

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

DISERTAČNÍ PRÁCE

**OPTIMALIZACE TECHNOLOGIE SKLADU VYHOŘELÉHO
JADERNÉHO PALIVA**

Plzeň 2015

Ing. Mgr. František ŠMÍD

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: P2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2302V013 Stavba energetických strojů a zařízení

DISERTAČNÍ PRÁCE

**OPTIMALIZACE TECHNOLOGIE SKLADU VYHOŘELÉHO
JADERNÉHO PALIVA**

Autor:

Ing. Mgr. František ŠMÍD

Školitel:

Prof. Ing. Josef Kott, DrSc.

Plzeň 2015

PROHLÁŠENÍ O AUTORSTVÍ

Předkládám k obhajobě disertační práci, vypracovanou při studiu na Západočeské univerzitě v Plzni, Fakultě strojní, Katedře energetických strojů a zařízení.

Prohlašuji, že jsem vypracoval disertační práci samostatně a použité prameny a literaturu jsem uvedl v disertační práci.

V Plzni dne: 26. 6. 2015

František Šmíd

PODĚKOVÁNÍ

Západočeská univerzita v Plzni nabízí řadu, zejména pro budoucnost České republiky aktuálních vědeckých témat, z nichž jedno z velice závažných je ekologické a ekonomické. Jedná se o likvidaci vyhořelého jaderného paliva. Proto mé poděkování je určeno v první řadě perspektivnímu tématu. Jako školitel se mě ujal Prof. Ing. Josef Kott, DrSc., jemuž děkuji za rozsáhlé diskuse k danému tématu, za vedení při zpracování dizertace a za možnost transféru jeho životních zkušeností do předložené práce.

ANOTAČNÍ LIST DISERTAČNÍ PRÁCE

VYSOKÁ ŠKOLA	Západočeská univerzita, se sídlem v Plzni	
FAKULTA	Fakulta strojní	
KATEDRA	Katedry energetických strojů a zařízení	
STUDIJNÍ PROGRAM	P2301 Strojní inženýrství	
STUDIJNÍ OBOR	2302V013 Stavba energetických strojů a zařízení	
DRUH PRÁCE	Disertační	
NÁZEV PRÁCE	Optimalizace technologie skladu vyhořelého jaderného paliva	
ROK ODEVZDÁNÍ	2015	
POČET STRAN CELKEM A4	199	
POČET STRAN TEXTU A4	186	
POČET TABULEK	20	
POČET OBRAZKŮ	20	
POČET GRAFŮ	2	
POČET SCHÉMÁT	16	
ŠKOLITEL (SUPERVISOR)	Prof. Ing. Josef KOTT, DrSc.	
DOKTORAND	Jméno	Příjmení
	František	Šmíd
POPIS PRÁCE		
<p>Práce analyzuje návrhy, koncepce a předkládá možná řešení optimálního ukládání radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva (RAO a VJP) používané v jaderných elektrárnách v České republice z pohledu rozsáhlých mezinárodních zkušeností a vlastních rozborů. Vychází z koncepce nakládání s RAO a VJP v ČR. Zpracována je v době, kdy se hledá vhodná lokalita pro umístění hlubinného úložiště. Podrobně analyzuje současné i budoucí možnosti ukládání RAO a VJP v ČR na základě výzkumných a vývojových zkušeností prováděných v ČR a v zahraničí.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA		
<p>Vyhořelé jaderné palivo, radioaktivní odpady, hlubinné úložiště, sklady radioaktivních látek.</p>		

SUMMARY OF DISSERTATION SHEET

COLLEGE	University of West, based in Pilsen	
FACULTY	Mechanical Engineering	
DEPARTMENT	Department of Power System Engineering	
STUDY PROGRAM	P2301 Mechanical engineering	
FIELD OF STUDY	2302V013 Design of Power Machines and Equipment	
TYPE OF WORK	Dissertation	
TITLE OF THE WORK	Optimizing technology, storage of spent nuclear fuel	
SUBMITTED IN	2015	
NUMBER OF PAGES TOTALLY A4	199	
NUMBER OF PAGES TEXT PART A4	186	
NUMBER TABLES	20	
NUMBER PICTURES	20	
NUMBER GRAPHS	2	
NUMBER SCHEMES	16	
TRAINERS (SUPERVISOR)	Prof. Ing. Josef KOTT, DrSc.	
PhD STUDENT	Name	Surname
	František	Šmíd
BRIEF DESCRIPTION		
<p>The thesis analyzes the design, concept and presents possible solutions for optimal storage of radioactive waste and spent nuclear fuel (SNF and radioactive waste) used in nuclear power plants in the Czech Republic from the perspective of extensive international experience and their own analyzes. Based on the concept of radioactive waste and spent nuclear fuel in the country. Is processed at a time when it is looking for a suitable site for a deep geological repository. It analyzes in detail the current and future options for storing spent nuclear fuel and radioactive waste in the Czech Republic on the basis of research and development experience carried out in the Czech Republic and abroad.</p>		
KEY WORDS		
Spent nuclear fuel, radioactive waste deep repository stores radioactive substances.		

KURZFASSUNG

HOCHSCHULE	University of West, in Pilsen auf der Basis	
FAKULTÄT	Maschinen-bau	
STUDEIN- GANG	Institut für Energiesystemtechnik	
KOMMENTIERTES VORLESUNGSVERZEICHNIS	P2301 Maschinenbau	
STUDIENGEBIET	2302V013 Design von Power Machines and Equipment	
ARBEITSTYPE	Dissertation	
TITEL	Die Optimierung von Technik, Lagerung abgebrannter Brennelemente	
ABGEGEBEN	2015	
SEITENZAHL TOTAL A4	199	
SEITENZAHL TEXTTEILE A4	186	
SEITENZAHL TABELLEN	20	
SEITENZAHL BILDER	20	
SEITENZAHL STAMMBÄUME	2	
SEITENZAHL SYSTEME	16	
AUSBILDER (BETREUER)	Prof. Ing. Josef KOTT, DrSc.	
DOKTORAND	Vorname	Familiename
	František	Šmíd
ZUSAMMENFASSUNG		
<p>Die Dissertation analysiert die Design, Konzept und präsentiert mögliche Lösungen für eine optimale Lagerung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente (SNF und radioaktiver Abfälle) in der Tschechischen Republik aus der Perspektive der langjährige internationale Erfahrung und ihre eigenen Analysen in Kernkraftwerken eingesetzt. Basierend auf dem Konzept radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente in dem Land. Zu einem Zeitpunkt verarbeitet werden, wenn sie nach einem geeigneten Standort für ein geologisches Tiefenlager suchen. Es analysiert im Detail die aktuelle und zukünftige Möglichkeiten der Datenspeicherung auf der Grundlage von Forschung und Entwicklung Erfahrung in der Tschechischen Republik und im Ausland durchgeführt abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle in der Tschechischen Republik.</p>		
SCHLÜSSELWÖRTER		
Abgebrannter Brennelemente, radioaktiver Abfall tief Repository speichert radioaktiven Stoffen.		

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK	1
ÚVOD	4
1. PALIVOVÉ CYKLY JADERNÝCH ELEKTRÁREN	6
1.1. Přední část palivového cyklu jaderné elektrárny	6
1.2. Střední část palivového cyklu jaderné elektrárny	10
1.2.1. Palivový cyklus (lehkovodního varného reaktoru - BWR).....	12
1.2.2. Palivový cyklus (tlakovodního reaktoru - VVER a PWR)	13
1.2.3. Vyhořívání jaderného paliva.....	14
1.3. Zadní část palivového cyklu jaderné elektrárny	15
1.3.1. Otevřený palivového cyklus jaderné elektrárny.....	15
1.3.2. Uzavřený palivového cyklus jaderné elektrárny	16
1.4. Palivový cyklus ETE (Jaderné elektrárny Temelín.....	16
1.4.1. Palivový soubor VVANTAGE 6	17
1.4.2. Palivový soubor (TVSA-T).....	18
1.4.3. Historie palivového cyklu ETE.....	20
1.4.4. Palivový cyklus EDU.....	22
1.4.5. Složení vyhořelého paliva.....	24
1.4.6. Aktivity vybraných štěpných produktů.....	26
1.4.7. Aktivita aktinidů a jejich dceřiných produktů.....	29
1.4.8. Radioaktivita konstrukčních materiálů	39
1.4.9. Celková aktivita vyhořelého jaderného paliva.....	39
1.4.10. Radioaktivních odpady	40
1.4.11. Ochrana životního prostředí.....	41
1.4.12. Uskladnění vyhořelého jaderného paliva.....	41
1.4.13. Přepřacování vyhořelého jaderného paliva	43
1.4.14. Trvalé uložení	43
2. CHLADÍCÍ BAZÉNY	45
2.2. Složení vyhořelého jaderného paliva	46
2.3. BSVP (bazén skladování vyhořelého paliva) na ETE	46
3. SUCHÉ SKLADY VJP	51
3.1. Obalový soubor CASTOR 440/84.....	51
3.2. Obalové soubory CASTOR 1000/19	54
3.3. Plnění palivových souborů do OS.....	56

