monitorovací program atd.), je provedena kategorizace veškerého zařízení a zásob, stavebních objektů a při provozu vzniklých odpadů (včetně vyhořelého paliva). Jsou zajištěny veškeré potřebné zdroje (finanční, materiální, inženýrské a lidské). [13]
2. Odstranění radioaktivních zdrojů včetně kapalin. V této fázi je odstaveno veškeré nepotřebené zařízení, zařízení a systémy jsou zdrenážovány a odpojeny od ostatní technologie (navazující systémy, média, elektřina, systémy řízení atd.). Palivo je z reaktoru převezeno do bazénu vyhořelého paliva (BSVP), část paliva dříve uložená do BSVP je převezena do skladu vyhořelého paliva v areálu JE, vypuštěná radioaktivní média jsou přepracována. Převoz vyhořelého paliva a radioaktivního materiálu je i v rámci lokality prováděn v obalových souborech (kontejnerech). Předpokládá se, že na jeden blok VVER bude potřeba přibližně 100 000 kusů kontejnerů. [10]. Každý obalový soubor musí mít vlastní plán zpracování, včetně odpovídajícího zajištění během přepravy, informování a souhlasu orgánů státní správy, radiační kontroly a evidence izotopické aktivity souboru. [11]
3. Dekontaminace, demontáž a sanace. V této fázi je zařízení dekontaminováno na nejnižší možnou úroveň, dekontaminace probíhá podle schválených předpisů a za soustavného monitorování radiační situace. V souladu se schválenou dokumentací a harmonogramem probíhá demontáž nepotřebného zařízení a systémů. Zároveň probíhá třídění a kategorizace veškerého zařízení a podle kategorie i odvoz zařízení buď k likvidaci, nebo dalšímu využití. Radioaktivní materiál a média mohou být dále přepracována, a jsou na lokalitě připravena k transportu a skladována do doby transportu na konečné úložiště. Po uplynutí doby potřebné pro skladování vyhořelého paliva v BSVP, je veškeré palivo převezeno do skladu vyhořelého jaderného paliva na lokalitě a BSVP je vypuštěn, voda bazénu je dále přepracována a po dekontaminaci BSVP dojde rovněž k jeho demontáži. Vyhořelé palivo, po uplynutí stanovené doby skladování, je ze skladu vyhořelého jaderného paliva na lokalitě postupně převáženo do finálního úložiště. [13]
4. Okamžitá nebo odložená demontáž staveb, sanace. V závislosti na schváleném postupu vyřazování mohou být stavební objekty demontovány hned po demontáži a odvozu veškerého zařízení z budovy. V souladu se schválenou dokumentací postupu vyřazování, mohou být takto uvolněné budovy využity pro další činnosti spojené s vyřazováním, nebo mohou být budovy ponechány pro další využití provozovatelem. Někdy je třeba během demontáže změnit infrastrukturu budov (změněný rozvod elektřiny, změněné inženýrské sítě, změny ve stabilitě konstrukce budov, zabezpečovací a monitorovací systémy, dočasná úložiště demontovaných částí, střechy apod.), proto je

třeba se dívat na vyřazování jako celek, neboť likvidace bloku zahrnuje i výstavbu. Před každou demontáží budov, nebo před využitím pro další účely, musí být provozovatelem prokázáno, že nejsou z pohledu dalšího postupu překročeny přípustné hodnoty radiační zátěže. Podle harmonogramu demontáže budov dochází i rekultivaci (jak technické (terénní úpravy), tak i biologické (navezení ornice u sadbové úpravy)). [13]

1.4 Dlouhodobé "jaderné" závazky České republiky dle platné legislativy

„Závazek je obecně definován jako zodpovědnost, povinnost nebo břímě, stav osoby, kdy je vázána zákonem učinit něco, co může být podle práva vymáháno. Pokud se z tohoto pohledu podíváme na povinnosti provozovatele JE, je základní zákonnou normou v České republice zákon 18/1997 sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (Atomový zákon, AZ) v platném znění (ve znění pozdějších novel) a související vyhlášky a nařízení, které podrobněji rozpracovávají základní ustanovení.“ [7]

Dle §25 AZ je stát povinen za stanovených podmínek ručit za bezpečné uložení všech RAO, stejně tak za jejich monitorování a kontroly úložišť. A zároveň je původce RAO povinen uhradit veškeré náklady spojené s jejich nakládáním od jejich vzniku až po jejich uložení, včetně monitorování úložišť po jejich uzavření a dále pak potřebných výzkumných a vývojových prací. [7]

Z výše uvedených základních principů vyplývají následující závazky provozovatele jaderné elektrárny: [7]

- Skladování vyhořelého paliva
- Skladování RAO
- Platby na jaderný účet za účelem budoucích nákladů státu na ukládání RAO a VJP
- Vyřazení jaderných zařízení z provozu

1.4.1 Skladování vyhořelého paliva z produkce jaderných elektráren v České republice

Zde jde především o náklady na výstavbu skladu VJP, jeho provoz a vyřazení z provozu, nákup skladovacích kontejnerů, pojištění jaderné zodpovědnosti, přepravu VJP k předání státu k uložení. Tyto náklady jsou hrazeny z provozního cash-flow ČEZ. Legislativa neumožňuje vytváření daňově uznatelné rezervy, ČEZ však tvoří na základě rozhodnutí společnosti účetní rezervu ze zisku (rezerva je určitá nespécifikovaná část aktiv společnosti). Rozhodným okamžikem pro vznik závazku skladovat palivo je jeho zavezení do aktivní zóny reaktoru. Dle IAS ČEZ vykazuje dostatečnou rezervu na dočasné skladování VJP a ostatního RAO. [12]

Tab. 1.1 Využití skladů vyhořelého paliva v jaderných elektrárnách Dukovany a Temelín [10]

Lokalita	Název Zařízení	Počet uskladněných PS [KS]	Hmotnost uskladněných PS [t TK]
JEDU	BVP 1. reaktorový blok	584	70
	BVP 1. reaktorový blok	613	74
	BVP 1. reaktorový blok	538	65
	BVP 1. reaktorový blok	559	67
	MSVP	5040	600
	SVJP	1260	144
JETE	BVP 1. reaktorový blok	478	228
	BVP 1. reaktorový blok	307	146,5
	SVJP	19	9,1

1.4.2 Skladování radioaktivního odpadu z produkce jaderných elektráren v České republice

Radioaktivní odpady z normálního provozu obou jaderných elektráren jsou průběžně upravovány a ukládány v povrchovém úložišti v areálu ÚRAO Dukovany. S přihlédnutím k ekologickým a ekonomickým podmínkám JE je zneškodňování radioaktivních odpadů v tomto úložišti optimální variantou splňující základní cíl - izolaci od životního prostředí do doby podstatného samovolného snížení radioaktivity. Ukládání v úložišti je podmíněno úpravou radioaktivních odpadů do formy vhodné pro uložení. [10]

Kapalné RAO jsou po sedimentaci a zahuštění dočasně skladovány jako radioaktivní koncentrát. Následně jsou upravovány bitumenací do formy vhodné pro uložení. Provoz bitumenačních linek je organizován tak, aby nebyl překročen povolený objem skladovaných koncentrátů a aby existoval dostatečný volný objem ve skladovacích nádržích koncentrátu. V JE Temelín to znamená zpracování celého objemu odpadních vod v několika kampaních v průběhu roku. V JE Dukovany umožňuje kapacita technologického zařízení zpracovávat vyšší objemy koncentrátů, než jsou objemy nově vznikající, takže celkové množství skladovaných koncentrátů pozvolně klesá. [10]

Pevné RAO jsou systematicky tříděny a měřeny. Část odpadů s obsahem radionuklidů pod uvolňovací úrovní je kontrolovaně uváděna do životního prostředí. Zbývající odpady jsou zpracovávány, upravovány, charakterizovány a následně ukládány do úložiště ÚRAO. Pro finální úpravu lisovatelných RAO se používá drcení a následné lisování, spalitelné odpady jsou spalovány v externí spalovně mimo území ČR. Radioaktivní kaly a znehodnocené sorbenty jsou skladovány ve skladovacích nádržích. V současnosti probíhá ověřování technologií pro úpravu těchto druhů odpadů. [10]

2 Náklady na vyřazování jaderné elektrárny z provozu

Vzhledem k tomu, že náklady na vyřazování se odhadují už při projektování výstavby JE a většina těchto nákladů bude potřeba vynaložit až po dlouhém období provozu JE, je téměř nemožné odhadnout jejich přesnou hodnotu. Vzhledem k tomu, že každá země různé podmínky (počet a druh JZ, počet provozovatelů JZ, legislativa), tak existuje několik různých metod. [14] Zároveň záleží na zvolené strategii vyřazování JZ z provozu které se dělí do třech skupin: [15]

1. Okamžité vyřazování
2. Odložené vyřazování
3. Konzervace

Zvolená strategie se často liší i uvnitř jednotlivých členských států EU. Jedná se zejména o významné rozdíly v době odkladu, nebo průběhu okamžitého vyřazování. V některých členských státech se strategie okamžité likvidace provádí během relativně dlouhého období (Itálie, Francie), nejdelší doba odkladu je pak plánována pro plynem chlazené reaktory ve Velké Británii. V tomto případě by došlo ke konečné sanaci místa 130 let po uzavření závodu (v současné době je však zvažována možnost zkrácení doby odkladu na 25 let). Česká republika, Maďarsko a Nizozemsko si zvolily strategii odložené likvidace. [14]

Ačkoliv se metoda konzervace považuje za jednu z variant, není plánována pro žádné jaderné zařízení v EU. [15]

2.1 Metody odhadu nákladů v České republice

Jak již bylo řečeno, Česká republika zvolila strategii odloženého vyřazování JZ z provozu. [16]

Pro odhad finančních nákladů je využita tzv. deterministická metoda. Tato metoda je založena na standardizovaném členění práce, katalogových cenách, příslušných cenících dodavatelských firem a expertních odhadech. Expertní odhady mohou vycházet z předchozích zkušeností získaných při vyřazování JZ dané země nebo ze zkušeností jiných zemí. Protože v České republice vyřazování JZ doposud nebylo realizováno, jsou informace o odhadech nákladů na vyřazování čerpány i ze zkušeností jiných zemí (včetně Slovenské republiky). [16]

Česká republika využívá k identifikaci nákladových položek metodu „Standard List“ [21], který vytvořili OECD/NAE a IAEA pro evropskou komisi v roce 1999. Tyto nákladové položky musejí být každých pět let aktualizovány, jejich přezkoumání a následné schválení má na starost SÚRAO. [17]

Náklady jsou zde rozděleny do několika kategorií: [17]

- Náklady na aktivity před vyřazováním
- Náklady ukončení provozu jaderného zařízení

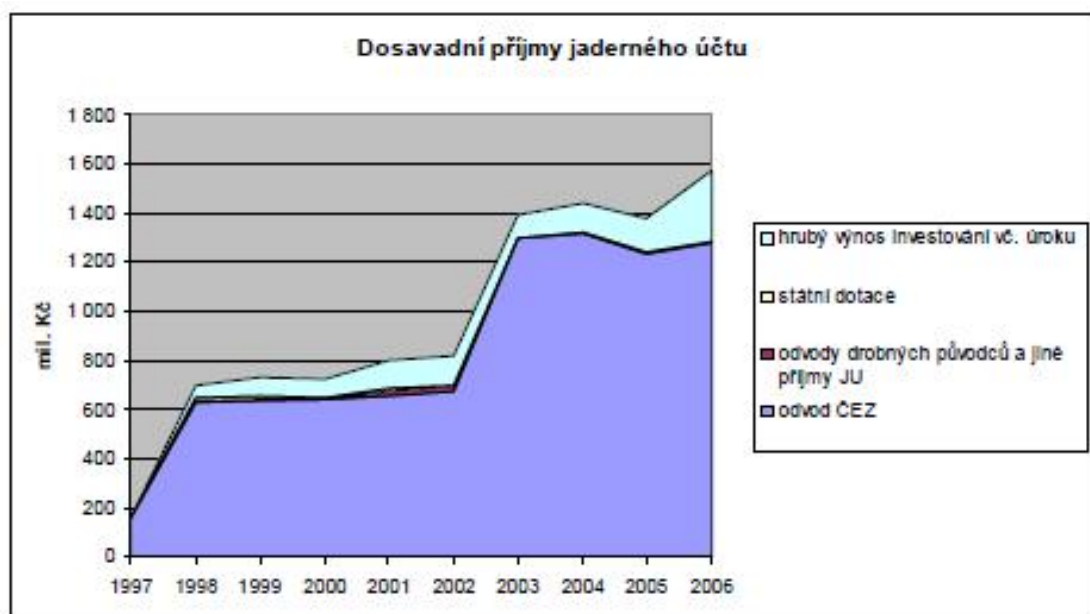
- Náklady na zásobování (dodání materiálů a potřebného zařízení)
- Náklady na demontáž
- Náklady na skladování a likvidaci odpadů
- Náklady na údržbu, zajištění bezpečnosti a ochranu
- Náklady na uvedení krajiny do původního stavu či na úpravu dané oblasti
- Náklady na inženýrské služby a projektový management
- Náklady na výzkum
- Náklady na pohonné hmoty
- Ostatní náklady

Tab. 2.1 Celkové odhadované náklady na vyřazování z provozu jaderné elektrárny Dukovany a Temelín[17]

	Celkový odhad nákladů na vyřazování	Odhad nákladů na kWe
JE Dukovany (1760MWe)	580 000 000 EUR (ceny roku 2003)	329,5 EUR/kWe
JE Temelín (2000MWe)	480 000 000 EUR (ceny roku 2004)	240 EUR/kWe

2.1.1 Jaderný účet

Platby na jaderný účet probíhají dle kapitoly 1.1.1 . Na obr. 2.1 je vidět stav a průběh jaderného účtu k roku 2006.



Obr. 2.1 Vývoj příjmů jaderného účtu do r. 2006 [36]

2.1.2 Výpočet stanovení odvodu na jaderný účet

Základními vstupy pro stanovení odhadu nákladů na vyřazování, neboli na jaderný účet, jsou odhady nákladů na: [17]

- výzkum a vývoj,
- výstavbu, provoz a vyřazení úložiště
- předpokládaný provoz JE do konce plánované životnosti.

Ve ekonomickém výpočtu se zohledňuje očekávaný nárůst cenových hladin, to znamená tzv. eskalace nákladů. Lze očekávat, že odvod se bude průběžně zvyšovat dle vztahu: [17]

$$R_{eff} = R_{base} \prod_{n=1}^{n=T} (1 + D_n)$$

kde:

R_{eff} - výše odvodu v daném roce ($t = 1..T$, kde T je poslední rok posuzovaného období)

R_{base} - sazba odvodu v 1. roce

D_n - meziroční navýšení odvodu.



Obr.2.2 Příjmy výdaje a zůstatek na jaderném účtu a vliv inflace na reálný výnos[36]

2.2 Metody odhadu nákladů u ostatních zemí Evropské unie

2.2.1 Metody odhadu nákladů ve Velké Británii

Strategií Velké Británie pro vyřazování JZ je odložené vyřazování. Pro odhad nákladů na vyřazování JZ se ve Velké Británii používá metoda LCBL (life cycle baseline). Metoda rozděluje životní cyklus JZ do jednotlivých etap, ve kterých jsou popsány potřebné činnosti a s nimi spojené odhady nákladů na vyřazování JZ z provozu. Tyto etapy představují část celkového závazku, jejich sečtením získáme celkový odhadovaný závazek na vyřazování daného JZ. LCBL se provádí zvlášť pro každé JZ, poté se mezivýsledky sečtou a celkový výsledek je sumární odhad nákladů na vyřazování všech JZ dané země. Z důvodu postupného získávání dat, musí být LCBL každoročně aktualizována. [15], [19]

Tab. 2.2 Celkové odhadované náklady na vyřazování z provozu jaderných elektráren na území Velké Británie [21]

	Celkový odhad nákladů na vyřazování	Odhad nákladů na kWe
Jaderné elektrárny ve vlastnictví BE (8 JE s celkovým výkonem 9 892 MWe)	12 900 000 000 EUR	1 304 EUR/kWe
Jaderné elektrárny ve vlastnictví NDA (celkový výkon 4 576 MWe)	21 886 000 000 EUR (ceny roku 2005)	4 778 EUR/kWe