3.4. Manipulace s palivovými soubory	59
4. SKLADOVÁNÍ VJP VVER 1000.....	63
4.1. Izotopy ve VJP.....	63
4.2. Provoz skladu vyhořelého jaderného paliva (SVJP).....	65
5. OZÁŘENÍ ČLOVĚKA Z PŘÍRODNÍCH A UMĚLÝCH ZDROJŮ.....	72
5.1. Vliv provozu jaderných elektráren za životní prostředí.....	72
5.2. Radionuklidy v životním prostředí	73
5.3. Biologické účinky vybraných radionuklid.....	77
5.3.1. Cesium ¹³⁷ Cs	77
5.3.2. Jód ¹²⁹ I.....	78
5.3.3. Krypton ⁸⁵ Kr	78
5.3.4. Plutonium ²³⁹ Pu.....	78
5.3.5. Stroncium ⁹⁰ Sr.....	78
5.3.6. Tritium ³ H.....	78
5.3.7. Uran ²³⁸ U.....	79
6. BIOLOGICKÉ ÚČINKY ZÁŘENÍ.....	80
6.1. Účinky deterministické a stochastické.....	80
6.1.1. Deterministické účinky	80
6.1.2. Stochastické účinky záření.....	82
6.1.3. Statistické údaje	84
6.2. Nízké dávky záření	84
6.3. Adaptace	84
6.4. Pojmy	85
6.5. Praktické potvrzené stochastické účinky	87
6.6. Příklad deterministických účinků	87
7. NAKLÁDÁNÍ S RADIOAKTIVNÍM ODPADEM A VJP V HLUBINNÝCH ÚLOŽIŠTÍCH.....	89
7.1. Úvod do nakládání s radioaktivním odpadem a VJP v hlubinných úložištích.....	89
7.2. Forma, ve které se předpokládá ukládat radioaktivní odpad a VJP v hlubinných úložištích.....	90
7.3. Bezpečnost hlubinného úložiště.....	91
7.4. Úložný obalový soubor.....	92
7.5. Těsnící bariéra.....	93
7.6. Bentonit.....	93
7.6.1. Úvod.....	93

7.6.2. Ložiska.....	94
7.6.3. Zásyp.....	95
7.6.4. Výzkumy chování bentonitu a zásypových materiálů	95
7.7. Přírodní bariéra	100
7.8. Možnosti snižování objemů RAO a VJP	101
7.9. Současný stav v práci na hlubinných úložištích v zahraničí.....	106
7.9.1. Finsko.....	106
7.9.2. Švédsko	106
7.9.3. Francie	107
7.9.4 Švýcarsko.....	107
7.9.5 Ukrajina	108
7.9.6. USA	108
7.9.7. Velká Británie, Německo, Belgie, Maďarsko.....	108
8. SOUČASNÝ STAV V PŘÍPRAVÁCH NA BUDOVÁNÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮM A VJP V ČR.....	109
8.1. Geologická situace lokality Březový potok	110
8.2. Geologická situace lokality Čertovka	111
8.3. Geologická situace lokality Čihadlo	111
8.4. Geologická situace lokality Kraví hora.....	112
8.5. Geologická situace lokality Magdaléna	112
8.6. Geologická situace lokality Horka.....	113
8.7. Geologická situace lokality Hrádek.....	113
9. OPTIMÁLNÍ TECHNOLOGIE TRVALÉHO SKLADOVÁNÍ VJP.....	115
9.1 Úvod	115
9.2. Ukládání vysoce aktivních RAO, RAO z VJP a VJP do země.....	118
9.3. Návrh optimální konstrukce skladu vysoce aktivních RAO z VJP a VJP	120
v hlubinném úložišti.....	120
9.4. Projekt hlubinného úložiště	121
9.5. Projekt nadzemní části úložiště.....	125
9.6. ÚOS	127
9.6.1 ÚOS pro VJP z JDU	127
9.6.2 ÚOS pro VJP z JTE	127
9.6.3 ÚOS Betonkontejner pro RAO	128
9.6.4 Další bariéra ÚOS.....	128
9.6.5 Superkontejner	128
9.7. Projekt podzemní části úložiště	129

9.8. Uzavření úložiště	131
9.9. Současný stav přípravy prací	131
9.10. Optimalizace technologie skladu vyhořelého jaderného paliva.....	132
9.11. Co je nutné zajistit pro optimální technologii skladu RAO, RAO z VJP a VJP	137
10. PRÁVNÍ LEGISLATIVA ENERGIE DO ROKU 1990 NA ÚZEMÍ ČR, SLOVENSKÉ REPUBLIKY (SR).....	138
11. PRÁVNÍ LEGISLATIVA JADERNÉ ENERGIE OD ROKU 1992 V ČR.....	143
12. PRÁVNÍ LEGISLATIVA ENERGETICKÉ POLITIKY EVROPSKÉHO SPOLEČENSTVÍ	146
12.1. EUROATOM.....	146
12.2. Energetická charta.....	146
12.3. Bílá kniha.....	147
12.4. Zelená kniha.....	148
12.5. Sekundární legislativa.....	149
12.6. Programy obsahující energetiku	150
12.6.1. ALTENER	150
12.6.2. CARNOT	150
12.6.3. SAVE	150
12.6.4. SYNERGY.....	150
12.6.5. PHARE	151
13. PRÁVNÍ PŘEDPISY O BEZPEČNÉM NAKLÁDÁNÍ S RAO, RAO Z VJP A VJP KE VZTAHU K MEZINÁRODNÍMU A EVROPSKÉMU PRÁVU.....	152
13.1. Vztah k mezinárodnímu právu.....	152
13.2. Vztah k evropskému právu	154
13.3. Soulad zákona č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomovém zákonu) s právem EU.....	155
13.3.1. Oblast ochrany zdraví a bezpečnosti pracovníků a obyvatelstva.....	155
13.3.2. Zásobování jadernými materiály.....	157
13.3.3. Systém záruk.....	157
13.3.4. Jaderná bezpečnost.....	158
13.3.5. Radioaktivní odpady	158
14. DOPORUČENÍ PRO OPTIMALIZOVANÝ POSTUP V ČR.....	160
15. ZÁVĚR.....	162
16. CONCLUSION	165

17. ZUSAMMENFASSUNG	168
18. SEZNAM LITERATURY	171
18.1. Knihy	171
18.2. Knihy (využité informace z knih v práci)	172
18.3. Články (využité informace z článků v práci)	172
18.4. Tabulky	173
18.5. Obrázky.....	174
18.6. Grafy	175
18.7. Schémata.....	175
Schéma 1.4.7.1. Srovnání radiotoxicity vyhořelého jaderného paliva a radiotoxicity uranové rudy	175
Schéma 1.4.7.2. Graf časové závislosti zbytkového tepelného výkonu vybraných aktinoidů v palivu s počáteční hmotností těžkých kovů 1 tuna	175
18.8. Ostatní.....	175
18.9. Ostatní (využité informace v práci)	177
18.10. Česká právní úprava.....	177
18.11. Evropská a mezinárodní právní úprava.....	180
PŘÍLOHA	187

SEZNAM ZKRATEK

SÚRAO	Správa úložišť radioaktivních odpadů
MOX	mixed oxide PuO ₂ /UO ₂
EU	Evropská unie
ČR	Česká republika
DIAMO	Státní podnik se sídlem ve Stráži pod Ralskem je organizací, která realizuje vládou vyhlášený útlum uranového, rudného a části uhelného hornictví v České republice a zajišťuje produkci uranového koncentrátu pro jadernou energetiku
USA	United States of America - Spojené státy americké
HWR	Heavy Water Reactor - těžkovodní reaktor
FBR, BN	Fast Breeder Reactor - rychlý množivý reaktor
LWR	Light Water Reactor - lehkovodní reaktor
MTR	Material Testing Reaktor - materiálový reaktor
HTGR	High Temperature Gas-Cooled Reactor - vysokoteplotní plynem chlazený reaktor
MSBR	Molten Salts Breeder Reactor - množivý reaktor s palivem ve formě roztavených solí
BWR	Boiling Water Reactor - lehkovodní varný reaktor
VVER	tlakovodní reaktor, vodo-vodní energetický reaktor, водо-водяной энергетический реактор, v anglickém jazyce WWER - water-water energetic reactor, PWR - pressurized water reactor se značí v zemích mimo bývalé socialistické země.
RBMK	bolšoj moščnosti kanalnyj, známá je též zkratka LWGR Light-Water-cooled Graphite-moderated Reactor, CANDU těžkovodní reaktor
SSSR	Svazu sovětských socialistických republik, rusky СССР -
ТВЭЛ	rusky ТВЭЛ je ruská státní firma, která se zabývá výrobou paliva pro jaderné elektrárny
CEFR	uranografitový reaktor
EGP	uranografitový reaktor
SNUPPS	Standardized Nuclear Unit Power Plant Systém
ORIGEN	Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code – program
ETE, JTE	Jaderná elektrárna Temelín

EDU, JDU	Jaderná elektrárna Dukovany
Ruska	Ruská federace - Российская Федерация
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
LLW	Low Level Waste - nízkoaktivní odpady, 1. a 2. kategorie
ILW	Intermedium Level Waste - středně aktivní odpady, 3. a 4. kategorie
HLW	High Level Waste - vysoce aktivní odpady, 5. kategorie
BSVP	bazén skladování vyhořelého paliva
VJP	vyhořelým jaderným palivem
OS	obalový soubor, kontejner
MSVP	mezisklad vyhořelého paliva
SVP	sklad vyhořelého paliva
SVJP	skladu vyhořelého jaderného paliva
ČEZ a. s.	České energetické závody akciová společnost
RAO	radioaktivní odpad
RK	radiační kontroly
RRMS	radiation remoted monitoring systém
RO	radiační ochrany
PDE	příkon dávkového ekvivalentu
CEG, FSv, ČVUT	Centrum experimentální geotechniky na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického
OPHELIE	On-surface Preliminary Heating simulation Experimenting Later Instruments and Equipment
VHTR	Very-High-Temperature Reactors
SCWR	SuperCritical Water Reactors)
MSR	Molten Salt Reactors
GFR	Gas-Cooled Fast Reactors
SFR	Sodium-Cooled Fast Reactors
LFR	Lead-Cooled Fast Reactors
RN	Radionuklid
ÚOS	Úložný obalový soubor
ÚJV	Ústav jaderného výzkumu
OS	Obalový soubor
SDR	Special Drawing Rights - Zvláštní práva čerpání
EHS	Evropské hospodářské společenství

ÚVOD

Průměrná spotřeba energie jednoho člověka na den v časové posloupnosti roste. Tak jako nedokážeme vrátit čas, nedokážeme snižovat spotřebu energie člověka bez snižování životní úrovně. Aby člověk mohl žít, spotřeboval od počátku své existence energii. Spotřeba energie všech lidí bude stoupat, tato energie se bude muset vyrobit a přenést k místu spotřeby. Jednotlivé země hledají možnost zabezpečit energii ve snaze omezit závislost v této oblasti, spojenou s případným omezením dovozu.

Práce je zaměřena na vyhořelé jaderné palivo, jeho manipulaci, jednotlivé obalové soubory, ve kterých se přepravuje a skladuje, návrhy ukládacích obalových souborů a sklady s cílem navržení koncepce optimálního technologie postupu skladování vyhořelého jaderného paliva. Vyhořelé jaderné palivo, které není přepracováno, má stejné vlastnosti jako vysokoaktivní radioaktivní odpady, tedy nebezpečné odpady, které budou muset být skladovány a zajištěny mnoho tisíc let. Obce a města tento druh nebezpečného odpadu nechtějí skladovat na svém území. Lidé se bojí, že v případě úniku radioaktivity bude ohroženo jejich zdraví. Z uvedeného důvodu se nesmí podceňovat bezpečnost, při manipulaci a ukládání s uvedeným nebezpečným materiálem. Totéž se však týká i ostatního radioaktivního odpadu, který vznikl při provozu jaderných elektráren. Institucionální odpady vznikající v průmyslu, zdravotnictví, výzkumu musí být taktéž uskladněny, aby se nedostaly mimo vymezený kontrolovaný prostor. Tímto se zabývá v České republice SÚRAO (Správa úložišť radioaktivních odpadů), která má na starosti bezpečné ukládání radioaktivního odpadu, a aby toto mohla zajistit, bude nutné přijmout i mnohé další legislativní úpravy.

Každá země vyrábějící energii v jaderných elektrárnách musí určit co s vyhořelým jaderným palivem. Není ani v současné době jednoduché, vymezit koncepci ukládání radioaktivního odpadu s ohledem na možné budoucí zpětné využití dané novými technologickými možnostmi. To může změnit koncepci konečného uložení po přepracování vyvezeného vyhořelého paliva z reaktorů v časové oblasti roku 2050.

Mnohé země, vyrábějící energii v jaderných reaktorech rozhodnutí odkládají a spoléhají na vývoj nových možností přepracování vyhořelého jaderného paliva a vývoj nových skladovacích zařízení.

Některé státy již částečně pro energetické účely přepracovávají vyhořelé jaderné palivo a vyrábí nové směsné palivo označované MOX (mixed oxide PuO_2/UO_2) recyklací plutonia a uranu. Tento cyklus vyznačující se přepracováním se nazývá uzavřený cyklus.

Cyklus s následným ukládáním bez přepracování vyhořelého jaderného paliva se nazývá (jednorázový) otevřený palivový cyklus.

Jednotlivé cykly mají různé fáze od vyjmutí vyhořelého jaderného paliva z tlakové nádoby reaktoru až po trvalé uložení. Velký vliv má prostředí, kam se ukládá vyhořelé jaderné palivo. Po vyjmutí z bazénu vedle reaktoru vyhořelé jaderné palivo se ukládá do suchých, nebo mokrých skladů. Záměrně zde zatím neuvádím meziskladů, protože při dlouhodobém skladování vyhořelého jaderného paliva v uváděných mokrých a suchých skladech se jedná o nulovou variantu. Další možností je vyjmout vyhořelé jaderné palivo ze suchého či mokrého skladu a nechat ho přepracovat v zahraničí a potom uložit vrácené redukované zbytky vysoce aktivního radioaktivního odpadu do hlubinného úložiště. Také se uvažuje i o možnostech přímého uložení vyhořelého jaderného paliva bez přepracování do hlubinného úložiště na území daného státu. V práci se zaměřuji na možnosti uložení vyhořelého jaderného paliva a vysoce aktivních radioaktivních odpadů do mezinárodního úložiště.

Na výběr postupu mají vliv nejen ekonomické možnosti, technická vyspělost, možnost využití skladovacích zařízení, ochrana objektů, ale hlavně chemické a fyzikální vlastnosti vyhořelého jaderného paliva a okolním prostředím, do kterého se vyhořelé jaderné palivo ukládá.

Pro Českou republiku a země Evropské unie je pro legislativu a technologie nakládání s radioaktivními odpady nápomocná Evropská koncepce umožňující odlišnost postupů v souvislosti s radioaktivními odpady.

1. PALIVOVÉ CYKLY JADERNÝCH ELEKTRÁREN

Pod pojem palivový cyklus zahrnujeme:

- získávání surovin a těžbu uranu a výrobu jaderného paliva (přední část palivového cyklu jaderné elektrárny),
- využívání jaderného paliva (střední část palivového cyklu jaderné elektrárny),
- přepracování a uložení použitého jaderného paliva (zadní část palivového cyklu jaderné elektrárny).

1.1. Přední část palivového cyklu jaderné elektrárny

Ruda se dobývá těžbou v hlubinných nebo povrchových dolech. Vytěžený uran obsahuje přibližně 0,005 % izotopu ^{234}U , 0,72 % ^{235}U a 99,275 % ^{238}U . Pro zvýšení efektivity průběhu štěpného procesu tepelnými neutrony je nutné štěpitelný ^{235}U obsahově zvýšit jeho obohacením. Jsou to procesy velmi složité a technologicky náročné.