2.2.2 Metody odhadu nákladů ve Francii

Původně zvolenou strategií ve Francii bylo odložené vyřazování JZ z provozu. V roce 2003 ale došlo ve Francii k přechodu na strategii okamžitého vyřazování JZ z provozu. Na základě zpracované studie institutem ve Wuppertalu, Francie dospěla k názoru, že se jedná o neefektivnější metodu vyřazování JE z provozu. Náklady na okamžité vyřazení jsou, podle této studie, až o 15% nižší než náklady spojené s odloženým vyřazením JZ z provozu. [20]

Francie při odhadu nákladů využívá upravené deterministické metody odhadu nákladů na vyřazování JZ z provozu. Jedna z metod je založena na přístupu, kdy náklady na vyřazení jsou odhadovány a porovnávány na základě již realizovaných projektů vyřazení JZ z provozu. Další, i ve světě hojně využívanou úpravou deterministické metody vyřazování JZ z provozu, je porovnávání odhadu nákladů na vyřazení JZ z provozu a celkových nákladů na výstavbu JZ. Tento poměr činí až 15%. [21]

Celkové náklady lze rozdělit na : [21]

nákladů jaderných činností	51 %
nákladů spojených s odpady	18 %
nákladů na demoliční práce	9 %
inženýrských nákladů	9 %
nákladů souvisejících s ukončováním provozu	7 %
nákladů vyplývajících z nutnosti provádění kontrol	6 %

Všechny náklady spojené s vyřazováním JZ z provozu jsou diskontovány a pro výpočet se používá jejich současná hodnota. Proto se zavádí tzv. diskontní míra, která činí přibližně 3% a zároveň se musí do výpočtu promítnout i inflace. Po sečtení inflace a diskontní míry pak dostaneme tzv. velikost nominální diskontní míry.

Každý rok pak ve Francii dochází k přehodnocování nákladů na vyřazování JZ z provozu sestavenou komisí a každé 3 roky musí zpracovaná analýza projít schvalovacím řízením. [16]

Tab. 2.3 Celkové odhadované náklady na vyřazování z provozu jaderných elektráren na území Francie [21]

	Celkový odhad nákladů na vyřazování	Odhad nákladů na kWe
EDF JE (celkový výkon 63 363 MWe)	48 187 000 000 EUR (ceny roku 2006)	760 EUR/kWe

2.3 Porovnání odhadů nákladů na vyřazování jaderných elektráren v České republice, Francii a Velké Británii

Ve všech členských státech Evropské Unie se o strategiích vyřazování z provozu rozhoduje až po vyhodnocení řady faktorů, zohledňujících danou problematiku od dostupnosti, nákladů na uložení odpadů až po společenské důsledky. V některých členských státech rozhoduje o strategii vyřazení JZ vládní orgán, zatímco v jiných členských státech je rozhodnutí ponecháno na provozovateli, přičemž finální řešení musí být samozřejmě schváleno státními orgány.

Přestože z řady provedených posudků vyplývá (na rozdíl od studie zpracované v institutu Wuppertal), že výběr strategie má relativně malý dopad na celkové náklady. Ze zmíněných posudků pak vychází, že odložená likvidace neklade takové nároky na dostupné prostředky jako okamžitá likvidace JZ, která se provádí okamžitě po uzavření zařízení.

Je však bezpodmínečně nutné zajistit, aby zvolený způsob správy shromažďovaných finančních prostředků umožňoval uvolnit v kterýkoli okamžik potřebné množství těchto prostředků.

Aby bylo možné tuto oblast harmonizovat v rámci EU, pokoušely se mezinárodní

organizace několikrát srovnat odhady nákladů na vyřazení z provozu. Jejich snahy však dosud nebyly úspěšné. Rozdíl v odhadech nákladů v jednotlivých členských státech má své opodstatnění. Rozdíly jsou například dány náklady na pracovní sílu nebo stanovenými limity uvolňovacích úrovní RAO do životního prostředí v daném členském státě. Důvodem neúspěšné harmonizace v rámci EU je pak i to, že řada provozovatelů považuje své odhady závazků nebo výši získaných finančních prostředků nebo obojí za důvěrné a odmítá jejich zveřejnění. Odmítnutí nejčastěji odůvodňují tím, že se jedná o obchodní tajemství. [14]

Vzhledem k různorodosti JZ, přístupu jednotlivých členských států k metodě stanovení nákladů a volbě strategie vyřazování JZ z provozu, se pro potřeby alespoň přibližného objektivního porovnávání, odhadované náklady přepočítávají na jednu vyrobenou kWe.

Jako příklad se můžeme podívat na porovnání odhadovaných nákladů pro: [14]

- Česká republika 281,9 EUR/kWe
- Velká Británie (BE) 1304 EUR/kWe
- Francie 760 EUR/kWe

Z výše uvedených důvodů, tzn. neexistence jednotného přístupu ke stanovení nákladů na vyřazování JZ z provozu, není uvedené porovnání korektní. Například Česká republika na rozdíl od Francie, do nákladů na vyřazování JZ z provozu nezapočítává náklady na zpracování a uložení RAO. Nicméně Francie neuvádí jak velký procentní podíl nákladů na vyřazování JZ z provozu činí náklady na zpracování a uložení RAO. V případě Anglie není zřejmé, zda došlo k zahrnutí do nákladů na zpracování a uložení RAO i zpracování a uložení jaderného odpadu.

Z uvedených důvodů je pochopitelné, že ze strany EU je vyvíjen velký tlak na sjednocení a zprůhlednění přístupu členských států EU k problematice vyřazování JZ a s tím spojeného stanovování výše odhadovaných nákladů.

3 Radioaktivní odpad

Na jaderných elektrárnách RAO vznikají zejména kontaminací různých materiálů radionuklidy uvolňovanými v reaktoru. Hlavním zdrojem vzniku RAO je chladicí systém reaktoru a v menší míře bazény skladování vyhořelého paliva. Další radioaktivní odpady pak pocházejí z různých čistících a filtračních stanic, z prádelen a umýváren, případně z laboratoří. [34]

Zjednodušeně řečeno, za RAO se považují nevyužitelné odpadní látky a nepoužitelné předměty, které není možné pro zvýšený obsah radionuklidů vrátit zpět do životního prostředí. Za RAO je tedy považován je jakýkoliv kontaminovaný materiál, pro něhož se v budoucnu neplánuje další využití. [34]

Z pohledu legislativy se za RAO považuje takový odpad, jehož radioaktivita, z hlediska radiační bezpečnosti, neumožňuje jeho bezprostřední rozptýlení do životního prostředí. Produkce těchto odpadů nepochází pouze z jaderné energetiky, ale také z dalších odvětví průmyslu a zdravotnictví. [22]

Vyhláška SÚJB číslo 307/2002 Sb., týkající se radiační ochrany, rozlišuje následující kategorie RAO:

- Pevné
- Kapalné
- Plynné

Držitel povolení k nakládání s radioaktivními odpady předkládá jedenkrát za rok SÚJB dokument, který se nazývá hodnocení nakládání s RAO, jehož součástí jsou i návrhy na zlepšení (minimalizace tvorby RAO) a jejich realizace. Hlavní část minimalizace RAO spočívá v jejich třídění při jejich shromažďování a užití efektivních separačních metod. [22]

Z pohledu legislativy ještě dochází k podrobnějšímu dělení pevných RAO:

- Jako přechodné RAO jsou klasifikovány takové odpady, které po dlouhodobém skladování (maximálně 5 let) vykazují radioaktivitu nižší, než jsou uvolňovací úrovně. [22]
- Nízko a středně aktivní RAO se dále dělí na dvě podskupiny. Krátkodobé RAO, u nichž poločas obsažených radionuklidů je menší než 30 let (včetně ^{137}Cs) a u nichž je omezena hmotnostní aktivita dlouhodobých alfa zářičů (v jednotlivém OS maximálně 4000 kBq/kg a střední hodnotě 400 kBq/kg v celkovém objemu odpadů vyprodukovaných za kalendářní rok). Do podskupiny dlouhodobých odpadů jsou pak zařazovány ty odpady, které nepatří do podskupiny krátkodobých RAO. [22], [29]
- Jako vysokoaktivní RAO jsou klasifikovány takové odpady, u kterých musí být při jejich skladování a ukládání zohledněno uvolňování tepla z rozpadu radionuklidů v nich obsažených. [22], [29]

3.1 Zpracování a úprava radioaktivního odpadu

Cílem zpracování RAO je zmenšit objem odpadu, převést radioaktivní nuklidy do stabilní nerozpuštěné formy a uzavřít je do vhodných obalů, čímž by se mělo v budoucnosti zamezit případným únikům těchto látek do životního prostředí. [22]

Při zpracování odpadů se provozovatelé většinou řídí následujícími třemi hlavními zásadami: [22]

- snížení množství odpadů - je zejména vhodné u takových RAO, které mají velký objem ale nízkou aktivitu. V závislosti na druhu odpadů se ke snížení objemu používá odpařování, lisování, spalování atd.
- odstranění radionuklidů se provádí např. fyzikálně-chemickým oddělováním nebo zadržením odpadů po dobu, než se přítomné radionuklidy samovolně rozpadnou.
- změna složení odpadů - do úložišť není možné umístit nízko a středně aktivní odpady ve stavu v kterém vznikly. Proto je potřeba RAO vhodným způsobem zpracovat a vložit je do patřičných obalů, splňujících požadované vlastnosti.