Získaná ruda se podle druhu těžby upravuje, až se získá $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – koncentrát žlutého zabarvení o obsahu 70% uranu, který se dále konvertuje na plynný UF_6 hexafluorid uranu. Z obohaceného hexafluoridu uranu se získá prášek UO_2 oxidu uranu, z něhož se lisují peletky (palivové tablety). Vložením do trubek ze speciálních slitin zirkonových nebo i jinak legovaných vznikají palivové proutky a tyto palivové proutky se vkládají do palivových kazet.

Využitelná uranová ložiska v České republice jsou v endogenních hydrotermálních plutonických formacích a v exogenních infiltračních podložích Českého masívu. U ložisek plutonických převažují formace karbanátové oproti křemenovým. Exogenní uranové minerály se nachází v pískovci, jílu, břidlici a uhelné vrstvě. Nejvíce je známé složení U-Zr-Ti-P-Za. Velké množství uranu se akumuluje v terciálních sedimentech v sokolovské a v chebské pánvi. Největší množství uranu je v pískovci, tufech, tufitech, uhelném jílu, uhlí. Na území ČR (České republiky) bylo zjištěno přes 160 ložisek výskytu rud uranu. Těžilo se na 66 místech. Největší naleziště byly v Příbrami, Stráži, Hamru, Rožné, Jáchymově, Zadním Chodově, Horním Slavkově, Olši, Vítkově. Celkem se od roku 1946 do roku 2000 vytěžilo 107000 tun uranu. Tato těžba řadila ČR na 6. místo ve světě. I v dnešní době jsme v těžbě uranu na 12. místě s 1 % celosvětové těžby ve světě s vytěženými 390 tunami uranu ročně. Většina uranu se u nás těžila v hlubinných dolech. Podstatně menší množství bylo získáno povrchovým způsobem a podzemním loužením pomocí vrtů. ČR dnes kupuje již zpracovaný uran,

obohacené palivo a spotřeba ve dvou jaderných elektrárnách je 690 t ročně. Dnes DIAMO (Státní podnik se sídlem ve Stráži pod Ralskem je organizací, která realizuje vládou vyhlášený útlum uranového, rudného a části uhelného hornictví v ČR a zajišťuje produkci uranového koncentrátu pro jadernou energetiku) těží uranový koncentrát ^{238}U v Rožné na Českomoravské vrchovině v hydrotermálních nízkoteplotních žilách, v metamorfovaných tektonických zónách, prekambriických, sedimentárních, vulkasedimentárních a vulkanických masívech. Jedná se o plagioklas biotitické, amfibolické ruly, erlány, mramor. Ve Stráži pod Ralskem se produkuje uranový koncentrát jen v rámci sanace. Hlavními minerály je coffinit $-(\text{U,Th})[(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}]$ a uraninit UO_2 - oxid uraničitý. Obsah uranu v těchto minerálech je okolo 1,4 kg U kovu na 1000 kg rudy. 1 kg uranu se v průměru nahradí 150 000 kg uhlí. DIAMO odhaduje zásoby ve své kompetenci na 120000 tun uranu. Jen vytěžení uzavřeného dolu v roce 1995 Hamr I a neprovozovaného dolu Hamr II u české Lípy by stačilo pokrýt v případě prodeje uranu celoroční výdaje ČR.

Velká ložiska uranových rud jsou na jihozápadě USA (United States of America - Spojených států amerických) v pouštích a lesích Colorado Plateau. Velká ložiska uranových rud se nalézají v Ruské federaci, Kanadě, Austrálii, Ukrajině, Kazachstánu, Uzbekistánu, Nigérii. Velké zásoby jsou také v Jihoafrické republice ve Witwatersrandu. Zde jsou bohatá ložiska minerálů uraninitu, branneritu ve slepencích se zlatem, pyritem, monazitem. Těžilo se zde 40% celosvětové těžby zlata a ještě dnes se zde vytěží třetina světové těžby zlata. Zásoby zlata se odhadují na 16000 tun a zásoby uranu na 128000 tun. V 1 tuně je obsaženo 9,3 g zlata a 0,2 kg až 0,5 kg U.

Uran se nachází v minerálech a v organických sloučeninách. V ČR se objevil uran ve 112 minerálech. Pro většinu využití je nutno přírodní uran obohatit, zvýšit množství ^{235}U , který má v jádře 92 protonů a 143 neutronů. Po úpravě uranové rudy obsahuje chemická sloučenina 70 až 90 % UO_2 . Pro jaderné palivo je nutné obohacení ^{238}U na 3- 5 %. Izotop ^{238}U s 92 protony a 146 neutrony lze štěpit rychlými elektrony. ^{234}U nelze v jaderné energetice využívat. Uranová sloučenina vyrobené z uranových rud je ^{235}U jen 0,715 %, ^{238}U je 99,28 % a ^{234}U je 0,0057%. Obohacený uran se používá v jaderných reaktorech. Uran je 4. prvkem v řadě aktinidů a 92. prvkem v periodické soustavě. Atomová hmotnost (Ar) je 238,03 a specifická hmotnost) uranu při 20 °C, je asi 19,05 g/cm³. Chemicky čistý uran je stříbrně bílý, lesklý. V přírodě se nachází ^{238}U , ^{234}U a ^{235}U . Nejvíce se v přírodě

nachází ^{238}U a to i ve vodě s koncentrací okolo 3 gramů na 1000 kg. Všechny uváděné izotopy uranu mají přirozenou radioaktivitu, tedy samovolný rozpad v přírodě se vyskytujících radioaktivních nuklidů.

Uranovou rudu dělíme podle složení minerálů, na karbonátové s více jak 5% karbonátů, silikátové a hlinítokřemičitanové s více jak 95 % SiO_2 , sulfidické s více jak 5 % sulfidů, bituminózní a fosfátové. Uranové rudy dělíme podle typu minerálu na: - oxidy, (nasturan - smolinec a uraninit) $x\text{UO}_2.y\text{UO}_3.z\text{PbO}$, - směsné oxidy, brannerit (U, Ca, Fe, Th, Y)(Ti, Fe) $_2\text{O}_6\text{K}$, - fosfáty, autunit $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2.10-12\text{H}_2\text{O}$ a torbernit $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2.12\text{H}_2\text{O}$, - křemičitany, kofinit $\text{U}(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}$, - vanadáty, karnolit $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2.1-3\text{H}_2\text{O}$, - organické typy, tucholit, asphaltit (C, H, O, U Th, vzácné zeminy).

Při těžbě uranové rudy dochází k rozpadu uranu na řadu α a β radioaktivních látek mezi thoriem a olovem.

Tyto uranové rudy se upravují. Zpracování je prováděno mechanickým a chemickým způsobem.

První úpravou rudy je rozpojení rudy nazývaná dezintegrace. Ruda se v mlýnech upravuje mele a potom se třídí ve spirálových klasifikátorech a následně v hydrocyklónech.

Dále následuje zahuštění rud z 1100 g/dm^3 na 1500 g/dm^3 . Toto se provádí v Dorrových zahušťovačích o průměru 24 m a objemu 1200 m^3 . Voda, která se vyčerpá, se potom používá při mletí rudy. Zahušťování se provádí v nádržích přidáním fakulantu a CuSO_4 . Další zahušťování následuje, po promytí rmutu po alkalickém loužení dochází k ochlazení rmutu před sorpcí. Alkalické loužení je proces vyloužení U z pevné do kapalné fáze sodou Na_2CO_3 .

V této fázi chemického procesu dochází k vyloužení U z pevné do kapalné fáze působením sody (Na_2CO_3) ve formě uranylkarbonátu. Po alkalickém loužení jde výluh se rmutem k alkalické sorpci. Zde dojde k sorpci vylouženého uranu z kapalné fáze při protiproudovém dávkování rmutu. Vznikne ionex. K sorpci, oddělení kapalné a pevné fáze se provádí v bubnových sítích. Po promytí ionexu v rotačních sítích se oddělí ionex a rmut. Následuje eluce, kdy je ionex promýván elučním roztokem o teplotě a tak dochází k desorpci uranu. Následují společné procesy, kdy se uranový koncentrát rozkyselí, vysráží, zahustí a promyje. Následuje rafinace uranového koncentrátu čpavkem, speciální a vodní rafinace. Následuje sušení, homogenizace, odstranění hrubších částí a koncentrát uranu diuranát amonný se testuje, váží, balí a skladuje a expeduje v 200 litrových

ocelových sudech. Koncentrát musí mít dané chemické složení a musí splňovat další technické podmínky deklarované atomovými komisemi daných států, kam se koncentrát dodává. Department of Energy (USA) požaduje 63,60 % U a Allied Chemical Company (USA) 65% U, Francie požaduje 60 % U v koncentrátu. Koncentrát nesmí obsahovat neutronové „jedy“ mající vysokou hodnotu absorpčního průřezu. Jsou to vzácné zeminy: Gd, Sm, Eu, Dy, B, Cd a Hf.

Kraydenko, R. (nedatováno). Uran jako jaderné palivo. Technologie jaderného paliva. Tomský polytechnický institut. Ústav chemické technologie vzácných, smýšlejících a radioaktivních prvků: s. 123. Rovněž dostupné z <http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/k/KRAYDENKO/knu/Tab>). „Nukleární čistota. Množství nečistot, nebránící řetězové reakci. Nukleární čistota, je součet prvků s vysokým průřezem absorpce neutronů. β a absorpce tepelných neutronů (farma). Nukleární čistoty - produkt $x \cdot \rho$, kde x - % obsah nečistot; ρ - koeficient zachycení nečistot štěpných neutronů.

Z koncentrátu se pak vyrábí jaderné palivo z kovového uranu a oxidu uraničitého. Oxidy, nitridy a karbidy se nazývají keramická paliva a sloučeniny keramických paliv a kovový uran se nazývá kermet.

Tabulka 1.1 Palivo do jaderných reaktorů (složení, geometrický tvar, typ reaktoru)

[Doronin, A. \(2015\). Některé aspekty optimalizace parametrů jaderného paliva pro VVER. http://www.yurii.ru/ref6/referat15876.html](http://www.yurii.ru/ref6/referat15876.html)

Složení	Geometrický tvar	Typ reaktoru
Kovový uran	proutky, tyče	HWR
Slitiny U + Mo, Slitiny U + Zr + Nb	desky	FBR
Kermety U + UO ₂ , Kermety U + UC	desky	LWR
UO ₂ (přírodní uran)	tablety	HWR
UO ₂	tablety, kuličky	FBR – množivá zóna
UO ₂ (3–5 % ²³⁵ U)	tablety, kuličky	LWR
UO ₂ (20–30 % ²³⁵ U)	tablety, kuličky	FBR, MTR
UO ₂ + 1–4 % PuO ₂	tablety, kuličky	HWR, LWR
UO ₂ + 20–30 % PuO ₂ , UC + PuC, UN + PuN, ThO ₂ + 10–15 % UO ₂ (²³³ U, ²³⁵ U), ThO ₂ , UO ₂ (93 % ²³⁵ U), ThO ₂ , UC ₂ (93 % ²³⁵ U)	tablety, kuličky	HTGR
71,7 % ⁷ LiF + 16 % BeF ₂ +12 % ThF ₄ + 0,3 % ²³³ UF ₄		MSBR

1.2. Střední část palivového cyklu jaderné elektrárny

Patří sem doba, od zavezení jaderného paliva do jaderného reaktoru a doba využívání paliva v reaktoru pro výrobu tepla až po vynětí paliva z reaktoru a uskladnění paliva v bazénu vedle reaktoru. Chladivo v bazénu vedle reaktoru

slouží k zamezení štěpné reakce, odvodu tepla z paliva a stínění paliva po dobu potřebnou pro snížení radioaktivity a teploty. Někdy je za střední část palivového cyklu považována jen doba, po kterou jsou využívány vlastnosti vytváření tepla paliva v reaktoru.

V tomto cyklu je důležité zabezpečit hospodárné využití paliva výměnou a rozložením částečně vyhořelého paliva.

Nové palivo se zavází do aktivní zóny reaktoru dvěma metodami. U metody „in – out“ se zavází nové palivo blíže ke středu reaktoru v aktivní zóně a u druhé metody, která se nazývá „out – in“, se nové palivo zavází na okraj koše reaktoru.

Metodou in- out je nové palivo zavezeno blíže ke středu reaktoru v aktivní zóně a palivo, které je nejvíce vyhořelé se zaveze na okraj aktivní zóny v reaktoru, Tímto se prodlužuje doba provozu tlakové nádoby reaktoru a zamezuje se při provozu zvýšený únik neutronů. Toto přeskupování paliva se proto nazývá nízkoúnikové. Toto přeskupování paliva je náročnější na zajištění rozložení rovnoměrného výkonu činnosti jaderného reaktoru. Celkový význam, však spočívá co největší využití paliva. Využitím znalostí provozu jednotlivých druhů reaktorů za pomoci sledování, statistiky a výpočetní techniky lze prodlužovat počty cyklů a tím i dobu provozu paliva v reaktoru. Omezení je dáno pouze maximálním možným zvýšením obohacení paliva, které na začátku provozu v reaktoru má snahu mít zvýšený přebytek neutronů a tento přebytek není možné tlumit vyšším zvýšením absorberu (např. koncentrace kyseliny borité v chladivu vody). V palivových člancích se z uvedeného důvodu využívá postupného vyhořívání a tím snižování absorberu, které z počátku utlumují vývin možného přebytku neutronů.

Jako vyhořívající absorber pro snížení (absorpci) přebytečných neutronů v počátku provozu v novém palivu se u lehkovodních jaderných reaktorů používá Bór a Gadolinium. Jedná se o izotop ^{10}B a izotopy ^{155}Gd a ^{157}Gd . Erbium se jako vyhořívající absorber používá u jaderných reaktorů RBMK.

Princip snižování množství neutronů spočívá v tom, že uvedené prvky mají velký účinný průřez pro absorpci (pohlcování) neutronů, ale po absorpci neutronů se stane u těchto uvedených materiálů účinný průřez malým a přestanou další neutrony absorbovat.

Vyhořívající absorber je při výrobě palivových tablet přidán přímo do nově vzniklých palivových tablet. Někdy se používá způsob nanesení vyhořívajícího absorberu na povrch palivových tablet. Použití těchto tablet při provozu jaderných

reaktorů se nazývá integrální řešení. Druhý způsob se nazývá blokové řešení. Zde se použije při provozu místo paliva v palivovém proutku vyhořivací absorbér. Tímto způsobem je použit při provozu celý proutek nebo soubor z vyhořivajícího absorbéru.

Při metodě out – in, se nové palivo zavází na okraj koše aktivní zóny reaktoru. Nové palivo, které produkuje zvýšené množství neutronů. Tyto neutrony nejsou obklopeny ze všech stran konstrukcí okolních palivových zařízení, v jejich blízkosti je koš aktivní zóny a tlaková nádoba reaktoru. Tím dochází nejen k úniku neutronů mimo aktivní zónu, ale i ke snížení životnosti materiálu koše aktivní zóny a tlakové nádoby reaktoru. Uvedená zařízení ztrácí mechanické vlastnosti (křehne). Výhodou je však méně náročné rozhodování při rozmíst'ování zavážení nového paliva a přemíst'ování paliva, které lze po předchozím provozu ještě dále k provozu použít. Uvedené metoda má hlavně velkou výhodu pro snazší zajištění rovnoměrného rozložení výkonu reaktoru.

1.2.1. Palivový cyklus (lehkovodního varného reaktoru - BWR)

Druhým nejvíce používaným typem jaderného reaktoru na jaderných elektrárnách je varný reaktor, který vyrábí páru, která získá v aktivní zóně reaktoru teplotu a tím získá tlak, který přímo bez úpravy páry v parogenerátorech pohání turbínu. Turbína odebírá páru přímo z horní části reaktoru, kde se nahromaděné páře odseparují kapičky vody a vysušená pára předáním tlaku lopatkám turbíny roztočí spolu s lopatkami spojený rotor turbíny. Tento jednookruhový systém, který nemá parogenerátory, má nevýhodu v tom, že pára po průchodu aktivní zónou reaktoru roznese radioaktivní zamoření i na turbínu. K získání teploty a tím potřebného tlaku se využívá nižší obohacený uran, než u tlakovodních reaktorů. Proutky paliva pro lehkodvodní varný reaktor jsou složeny z tablet UO_2 a ty pak jsou sestaveny do palivových souborů. Palivový článek má čtvercový průřez obdobný reaktorům PWR. Palivové tyče mají u lehkodvodních varných reaktorů větší průměry. Aktivní zóna složená z modulů, kde jeden modul je složen z absorpční tyče, která je ve tvaru kříže obklopena čtyřmi palivovými články. Tato konstrukce reaktoru dává o třetinu nižší výkon než reaktory PWR, přestože palivové články mají větší výkon.