3.1.1 Pevné radioaktivní odpady

Pevné RAO vznikají během provozu JE v kontrolovaném pásmu v důsledku kontaminace konstrukčních, pracovních a pomocných materiálů kapalnými RAO, nebo plynnými RAO a vznikají na JE zejména v období generálních oprav a rekonstrukcí. Nakládání s nízkoaktivním pevným RAO se skládá z řízeného sběru na místě vzniku, prvotního měření a třídění. Ze sběrných míst jsou transportovány do centrálního pracoviště zpracování PRAO (na BAPP). Odpad vyhovující kritériím stanoveným v rozhodnutí SÚJB je uváděn do životního prostředí (resp. ukládán na skládku odpadu). Radioaktivní odpad, který nelze uvolnit do životního prostředí, je organizovaně skladován v PE pytlích, resp. po nízkotlakém lisování ve 200 litrových pozinkovaných sudech ve skladovacích jímkách v BAPP [22].

Středně aktivní RAO (odpady nespĺňující kritéria pro uložení v ÚRAO, protože regenerují teplo), jsou organizovaně skladovány ve skladovacích prostorech pro radioaktivní předměty, jejich finální úprava a uložení bude řešeno v rámci vyřazování JE z provozu [22].

V současné době se předpokládá, že finální uložení vysokoaktivního RAO bude provedeno jeho uložení do hlubinného úložiště. Do jeho zprovoznění budou tyto materiály skladovány u původců nebo v zařízeních SÚRAO.

Zpracování a skladování vysokoaktivních odpadů a vyhořelého jaderného paliva je podstatně složitější. Například u použitých palivových souborů proces začíná vyvezením souboru z reaktoru do bazénu vyhořelého paliva umístěného na reaktorovém sálu. Zde se skladuje po dobu několika let a následně je uložen do kontejnerů a převezen do meziskladu vyhořelého paliva vybudovaného v areálu obou JE. Zde je vyhořelé palivo uloženo po dobu řádově desítek let. Podle současné koncepce, jeho finální uložení bude provedeno do hlubinného úložiště.

3.1.2 Kapalné radioaktivní odpady

Při provozu JE kapalné radioaktivní odpady pocházejí zejména z různých čistících a filtračních stanic, dekontaminace zařízení, z prádelen a umýváren a případně i z laboratoří.[34]

Cílem zpracování kapalných radioaktivních médií je zkoncentrování radioaktivních látek v nich obsažených do co nejmenšího objemu. Zlomek původního obsahu radioaktivních látek se dostává do přečištěných médií, které jsou v kontrolovaném pásmu JE opětovně využity. [34]

Přepřerování kapalných RAO je na JE prováděno na čistících stanicích. Jedná se o technologické zařízení, kde dochází k redukci objemu radioaktivních vod pomocí odpařování, chemického srážení, oddělování pevných částecí a iontové výměny. Zahuštěné kapalné odpady a sorbenty jsou následně skladovány v příslušných nádržích umístěných v budově pomocných a aktivních provozů (BAPP). [22], [24], [29]

Smyslem následné úpravy kapalných radioaktivních koncentrátů je jejich převedení do pevného skupenství (cementu, bitumenu, skla apod.), které je vhodné k trvalému uložení (ÚRAO).

Proto, v následující fázi likvidace koncentrátů radioaktivních odpadů a ionexů, dochází k fixaci tohoto odpadu do vhodného tužidla (např. bitumenu, kde dochází k zalití radioaktivního odpadu rozehrátou asfaltovou emulzí do 200 litrových sudů na tzv. bitumenační lince). [22]

V nedávné době bylo na obou JE úspěšně odzkoušeno zafixování kalů a ionexů do aluminosilikátové matrice (technologie SIAL) . [22]

3.1.3 Plynné radioaktivní odpady

Při provozu JE vznikají kromě kapalných a pevných RAO také plynné RAO. Plynné RAO jsou v JE z technologie odváděny odvodušňovacími a ventilačními systémy a dále jsou zpracovány k tomu určenými technologickými systémy (tzv. přečištění a zdržení). Při přečišťování je odfiltrována složka radioaktivních aerosolů, včetně radioaktivních jódů ve formě aerosolů (pomocí aerosolových a jodových filtrů). Při zdržení je postup proudu plynu zpomalen, dochází při něm k poklesu aktivity krátkodobých radionuklidů. [22], [24], [29]

Výsledkem zpracování plynných RAO je vznik pevných RAO a plynného média, které je po kontrole zda vyhovuje požadavkům na uvádění radionuklidů do životního prostředí, vypuštěno přes ventilační komíny do životního prostředí. [22]

3.2 Metody zpracování radioaktivních odpadů [24]

3.2.1 Kapalné radioaktivní odpady

- Odpařování přebytečné vody - je jednou z nejúčinnějších metod, jelikož odpařováním probíhá jednak dekontaminace a zároveň se redukuje objem radioaktivního odpadu. K redukci objemu dochází na tzv. odparkách. [24], [29]
- Oddělování pevných částic - tato metoda se provádí pomocí různých filtrů, nebo odstředivek. Lze využít i biologickou variantu, ta spočívá v umístění určitých mikroorganismů, které na sebe umějí navázat radionuklidy. [24]
- Chemické metody - Vysrážení radionuklidů po vzájemné srážce. Radionuklid se vysrážejí ve formě vloček na dno nádrže, stupeň dekontaminace však není příliš uspokojivý, proto se tato metoda používá ve spojení s dalšími metodami. [24], [29]
- Iontová výměna - na JE se používá při snižování radioaktivity vod zejména z primárního okruhu, bazénu pro skladování vyhořelého jaderného paliva a dočištění přepracovaných radioaktivních vod. Tuto dekontaminaci zajišťují výměnné iontové filtry (organické, anorganické), kdy dochází k zachycení radionuklidů. Použité filtry se mohou po určitou dobu regenerovat, pak jsou vyřazeny jako RAO. [24]
- Kombinace fyzikálně-chemické metody - metoda je založena na kombinaci absorpce, iontové výměny, elektrodialýzy a reversní osmózy. Je to nejpoužívanější metoda pro úpravu RAO. [24]
- Bitumenace - poměrně náročná úprava jak z technologického hlediska, tak finančního. Používají se různé asfaltové směsi, které jsou hořlavé a proto je nutné jejich ukládání do sudů. Redukce objemu je poměrně velká, faktor redukce je okolo 0,5. [29]
- Polymerace - používá se v případech, kdy nejde použít bitumenace a cementace, jelikož je velice nákladná. Probíhá zalitím do polyesteru, vinylesteru nebo epoxidové pryskyřice. Vznikají tvrdé a chemicky stabilní, málo vyluhovatelné materiály. [3]
- Fixační matrice SIAL - jedná se o dvousložkovou směs, které po vytvrnutí na sebe navazují nebezpečné látky. Je to obdoba cementace, ale výsledný materiál má lepší mechanické a chemické vlastnosti. [24], [29]
- Virtifikace - tuto metodu využívají především ekonomicky vyspělé země, je to velice finančně nákladná a technologicky náročná metoda. Jedná se o vytváření skleněné matrice z křemíkového a boro-křemičitanového skla. Nachází využití zejména pro vysokooaktivní RAO. Tepelnou odolnost je možné zvýšit tak, že se kapky skla obalí roztaveným olovem nebo hliníkem. Dochází k velké objemové redukci a výsledný produkt má výborné mechanické vlastnosti. [24], [29]