U palivového systému cyklu BWR, se jednou za rok vymění pětina paliva za nové. Takže pracuje tento systém v pětiletém palivovém cyklu. Mezi největší

elektrárny tohoto typu patří elektrárna Forsmark ve Švédsku o celkovém výkonu 3 reaktorů 3550 MW.

1.2.2. Palivový cyklus (tlakovodního reaktoru - VVER a PWR)

První elektrárna s nejrozšířenějším typem reaktoru a to tlakovodním PWR byla provozována již v roce 1957 v Shippingportu v USA, ale až v roce 1961 byla na elektrickou síť připojena elektrárna o výkonu 134 MW v Yankee v USA. V západní části Eurasii v Evropě se začalo v roce 1957 stavět u Voroněže satelitní město Novovoronež a vedle města se začala stavět jaderná elektrárna s tlakovodním reaktorem VVER, v SSSR (Svazu sovětských socialistických republik), rusky СССР (). První elektrárna s tímto typem reaktoru o výkonu 210 MW elektrických byla připojena k síti v roce 1964.

Palivem dodávané do tohoto typu dvouokruhové elektrárny, kde je moderátorem a chladivem lehká voda jsou tablety obohaceného uranu UO_2 . Tyto tablety vyplňují palivové proutky, ze kterých jsou složeny palivové články. Podle palivového cyklu se kampaňovitě, to je jednou za více jak rok vyměňuje část paliva za nové palivo. K pohonu turbíny se používá upravená pára z parogenerátoru a tak by se neměla dostat pára s aktivní zóny radioaktivního prostředí jaderného reaktoru do turbíny. Pro větší zabezpečení proti úniku radioaktivity do turbíny se pro vyšší bezpečnost vkládá další sekundární okruh vodní smyčka oddělující parogenerátor od páry z radioaktivního prostředí primárního okruhu. Jaderné reaktory typu VVER mají podle výkonu čtyři nebo šest chladících smyček a jaderné reaktory typu PWR mají dvě, tři nebo čtyři chladící smyčky. Podstatný rozdíl je v dispozičním a konstrukčním řešení parogenerátorů, které jsou u VVER okolo reaktoru za betonovou ochrannou obálkou umístěny v horizontální poloze oproti PWR, které má parogenerátory dispozičně a konstrukčně řešené vertikálně.

Palivové články používané v VVER jsou pro elektrárny do středního výkonu šestihranného průřezu s vnější obálkou a vyšších výkonů VVER 1000 jsou zpevněné úhelníky bez vnější obálky. Palivové články čtvercového průřezu bez ochranné obálky se používají pro PWR.

Palivový cyklus u VVER se prodlužuje až na čtyři roky používáním vylepšeného dodávaného jaderného paliva (TVSA) od výrobce jaderného paliva korporace **TVEL** rusky ТВЭЛ (je ruská státní firma, která se zabývá výrobou

paliva pro jaderné elektrárny. Sídli v Moskvě, závody firmy stojí ve 12 ruských městech od Petrohradu po Angarsk. Patří do holdingu Atomenergoprom).

TVEL je ruský výrobce jaderného paliva, který má v základních 12 závodech přes čtyřicet tisíc pracovníků a dodává palivo využívané k výrobě elektrické energie: do reaktorů BWR, reaktorů VVER - PWR, do CEFR (uranografitových reaktorů), do RMBK, do EGP (uranografitových reaktorů) a do BN (rychlých reaktorů), do výzkumných reaktorů a lodních reaktorů. Společnost TVEL se zabývá palivem pro jaderné reaktory od těžby uranu, vývoj, výrobu a dodává palivo do 14 zemí světa do 75 jaderných reaktorů.

Palivový cyklus PWR je u většiny reaktorů nastaven na plánovanou výměnu třetiny paliva po osmnácti měsících za nové palivo. Mezi výrobce zařízení patří firma Westinghouse – SNUPPS (Standardized Nuclear Unit Power Plant System). Na Jadernou elektrárnu do Temelína na dva reaktory VVER 1000 MW tato firma dodala stejný řídicí systém jako na elektrárnu Sizewell B. ve Velké Británii na reaktor PWR 1200 MW. Palivo dodávané touto společností do reaktorů VVER 1000 na Temelín se neosvědčilo.

1.2.3. Vyhořívání jaderného paliva

V přírodě se nalézá pouze štěpitelný izotop ^{235}U zpomalenými neutrony. V reaktorech se štěpí ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu zpomalenými neutrony uvolňuje jaderná energie a vzniká teplo.

V jaderném reaktoru dochází k izotopické změně nejen jaderného paliva, ale i dalších materiálů. K nejvýznamnějším reakcím patří zachycení zpomaleného neutronu jádrem izotopu ^{235}U , které se rozštěpí. Při uvedeném předešlém záchytu může vzniknout i ^{236}U . Zachytí-li jádro ^{238}U středně rychlý neutron, vznikne ^{239}U . S ^{239}U rozpadem β^- vzniká ^{239}Np a dalším β^- rozpadem vznikne štěpitelné jádro ^{239}Pu . V případě, že jádro ^{239}Pu , zachytí neutron, dojde k jeho rozštěpení, může však vzniknout i izotop ^{240}Pu . Zachytí-li izotop ^{240}Pu neutron vzniká štěpitelný izotop ^{241}Pu . Takto ubývá štěpitelných izotopů a přibývá štěpných produktů a dochází postupně k vyhořívání jaderného paliva. Reakce štěpení způsobuje vznik radiace a tepla a tím dochází u palivových článků k poškození od difúzních procesů a vnitřního pnutí. Palivové články jsou dále narušovány erozí a korozí. Doba, po kterou bude palivový článek moci být uložen v aktivní zóně a být funkční závisí tedy nejen na zásobě štěpitelného množství a dalších vlastnostech palivového článku. V případě vzniku různých změn palivového článku nad

určitou stanovenou hranici vede taktéž k omezení doby umístění v aktivní zóně reaktoru. Dnes existují různé programy, které dokážou spočítat předstírané vyhořívání jaderného paliva, jeho izotopické složení, radioaktivitu a tepelný výkon od počátku předstírání po dobu 1 miliardy let. Mezi takové programy patří i program ORIGEN (Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code).

1.3. Zadní část palivového cyklu jaderné elektrárny

Do tohoto palivového cyklu patří nakládání s vyhořelým palivem. Po vytažení použitého paliva z bazénu vedle jaderného reaktoru, je palivo převezeno do skladu použitého paliva, který je většinou v prostorách elektrárny.

Jednou používanou možností je suché skladování. Jaderné palivo se uskládá v uzavřených budovách v betonových boxech, nebo v uzavřených budovách v kontejnerech. Česká republika skladuje použité palivo suchým způsobem v kontejnerech.

Druhou možností jak nakládat s použitým jaderným palivem po vytažení z bazénu vedle reaktoru je mokrá způsob. Tento způsob zajišťuje ochranu před radiací a zároveň zajišťuje chlazení. Náklady na mokrá způsob jsou větší z důvodu nepřetržitého zajištění cirkulace chladiva a jeho čištění. S tím souvisí i vznik tekutých radioaktivních odpadů.

1.3.1. Otevřený palivového cyklus jaderné elektrárny

Jestliže poklesne radioaktivita a vyvíjené teplo, na úroveň, kdy není nutná nepřetržitá kontrola a nepočítá se s přepracováním vyhořelého paliva, přemístí se z meziskladu vyhořelého paliva do trvalého úložiště.

Jednou z možností je vyhořelé palivo uložit v hlubinném prostředí. Hlubinné prostředí zajišťuje a vytváří více bariér a tím zvyšuje ochranu vyhořelého jaderného paliva. První bariérou vyhořelého jaderného paliva by měl být úložný obalový soubor z kovu, do kterého se přemístí vyhořelé jaderné palivo z obalového souboru. Ostatní vysoce radioaktivní odpady vyprodukované z jaderné elektrárny, by se po přepracování měly zatavit do speciálních materiálů (skla), a potom do obalových souborů určených pro tento materiál. Další bariérou, o které se dnes uvažuje je možnost uložit úložný obalový soubor do upraveného kontejneru. Na toto by měla navázat další bariéra vyplněním prostoru materiály kolem buď úložného obalového souboru, nepoužije-li se další uváděný kontejner, nebo kolem kontejneru v němž je uložen úložný obalový soubor. Další bariérou je

geologický materiál obklopující materiály, které obklopují úložné obalové soubory nebo kontejnery v nichž jsou uloženy úložné obalové soubory.