3.2.2 Zpracování pevných radioaktivních odpadů

Provozem jaderné elektrárny vznikají pevné RAO různých velikostí, proto se používají různé postupy pro zmenšení jejich objemu: [22], [24]

- Lisování - jedná se o nízkotlaké lisování (tlak v rozmezí 0,3 do 5 MPa). Používá se pro filtrační papír, polystyren, textilie a další. U těchto materiálů je možné dosáhnout velké redukce objemu, jedná se až o 15ti násobek původního objemu. Vysokotlaké lisování (tlak v rozmezí 5 až 35 MPa) se provádí u těžkolisovatelných materiálů jako jsou plechy, skla, plasty a další. Redukce objemu je až osminásobná. [24]
- Spalování v pecích - jedná se o spalování jak pevného, tak i kapalného RAO (až 80% odpadů je spalitelných). Při použití této metody dochází k velké redukci objemu. 97% radioaktivity zůstane v popelu a zbytek je zachycen speciálními filtry. Popel je následně pevně fixován, např. za pomoci cementace. Spalování je možné provádět buď spalováním s regulovaným přístupem vzduchu nebo ve fluidní peci. Při přetavování kovů, zůstávají těkavé látky ve strusce a radioaktivní nuklidy se eliminují teplotou. [24], [29]

3.2.3 Zpracování plyných radioaktivních odpadů

- Přečištění - jedná se o filtraci plynů na aerosolových a jodových filtrech.
- Pozdržení - metoda využívající zpomalení nebo dočasné přerušování proudu plynu. Jelikož se poločas rozpadu obsažených radioaktivních částic rovná několika hodinám či dnům, dochází k poklesu aktivity krátkodobých radionuklidů. [22], [24]

3.3 Podmínky pro výpusti radioaktivních látek

Výpusti radioaktivních látek z jaderných zařízení, jak kapalné tak plyné, podléhají dle ustanovení atomového zákona povolení SÚJB (podle § 9 odst. 1 písm. h) a podrobnosti, včetně kritérií pro vydání takového povolení, stanoví § 56 a § 57 vyhlášky č. 307/2002 Sb. Řízené vypouštění látek obsahujících radionuklidy do ovzduší, resp. do vod, lze povolit pouze pokud je zajištěno, že u příslušné kritické skupiny obyvatel roční efektivní dávky v důsledku těchto výpustí nepřekročí 250 μSv . Kromě toho se na výpusti radioaktivních látek z jaderných zařízení vztahuje obecný limit 1 mSv, platný pro roční efektivní dávku ze všech zdrojů. Vypouštění musí být zdůvodněno a optimalizováno.

Autorizované limity výpustí z jaderných zařízení nejsou stanoveny žádným legislativním dokumentem. Jsou stanoveny rozhodnutím SÚJB pro každé jaderné zařízení individuálně a pro obě české jaderné elektrárny jsou menší než 50 $\mu\text{Sv/rok}$. Dosažené hodnoty výpustí jsou provozovatelem kontrolovány a hodnoceny na základě SÚJB schváleného monitorovacího programu. Pro sledování skutečných výpustí je vybudován rozsáhlý monitorovací systém, zajišťovaný jak provozovateli jaderných zařízení, tak nezávislými měřeními. Výsledky měření spolehlivě dokladují, že autorizované limity nejsou překračovány. [22]

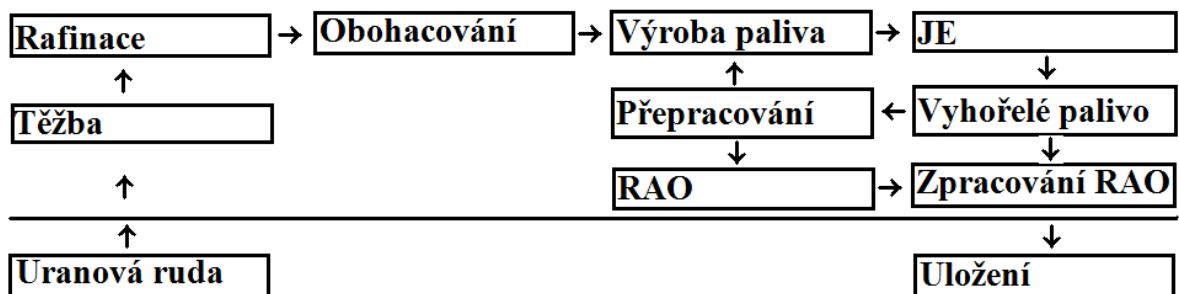
Tab. 4.1 Aktivita plynných a kapalných výpustí [10]

Radionuklid	výpusti do ovzduší A [Bq]		
	Rok		
	2008	2009	2010
vzácné plyny	$6,01 \cdot 10^{12}$	$5,41 \cdot 10^{12}$	$5,11 \cdot 10^{12}$
aerosoly	$3,29 \cdot 10^7$	$3,47 \cdot 10^7$	$2,51 \cdot 10^7$
jódy	$9,19 \cdot 10^6$	$2,80 \cdot 10^6$	$1,26 \cdot 10^6$
^{14}C	$6,86 \cdot 10^{11}$	$7,51 \cdot 10^{11}$	$6,69 \cdot 10^{11}$
^3H	$5,70 \cdot 10^{11}$	$5,61 \cdot 10^{11}$	$7,09 \cdot 10^{11}$
celkem E (Sv)	$4,1 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$
čerpání L (%)	0,10	0,04	0,05
Radionuklid	kapalné výpusti A [Bq]		
	Rok		
	2008	2009	2010
^3H	$1,29 \cdot 10^{13}$	$1,35 \cdot 10^{13}$	$1,59 \cdot 10^{13}$
štěpné produkty	$1,85 \cdot 10^7$	$2,39 \cdot 10^7$	$2,25 \cdot 10^7$
celkem E (Sv)	$1,27 \cdot 10^{-6}$	$1,53 \cdot 10^{-6}$	$1,15 \cdot 10^{-6}$
čerpání L (%)	21,2	25,5	19,1

4 Jaderné palivo

4.1 Palivový cyklus

Výroba elektrické energie v JE není jediným krokem jaderného palivového cyklu. Palivo pro JE musí být nejprve vytěženo a připraveno pro použití v jaderném reaktoru, následně převedeno do bezpečné formy pro finální uložení. V zásadě lze jaderný palivový cyklus znázornit následujícím zjednodušeným schématem:



Obr. 5.1 Proces nakládání s jaderným palivem

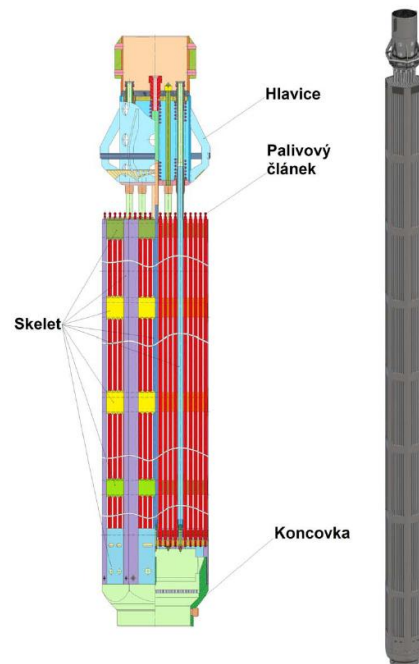
Přepřacování vyhořelého jaderného paliva je složitý a nákladný proces. Z palivových proutků se pomocí manipulátorů a robotů odstraní ochranný zirkoniový obal a vyhořelé palivo se rozpustí v kyselině dusičné. Plutonium a uran se následně z roztoku separuje a je možné ho využít pro výrobu nového paliva. Ve světě je v provozu pouze omezený počet přepřacovacích závodů (Francie, Velká Británie, USA). Takto získané palivo je ale vždy dražší než přírodní uran.