1.3.2. Uzavřený palivového cyklus jaderné elektrárny

Jestliže přepracujeme vyhořelé jaderné palivo a použijeme část vyhořelého jaderného paliva pro další potřeb, potom nazýváme tento cyklus uzavřeným palivovým cyklem. Francie a země Anglie, Spojeného království Velké Británie a Severního Irska mají závody na přepracování vyhořelého jaderného paliva, ve kterých přepracovávají vyhořelé jaderné palivo i pro další země.

Vyhořelé jaderné palivo obsahuje kolem 95 % uranu, 3% štěpného materiálu, 1 % plutonia a malého množství minoritních aktionů. Po přepracování vyhořelého jaderného paliva se může využít všechno mimo štěpných produktů. Problémem však v současné době zůstává dražší a složitější proces přepracování vyhořelého jaderného paliva, než výroba nového jaderného paliva.

Přepracováním se vyrábí pro jaderné reaktory typu PWR jaderné palivo - smíšené oxidové palivo, MOX. Tímto jaderným palivem, složeným z plutonia PuO_2 a oxidů uranu UO_2 lze nahradit až jednu polovinu nového paliva.

1.4. Palivový cyklus ETE (Jaderné elektrárny Temelín)

ETE má v koši aktivní zóny jaderného reaktoru VVER 1000 o výšce 3,68 m a průměru 3,16 m 163 palivových souborů s 312 palivovými proutky v každém palivovém souboru a 18 řídicími tyčemi, zasouvajících se do prostorů místo palivových souborů. Skupina regulačních tyčí označována čísly 1 – 6 je určena pro rychlé zasouvání zajišťující rychlé odstavení jaderného reaktoru. Skupina regulačních tyčí 7 – 18 zajišťuje společně s kyselinou boritou v chladivu řízení výkonu jaderného reaktoru.

Palivo dodávala do ETE firma Westinghouse, jejíž palivové soubory měly od počátku nedostatky. Palivové soubory se ohýbaly, kroutily, prodlužovali, poškozovali se povlaky palivových proutků a vykazovaly velké netěsnosti. Materiálu Zircaloy – 4 byl nahrazen Zircaloy, který se používá na pokrytí palivových proutků. Palivo označené T1 bylo použito na 1. bloku a na 2. bloku se do roku 2006 používalo palivo s označením T2. V roce 2006 se začalo používat upravené palivo Phase0 v horní hlavici souboru, které mělo navíc vyztužené oblasti hydraulického tlumiče vodících trubek. V roce 2007 došlo k výměnám paliva pod označením Phase1X, kde došlo u tohoto provedení ke změně již uváděného materiálu a ke změně přitlačné síly pružin v horních mřížkách.

Nakonec z bezpečnostních důvodů se palivo firmy Westinghouse (VVANTAGE 6) na 1. bloku vyměnilo najednou po 10 letech v roce 2010 palivem od výrobce TVEL. Palivo VVANTAGE 6 bez větších problémů bylo funkční pouze v prvním palivovém cyklu. Na 2. bloku došlo k výměně paliva VVANTAGE 6 v roce 2011 najednou palivem od výrobce TVEL.

1.4.1. Palivový soubor VVANTAGE 6

Palivový soubor VVANTAGE 6 je složen v hexagonálním útvaru z 312 palivových proutků s centrální trubkou ve středu umožňující umístění zařízení pro měření. Tento soubor má snímatelný dolní nátrubek určený k rozdělování průtoku chladiva do souboru a také má snímatelný horní nátrubek tvořící ochranné pouzdro. Soubor se skládá z 18 trubek, které s mřížkami kosočtvercového uspořádání zajišťují nosnou konstrukci palivového souboru. Tyto trubky zároveň zajišťují možnost zasunout absorbatory či neutronové zdroje podle umístění palivového souboru v aktivní zóně. Mřížky jsou spojeny páskami pro zajištění bočních vzdáleností mezi palivovými proutky. Na vnitřních mřížkách, mimo horní a dolní mřížku jsou výstupy pro vylepšení přenosu tepla do chladiva, opatřeny výztuhami a pružinami k podpoře palivových proutků.

Jaderné palivové proutky používané v souboru VVANTAGE 6 jsou z válcovitých tablet z UO_2 uložených v trubičkách ze zirkoniové slitiny. Spodní i horní konec trubiček je po naplnění heliem, z důvodu snížení deformace povlaku tečení za provozu a proto, aby se prodloužila únavová životnost. Tyto konce palivových proutků jsou zavařeny. Tyto proutky jsou i v provedení, kdy pro lepší využití paliva se na okraje do trubiček umístí blanket, aby se zabránilo úniku neutronů. Nad palivovými tabletami je v palivových proutkách volný prostor (plenum) pro produkované štěpné plyny dané vyšším vyhořením paliva. Do vodících trubek těchto palivových souborů lze zasouvat i vyhořívající absorbér. Palivové soubory mohou mít i palivové proutky s vyhořívajícím absorbérem. Zde se používá ZrB_2 diborid zirkonia, který je nanesen na povrchu válcovitých tablet z UO_2 .

Tabulka 1.4.1. Charakteristika paliva VVANTAGE 6

<http://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=27015567>

Charakteristiky	VVANTAGE 6
Vnější průměr centrální trubky	12,6 mm
Materiál centrální trubky	Zr-4 nebo ZIRLO™
Materiál vodících trubek	Zr-4
Počet proutků	312
Rozmístění proutků	12,75 mm
Délka proutku	3889 mm
Výška sloupce tabletek	3630 mm
Tabletka	Plná
Vnitřní průměr povlaku	8 mm
Vnější průměr povlaku	9,144 mm
Materiál povlaku	Zr-4 nebo ZIRLO™

1.4.2. Palivový soubor (TVSA-T)

Pro Jadernou elektrárnu Temelín byl vyroben nový palivový soubor TVSA-T firmou TVEL z důvodu provozování jaderného reaktoru společně s palivovými soubory VVANTAGE 6, aby došlo k postupnému vyřazování při výměnách vyhořelých palivových souborů VVANTAGE 6. TVSA-T je jaderné palivo TSVA používané pro reaktory VVER 1000, které je konstrukčně vylepšené o mísící mřížky, výztuhy, a záchytný filtr a tím je více odolné proti deformacím a tím provozně spolehlivější. Z důvodu lepší regulace výkonu se používá uran-gadoliniové jaderné palivo v palivových proutcích. Palivo TVSA-T umožňuje změny palivových cyklů, zkracuje dobu potřebnou pro výměnu paliva a tím zkracuje dobu odstavení jaderného reaktoru z důvodu výměny paliva. Velmi

důležité je i to, že se lepším vyhořením paliva a prodloužením palivového cyklu se zmenšuje potřeba prostor pro ukládání vyhořelého paliva. Palivový soubor je složen do trojúhelníkové mříže o roztečích 12,75 mm z 312 palivových proutků do nosného šestiúhelníkového skeletu. Nosná zirkoniová trubka uprostřed palivového souboru má detektory a zároveň je nosnou konstrukcí pro 8 distančních mřížek. Celý skelet je sestaven z již uvedené prostřední trubky a distančních mřížek spojených s 6 úhelníky, 18 vodíciemi trubkami, v nich se mohou pohybovat regulační tyče s neutronovými zdroji, nebo vyhořívající absorbéry podle umístění v koši aktivní zóny. Palivový soubor má spodní opěrný uzel. Horní konec palivového souboru má snímatelný nátrubek umožňující přístup k vyjmutí, kontrole či výměně poškozeného palivového proutku. Spodní nátrubek slouží k uložení a usměrnění chladiva. Distanční mřížky zabezpečují správnou polohu palivových proutků. Palivový soubor má jednu dolní distanční mřížku, jednu horní distanční mřížku a šest rovnoměrně umístěných kombinovaných distančních mřížek.