Vedle ekonomického hlediska však existují další vylučující podmínky, z nichž nejvýznamnější jsou: [22]

- majitel paliva je povinen odebrat zpět k trvalému uložení vysoceaktivní vitrifikované RAO
- plutonium může být vydáno pouze těm zákazníkům, kteří prokáží jeho využití pro mírové účely
- reaktory VVER doposud s nebyly provozovány s palivem MOX (směs oxidu uranu a plutonia)

4.2 Palivový soubor

Palivový soubor s čerstvým palivem vypadá na pohled stejně jako palivový soubor s vyhořelým palivem, nicméně se podstatně liší v izotopickém složení paliva (radioaktivitě izotopů). V tlakovodních reaktorech se používají obaly palivových článků vyrobené ze slitiny Zirkonia. Důvodem použití slitiny zirkonia je odolnost vůči vysokým teplotám (350 až 500 stupňů Celsia) a vyhovující mechanická odolnost. Příklad konstrukčního uspořádání palivového souboru je uveden v následujícím obr. 5.2 . [28]



Obr. 5.2 Řez palivovým článkem a jeho popis [27]

4.3 Výměna palivových souborů

Na konci každé palivové kampaně se během odstávky jaderného bloku z reaktoru vyjmou použité palivové soubory. Transport palivových souborů se provádí v tzv. bazénu mokré přepravy, kdy se palivové soubory pomocí zavážecího stroje vyjmou z aktivní zóny reaktoru a pod hladinou vody se převážejí do bazénů skladování vyhořelého paliva na reaktorovém sále. Zvýšená hladina vody s obsahem bóru slouží jako stínící médium a chrání tak obsluhu jaderné elektrárny při prováděných manipulacích s palivovými soubory. Zároveň slouží i jako chladivo, zabezpečující odvod zbytkového výkonu použitých palivových souborů. [25]

Perioda výměny paliva je dána návrhem příslušné palivové vsázky. Výměna a překládka paliva se provádí zpravidla 1 x ročně přičemž přibližně 1/4 palivových souborů se vyváží a nahrazuje palivem čerstvým, zbylé 3/4 palivových souborů změni svoji pozici v aktivní zóně reaktoru. Aktivní zóna reaktoru VVER 1000 v jaderné elektrárně Temelín obsahuje 163 palivových souborů, tzn. každoročně se vymění cca 42 použitých palivových souborů za čerstvé palivové soubory. Čerstvé palivové soubory jsou na reaktorový sál převáženy v kontejnerech na speciální železniční soupravě ze skladu čerstvého paliva umístěného v areálu JE. Zavezení aktivní zóny reaktoru a její přeskládání probíhá podle tzv. kartogramu a po ukončení zavezení paliva do AZ se provádí kontrola rozmístění palivových souborů za účasti zástupce SÚJB a IAEA (včetně provedení tzv. evidence jaderných materiálů). [25]

4.4 Bazén skladování vyhořelého paliva na jaderné elektrárně Temelín

K zajištění bezpečnosti při manipulacích a skladování VJP vyvezeného z reaktoru slouží BSVP. Ve všech palivových sekcích bazénů TG21B01 až B03 jsou rozmístěny kompaktní mříže pro vyhořelé palivové soubory, celkem 680 ks. Sekce TG21B02 slouží pouze pro havarijný vyvezení z aktivní zóny, jinak je prázdná. V kontejnerové sekci TG21B04 je umístěno univerzální zařízení pro uložení transportního kontejneru pro vyhořelé palivo a pro transportní kontejner pro čerstvé palivo. Na pravé straně jsou pak umístěny šachty revize vnitroreaktorových částí (šachty reaktoru a bloku ochranných trub). [25]

BSVP zajišťuje následující tři hlavní funkce : [24]

- podkritičnost skladovaného VJP - dáno rozmístěním palivových souborů, hladinou a koncentrací bóru v chladivu BSVP
- odvod zbytkového tepla PS - pomocí vloženého okruhu chlazení se zbytkové teplo předává do chladicích bazénů technické vody . [25]
- ochranu před radioaktivním zářením- dostatečná hladina chladiva v BSVP při manipulacích s palivem, popřípadě převozu vnitroreaktorových částí

BSVP je dočasným skladem pro použité palivové soubory, tzn. zajištění doby skladování nezbytné k zabezpečení potřebného snížení výkonu a zbytkového tepla. Kapacita bazénu skladování vyhořelého paliva umožňuje skladovat vyhořelé palivo po dobu 12 let od jeho vyvezení z reaktoru při provozu bloku ve čtyřleté kampani. Minimální doba skladování je cca 7 let. [24]

4.5 Mezisklad vyhořelého paliva v areálu jaderné elektrárny Temelín

Po stanovené době skladování vyhořelých palivových souborů v BSVP jsou palivové soubory umístěny do obalových souborů (kontejnerů) a jsou převezeny do meziskladů v areálech JE. Převoz je realizován pomocí speciálního železničního podvozku, na které jsou naloženy obalové soubory typu CASTOR-440/84 resp. CASTOR-440/84M s vyhořelým jaderným palivem. [22] Mezisklad na ETE je tzv. suchého typu. VJP je zde pak dlouhodobě skladováno, řádově desítky let. Suché skladování je prakticky bezodpadová technologie založená na izolaci, tato technologie je dlouhodobě ověřená a zvládnutá. [22]

4.6 Vyhořelé jaderné palivo

Vyhořelé palivo, vzhledem k AZ není RAO, pokud je za něj neprohlásí jeho vlastník nebo SÚJB. Skladování VJP je za stejných podmínek jako RAO před uložením, skladování musí probíhat způsoby, které by neměly ztěžovat možnosti jeho další úpravy. [22]

Vyhořelé palivo je vedlejším produktem provozu jaderně-energetických a výzkumných reaktorů. VJP tvoří asi jen 1% z celosvětové produkce RAO, přesto obsahuje více, než 90% veškeré radioaktivity. VJP se může v budoucnu stát cenným zdrojem surovin, či jaderným palivem pro jiné typy elektráren. Předpokládá se, že jaderné elektrárny (ETE, EDU) vyprodukují na území ČR přibližně 33.000 (m³) RAO a ostatní instituce cca 8.500 m³. [25]

Všechny klíčové etapy nakládání s VJP jsou legislativně vymezeny v AZ a jeho prováděcích předpisech. V současnosti realizované činnosti pokrývají všechny etapy nakládání s VJP až po jeho skladování. Pro zajišťování činností spojených s ukládáním RAO, a tedy i pro činnosti související s úpravou VJP do formy vhodné pro uložení a činnosti související s přípravou, výstavbou, uváděním do provozu, provozem a uzavřením úložných systémů byla v roce 1998 založena SÚRAO jako státní organizace. [22]

V současné době se předpokládá, že finální uložení VJP, bude provedeno jeho uložení do hlubinného úložiště. Do jeho zprovoznění je VJP skladováno areálech jaderných elektráren. [28]

V České republice zatím ještě nebylo hlubinné úložiště postaveno, proto je jen malé množství vysokoaktivního odpadu uloženo v ÚRAO Richard. V roce 2007 byla část úložných komor na úložišti Richard uzavřena unikátním systémem tzv. hydraulické klece. [22] ,[28]

5 Uložení radioaktivních odpadů

Při volbě lokality pro úložiště RAO je důležité dbát na to, aby provoz nijak neohrožoval životní prostředí a bezpečnost obyvatel. Z toho vyplývají nároky na umístění úložiště a jeho technologické provedení. K uložení nízko a středně aktivního odpadu se používají povrchová úložiště nebo se přiměřeně upravují vyřazené doly. Nejprísnější požadavky jsou kladeny na ukládání vysokoaktivního odpadu a vyhořelého paliva, ty budou uloženy v hlubinném úložišti. [22]

5.1 Úložiště na území České republiky

Správu úložišť na území České republiky zajišťuje organizační složka státu SÚRAO, která zajišťuje bezpečné ukládání radioaktivních odpadů v souladu s požadavky na ochranu člověka i životního prostředí před jejich negativními účinky. SÚRAO se řídí ustanovením AZ, českými zákony a mezinárodními smlouvami z oblasti mírového využívání jaderné energie a ionizujícího záření přijatými Českou republikou. Na území České republiky se nacházejí úložiště Richard, Bratrství, Dukovany a Hostim. [22], [28], [29]

5.1.1 Úložiště radioaktivních odpadů Richard

Toto úložiště slouží od roku 1964 především k ukládání institucionálního RAO, který obsahuje umělé radionuklidy. Jedná se o uzavřené radionuklidové zářiče a shromážděné radionuklidové zářiče z požárních hlásičů. Původně se jednalo o vápencový důl, jehož celkový objem upravených podzemních prostor přesahuje 17 000 m³, kapacita pro ukládání odpadu je přibližně poloviční.

Zde je rovněž dočasně skladován jaderný materiál, který je odděleně ukládán od ostatního RAO. Jaderný materiál zde bude skladován do doby jeho finálního uložení do hlubinného úložiště. [22], [29]

Tab. 6.1 Inventář uložených RAO v URAO Richard ke dni 31.12.2010 [10]

Radionuklid	Celková aktivita [Bq]
³ H	3,91E+13
¹⁴ C	8,20E+12
³⁶ Cl	8,90E+09
⁹⁰ Sr	2,42E+13
⁹⁹ Tc	1,04E+08
¹²⁹ I	5,05E+06
¹³⁷ Cs	4,73E+14
Celková aktivita dlouhodobých radionuklidů α	1,54E+13

5.1.2 Úložiště radioaktivních odpadů Bratrství

Je využíváno k ukládání RAO obsahujících přirozené radionuklidy. ÚRAO zde vzniklo adaptací těžební štoly uranového dolu. Je zde 5 upravených komor o celkovém objemu necelých 1200 m³. V provozu je od roku 1974. Je zde vybudován drenážní systém s retenční jímkou. Odváděné vody podléhají kontrole. [22] , [29]

Tab. 6.2 inventář ÚRAO Bratrství ke dni 31.12.2010 [10]

Radionuklid	Celková aktivita [Bq]
²²⁶ Ra	1,35E+12
U	4,52E+11
²³² Th	1,36E+08

5.1.3 Úložiště radioaktivních odpadů Dukovany

Slouží k ukládání krátkodobých a nízkoaktivních RAO z obou JE na území ČR, jen v omezené míře je zde ukládán institucionální odpad. Úložiště je sestaveno ze soustavy bariér s dlouhodobou životností. Soustavu bariér tvoří 112 železobetonových jímek, které jsou ve čtyřech řadách. Každá řada má 28 jímek o velikosti 5,3 x 5,4 x 17,3 m. Do jímek je odpad ukládán v 200 litrových sudech a do každé jímky se vejde cca 1600 těchto sudů.

Je zde prostor k uložení 55 000 m³ (asi 180 000 sudů o objemu 200 l). Tento prostor by měl postačit k přijetí všech RAO z JE Dukovany i Temelín i při prodloužení doby jejich životnosti na 40 let. [22] , [29] Ke dni 31. 12. 2011 je trvale uzavřeno sedmnáct ukládacích jímek.

Tab. 6.3 Inventář úložiště Dukovany ke dni 31.12.2010 [10]

Radionuklid	Celková aktivita [Bq]	Radionuklid	Celková aktivita [Bq]
¹⁴ C	1,30E+11	⁹⁹ Tc	1,36E+09
⁴¹ Ca	3,85E+08	¹²⁹ I	4,84E+08
⁵⁹ Ni	4,34E+09	¹³⁷ Cs	6,45E+12
⁶³ Ni	3,84E+11	²³⁹ Pu	2,01E+07
⁹⁰ Sr	1,44E+10	²⁴¹ Am	1,99E+08
⁹⁴ Nb	9,56E+08		

5.1.4 Úložiště radioaktivních odpadů Hostim

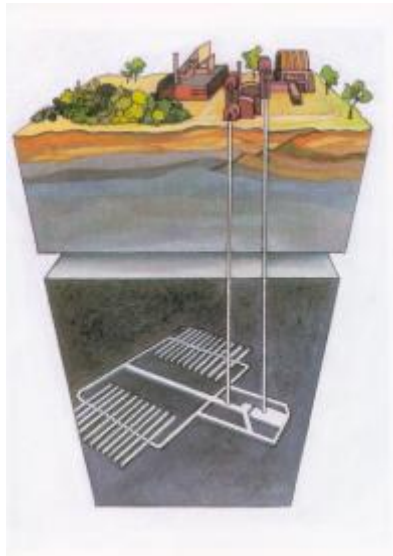
Toto úložiště je v současnosti uzavřeno, v minulosti sloužilo k ukládání RAO institucionálního původu. Vybudováno bylo v roce 1959 ve vápencovém lomu Alkazar poblíž vesnice Hostim. Proběhla zde adaptace dvou štol vyražených v letech 1942 -1944. Celkový objem obou chodeb byl cca 1690 m³. [22] , [29]

Tab. 6.4 Inventář úložiště Hostim – aktivita přepočítaná k roku 1991 [10]

Radionuklid	Celková aktivita [Bq]	
	štola A	štola B
³ H	odhad: ekvivalent štoly A, max. 10 ¹⁰ Bq (spektrum radionuklidů produkovaných v tehdejších ÚJF)	1,0.10 ¹¹
¹⁴ C		2,0.10 ¹⁰
¹³⁷ Cs		1,3.10 ¹⁰
⁹⁰ Sr		1,3.10 ¹⁰
⁶⁰ Co		5,8.10 ⁸
²²⁶ Ra		3,3.10 ⁷
⁶³ Ni		1,9.10 ⁶
²⁰⁴ Tl		1,5.10 ⁶
¹⁴⁷ Pm		1,1.10 ⁵
Celková aktivita	max. 10 ¹⁰	cca 10 ¹¹
Celková aktivita	< 10 ¹¹	

5.2 Hlubinné úložiště na území ČR

V České Republice se žádné HÚ nenachází, je teprve ve fázi projektu. Všechny práce týkající se přípravy HÚ řídí SÚRAO. Požadavky na HÚ jsou stanoveny na minimální kapacitu 4000 t VJP, bude se jednat o povrchový areál okolo 30 ha s hloubkou úložných prostor cca 500 m, skladování pouze za použití kontejnerů s dlouhou životností. Předpokládáné zahájení provozu od roku 2065. [32], [33]. Finanční prostředky na výstavbu a provoz HU budou čerpány z jaderného účtu.



Obr. 6.1 Principiální způsob realizace hlubinného úložiště [32]

Ideální harmonogram vybudování hlubinného úložiště podle SÚRAO: [32]

- 2015 – do územního plánu zařadit 2 lokality
- 2025 – doložit realizovatelnost ve vybrané lokalitě
- 2030 – vybudování podzemní laboratoře ve vybrané lokalitě
- 2050 – zahájení výstavby hlubinného úložiště
- 2065 – uvedení hlubinného úložiště do provozu

5.2.1 Výběr vhodných lokalit pro výstavbu hlubinného úložiště v České republice

Zvažovanými lokalitami pro umístění HÚ jsou Čertův kámen, Hrádek, Čihadlo, Horka, Březovský potok a Magdaléna. Základním rámcem pro budoucí výběr lokality hlubinného úložiště je vládou schválená „Koncepce nakládání s radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem“ z roku 2002, která ukládá nalezení dvou lokalit (hlavní a záložní) s nejlepšími geologickými podmínkami, v souladu se zachováním předpokládaného rozvoje zájmové oblasti. Druhý významný dokument schválený vládou v roce 2008 – „Politika územního rozvoje ČR“ - ukládá provedení výběru dvou nejvhodnějších lokalit pro realizaci hlubinného úložiště do roku 2015 a to za účasti obcí.“ [33]

5.2.2 Základní principy postavení obcí při výběru lokality: [33]

- Průzkum i případná výstavba hlubinného úložiště musí znamenat pro obce přínos
- Obce se dobrovolně účastní výběru vhodné lokality
- Obce musí mít dostatek nástrojů i pravomocí účinně hájit své zájmy
- Proces musí být transparentní a demokratický.

5.2.3 Hlubinné úložiště - přírodní bariéra

Pro umístění hlubinného úložiště je zapotřebí provést dobrý geologický průzkum lokalit. Jde o získání podrobnějších informací o hostitelské hornině, která by měla být co nejvíce homogenní a izotropní, nezatěžovaná tektonikou. Hlavními vlivy uloženého RAO a VJP budou : změny napětí, působení podzemní vody a zatěžování přírodní bariéry teplotou. Proto se musí vybírat geologicky stabilní lokalita, která se nezměnila po dobu řádově několika milionů let. Pak lze předpokládat, že tato lokalita bude i nadále stabilní a neumožní únik radioaktivních látek po dobu následujících desítek milionů let. [29]

5.2.4 Hlubinné úložiště - inženýrská bariéra

Je to uměle vytvořená kompatibilní a nekorozní bariéra, která je tvořena z několika vrstev. Prvním stupněm je zpracování RAO do chemicky stabilní matrice (znehynění radionuklidů), dalším stupněm je vlastní obalový soubor, tím jsou většinou sudy. Třetí bariéru tvoří pakety, v nichž jsou uloženy sudy, konečnou bariérou je vlastní konstrukce úložiště. Ve středu multibariérodního systému se nachází kontejner s RAO, ten je obalen výztuhou z uhlíkové oceli. Kolem výztuhy je tlumící zóna ze speciální směsi cementu, ta je obklopena linií nekorodující oceli. Celý tento systém je uzavřen do betonového klínu. [29], [31]. Za využití obdobných principů by měly být skladovány i kontejnery s vyhořelým jaderným palivem.

6 Závěr

Předmětem stále větší pozornosti orgánů Evropské unie je zejména oblast tzv. "jaderných" závazků. EU si tak prosazuje určitou míru nadnárodní kontroly a regulace. ČR má, ve srovnání s ostatními evropskými státy, velmi pokročilou legislativu a veškeré rozumné principy prosazované EU již česká legislativa a praxe splňují. Jaderné závazky tvoří podstatnou část nákladů JE.

Vyřazování jaderného zařízení, jehož problematika, náročnost a rozsah jsou zmíněny v této práci, je spojeno s nemalými finančními investicemi provozovatelů JZ. V ČR je nezbytné, aby parlament, jakožto zodpovědný státní orgán, neponechal na úvaze provozovatele tvorbu rezervy na vyřazení JZ z provozu. Nechá se totiž předpokládat, že by mohlo v některých případech dojít k převodu závazku za likvidaci a uložení jaderného materiálu na stát a stát by musel likvidaci a uložení tohoto materiálu uhradit ze státních prostředků. Vytvořením legislativního rámce, státních orgánů (SÚJB a SÚRAO) a jaderného účtu dává stát pravidla provozovatelům JZ nejen pro umístění a následný bezpečný provoz jaderného zařízení, ale řeší i pravidla ukončení provozu jaderných zařízení, finální uložení radioaktivních materiálů (včetně VJP) a zajištění prostředků na činnosti spojené s vyřazením a uložení radioaktivního materiálu, což jsou klíčové problémy jaderné energetiky.

Základní principy, finální koncepci a následně projekt HÚ pro zabezpečení uložení vysokoaktivního RAO a VJP v hlubinném úložišti musí zabezpečit SÚRAO. Všechny fáze projektu výstavby HÚ (umístění, výstavba, uvedení do provozu a jeho vyřazení z provozu) budou, v souladu s legislativou, podléhat schválení SÚJB.

Vyhořelé jaderné palivo je v současné době bezpečně skladováno BSVP a v tzv. meziskladech který se nachází v JE Dukovany funguje od roku 1995, v roce 2010 byl uveden do provozu nový mezisklad v areálu JE Temelín. Vzhledem k tomu, že vyhořelé palivo obsahuje prvky schopné uvolnit ještě značné množství energie, může se v budoucnu stát cennou surovinou. Budoucí využití vyhořelého jaderného paliva, pokud k němu skutečně dojde, ovšem neznamená, že odpadne potřeba vybudovat hlubinné úložiště.

Pravděpodobně by pak pouze došlo ke snížení objemu budoucích odpadů, případně snížení jejich rizikovosti, takže využití plánovaného úložiště by bylo podstatně efektivnější.

V každém případě i v budoucnu bude jistá míra vyhořelého paliva a jiných vysokoaktivních odpadů vznikat a bude zapotřebí je finálně zabezpečit.

- [1] <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/index.html> , 25.3.2012
- [2] <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/jaderna-energetika/jaderne-elektřarny-cez>, 25.3.2012
- [3] http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/WTS-Networks/IDN/idnfiles/GSV-Slovakia/Presentation_of_ISDC_and_CERREX.pdf , 25.3.2012
- [4] <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/jaderna-energetika/je-ve-svete.html> , 26.3.2012
- [5] http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1476_web.pdf , 26.3.2012
- [6] http://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1_elektřina_Zwentendorf, 26.3.2012
- [7] http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Atomovy_zakon_20120103.pdf, § 25 , 26.3.2012
- [8] http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Atomovy_zakon_20120103.pdf, § 27 , 26.3.2012
- [9] <http://www.surao.cz/cze/Informacni-koutek/Informace-pro-puvodce-odpadu> , 27.3.2012
- [10] ČNS pro účely Společné úmluvy o bezpečnosti při nakládání s vyhořelým palivem a o bezpečnosti při nakládání s radioaktivními odpady Revize 4.0 Březen 2011
- [11] <http://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/nakladani-s-vyhorelym-jadernym-palivem/>, 27.3.2012
- [12] <http://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/jaderna-zarizeni/sklady-vyhoreleho-jaderneho-paliva/sklad-vyhoreleho-paliva-dukovany/> , 27.3.2012
- [13] http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1476_web.pdf , 4.4.2012
- [14] http://eurlex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&type_doc=COMfinal&an_doc=2007&nu_doc=794&lg=cs , 4.4.2012
- [15] <http://eurlex.europa.eu/Notice.do?mode=dbl&lng1=cs,da&lang=&lng2=bg,cs,da,de,el,en,es,et,fi,fr,hu,it,lt,lv,mt,nl,pl,pt,ro,sk,sl,sv,&val=461176:cs&page=&hwords=null> , 4.4.2012
- [16] http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wiprojekt/EUDecommFunds_FinalReport.pdf , 5.4.2012
- [17] <http://www.oecd-nea.org/rwm/reports/1999/costlist.pdf> , 8.4.2012
- [18] WPNS SUBGROUP 3. Financial Resources for Decommissioning of Nuclear Installations, Waste Management and Spent Fuel Disposal, prosinec 2006. , 8.4.2012
- [19] http://iopscience.iop.org/0952-4746/28/4/B01/pdf/0952-4746_28_4_B01.pdf, 8.4.2012

- [20] <http://annual-report2007.asn.fr/PDF/decommissioning-nuclear-intsallation.pdf> , 9.4.2012
- [21] http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wiprojekt/EUDecommFunds_FR.pdf , 11.4.2012
- [22] http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/NZ_VP_RAO_4_0.pdf , 12.4.2012
- [23] <http://www.cenen.cz/upload/docs/surao-cenen.pdf> , 12.4.2012
- [24] Kover M., Miklovič M., *Technológie na spracovanie a úpravu RAO, Bezpečnosť jaderné energie* 16 [54], 2008, č. 5/6
- [25] <http://www.jaderny-odpad.cz/vyhorele-jaderne-palivo.htm> , 15.4.2012
- [26] http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/enzp/ENZPskripta.pdf , 15.4.2012
- [27] <http://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/nakladani-s-vyhorelym-jadernym-palivem/>, 15.4.2012
- [28] <http://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/nakladani-s-radioaktivnimi-odpady/> , 18.4.2012
- [29] <http://ceg.fsv.cvut.cz/vyzkum/radioaktivni-odpady/problematikaodpaducr> , 18.4.2012
- [30] <http://www.surao.cz/cze/O-SURAO>, 18.4.2012
- [31] <http://www.sckcen.be/en/Our-Research/Research-domains/Disposal-of-radioactive-waste> , 18.4.2012
- [32] <http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Budouci-hlubinne-uloziste/Co-je-hlubinne-uloziste>, 26.4.2012
- [33] <http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Budouci-hlubinne-uloziste/Vyber-lokality> , 26.4.2012
- [34] výcvikové materiály ČEZ
- [35] www.Sujb.cz, Roční zpráva o ukládání RAO na ÚRAO Dukovany 2011 , 2.5.2012
- [36] <http://proatom.luksoft.cz/rservice.php?akce=tisk&cislocclanku=2007020201> , 4.5.2012