Jaderné palivo je uloženo s přetlakem pomocí helia v palivovém proutku ze slitiny zirkonia. Palivové tablety jsou zajištěny v poloze pružinou umístěnou v horní části palivového proutku. Tento pružinový systém umožňuje bezpečný provoz i při zvýšené produkci plynů při vyhořívání paliva. Z důvodu lepšího využití paliva se do krajních částí palivového proutku umisťují palivové tablety s menším obohacením a tím menším únikem neutronů. Palivový soubor používají palivové proutky Tveg a Tvel. Palivové proutky typu Tveg obsahují oxid uranu UO_2 a vyhořívací absorbér oxid galonia Gd_2O_3 . Palivové proutky Tvel obsahují jen oxid uranu UO_2 . Palivové proutky jsou na konci hermeticky uzavřeny. Palivové soubory mohou tak mít mnoho variant daných vzájemným poměrem počtu palivových proutků Tveg a Tvel. Jednotlivé palivové tablety mohou obsahovat různé procento obohacení oxidu uranu UO_2 .

Tabulka 1.4.2. Charakteristika paliva TVSA-T

<http://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=42006552>

Charakteristiky	TVSA-T
Vnější průměr centrální trubky	13 mm
Materiál centrální trubky	E635 (Zr + 1% Nb + 1,2% Sn + 0,4% Fe)
Materiál vodících trubek	E635 (Zr + 1% Nb + 1,2% Sn + 0,4% Fe)
Počet proutků	312
rozmístění proutků	12,75 mm
Délka proutku	3952 mm
Výška sloupce tabletek	3680 mm
Tabletka	S vnitřním otvorem
Vnitřní průměr povlaku	7,73 mm
Vnější průměr povlaku	9,1 mm
Materiál povlaku	E110 (Zr + 1%Nb)

1.4.3. Historie palivového cyklu ETE

V projektech se plánovalo dodávání paliva ze SSSR s tříletým palivovým cyklem na ETE.

Od počátku provozu na rozdíl od plánovaného projektu dodávala palivo společnost Westinghouse z USA. Od roku 2010 na 1. bloku a od roku 2011 na 2. bloku se používá palivo od ruského výrobce korporace TVEL, který dodává jaderné palivo i na druhou v ČR EDU (Jadernou elektrárnu Dukovany). Od počátku provozu s palivem od společnosti Westinghouse z USA se plánoval a provozoval čtyřletý palivový cyklus na ETE. Po roce provozu byly zjišťovány netěsnosti palivových proutků kontrolními měřeními aktivitou Bq/l, která však nepřekročila normální sumární aktivitu $3,7 \times 10^8$ Bq/l. Měření aktivity se provádělo

plynovou metodou na základě měření změn v koncentraci ^{133}Xe . Tato metoda je známá pod pojmem on-line sipping. Další způsob měření se prováděl ve speciálním pouzdře, kam se uzavře poškozený palivový soubor. Tato metoda je známá pod pojmem off-line sipping. Maximální hodnota, která nesmí být překročena je u primárního okruhu $3,7 \times 10^9$ Bq/l. Z důvodu deformací palivových proutků museli být některé soubory předčasně vyjmuty z reaktoru. ETE je vybavena na opravu palivových souborů. V prvním palivovém cyklu se na 1. a 2. bloku ETE nevyvážely a ani neopravovaly žádné palivové soubory. V 2. palivovém cyklu byly 2 palivové soubory na 1. bloku ETE vyvezeny a na 2. bloku ETE byl 1 palivový soubor vyvezen a 3 palivové soubory byly opraveny. V 3. palivovém cyklu na 1. bloku ETE byly 4 palivové soubory vyvezeny a 1 palivový soubor byl opraven a na 2. bloku ETE se u 5 palivových souborů nezjišťoval rozsah poškození a u 5 palivových souborů bylo zjištěno 9 netěsných palivových proutků. V 4. palivovém cyklu na 1. bloku ETE se u 5 palivových souborů nezjišťovalo poškození a u 1 palivového souboru byl zjištěn 1 netěsný palivový proutek. Na 2. bloku ETE, byly 3 palivové soubory vyřazeny bez zjišťování vad a 2 palivové soubory se opravily. V 5. palivovém cyklu na 1. bloku ETE se 6 palivových souborů opravilo a zavezlo se zpět 5 palivových souborů. Netěsnost a poškození palivových proutků byla dána deformací paliva daná postupným vyhoříváním paliva a poškozováním povlaků palivových článků o distanční mřížky. Velkým problémem bylo i to, že palivové soubory vlivem ohýbání a kroucení nedosadaly až do koncové polohy. Na 1. bloku ETE v 3. palivovém cyklu bylo zjištěno dne 30. 7. 2005 30 nedosednutých palivových souborů, v průběhu 4. palivového cyklu dne 2. 6. 2006 bylo zjištěno 51 nedosednutých palivových souborů a v průběhu 5. palivového cyklu dne 27. 1. 2007 bylo zjištěno 36 nedosednutých palivových souborů. Změnou rozmístění částečně vyhořelých palivových souborů na okraj aktivní zóny, umístováním nových maximálně jednoletých palivových souborů pod řídicí soubory a konstrukčními změnami palivových souborů společnosti Westinghouse známých pod názvem Phase 1X se podařilo odstranit problémy s palivovými soubory. Přejít na ruské jaderné palivo měl být postupný a v reaktoru měly pracovat palivové soubory od výrobce z USA a Ruska - Ruské federace (Россия - Российская Федерация). SÚJB (Státní úřad pro jadernou bezpečnost) toto nelicencoval a musela být vyměněna všechna jaderná paliva v jaderném reaktoru za jaderná paliva od jednoho výrobce a vzniklo tak 92 tun radioaktivního odpadu.

V současné době ETE pracuje s 4 letým palivovým cyklem, kdy při každé odstávce se vymění přibližně čtvrtina palivových souborů. Získáním licence na čtyř a půl letý palivový cyklus by se dosahovalo větším vyhořením lepšího využití jaderného paliva. Palivo od ruského výrobce počítá se zavezením 36 nových palivových souborů ročně a tak pátý rok zůstane v jaderném reaktoru 19 palivových souborů a tím vznikne čtyř a půlletý palivový cyklus. S výměnou paliva se počítá pravidelně v letních měsících, kdy je nejnižší spotřeba v oblastech, kam je dodávána elektrická energie z ETE.

V budoucnu je třeba využít: - lepší diagnostiky, - lepšího počítačového vybavení, - modernizované palivo, - využívat vyhořívající absorbéry, které umožňují tlumit přebytek aktivity na počátku provozu. Uvedeným je třeba umožnit prodloužení palivových cyklů. Prodloužením cyklů se nejen zlevní provoz elektrárny, množstvím potřebného jaderného paliva a menším množstvím a zkrácením odstavení jaderných reaktorů a tím většího množství vyrobené energie, ale také se sníží množství vznikajícího radioaktivního odpadu. Ve světě se používá 18 a i 24 měsíční prodloužená doba do odstavení jaderného reaktoru z důvodu výměny jaderného paliva. Jen pro představu při 16 měsíční prodloužené době provozu jaderného reaktoru se plánuje výměna 60 palivových souborů po 430 využitelných dnech s dobou odstávky 45 dní. To by znamenalo úsporu 15 dní. Problémem může být, že v případě odstávky v měsících červenci a v srpnu by další odstávka probíhala v zimních měsících v listopadu a prosinci následujícího roku. Při 18 měsíční prodloužené době provozu z důvodu výměny paliva by se muselo z aktivní zóny jaderného reaktoru vyměnit 72 palivových souborů za nové. Došlo by tak ke snížení počtu odstávek a využilo by se více dnů pro výrobu elektrické energie. Průměrná roční odstávka trvá 40 dní a tím by se průměrně ročně ušetřilo 20 dní. Problémem může být, že v případě odstávky v měsících červenci a v srpnu by další odstávka probíhala v zimních měsících v lednu a únoru přespříštího roku. Tyto cykly jsou velmi náročné i na plánování odstávek ostatních elektráren. Na ETE za 40 let vznikne 1750 tun VJP. Při provozu 60 let vznikne 2470 tun VJP.

1.4.4. Palivový cyklus EDU

Na Jaderné elektrárně Dukovany se používala paliva se stejným obohacením ²³⁵U. Paliva byla určena pro tříletý cyklus.

Z důvodu zavedení vyhořivacího absorberu a z důvodu prodloužení cyklu, došlo ke zvýšení obohacení paliva ^{235}U . První palivové články byly obohacené 1,6 % ^{235}U . Od roku 2000 se na 3. bloku JDU používaly palivové kazety s obohacením 3,82 % ^{235}U . Šest palivových proutků obsahovalo v roce 2000 oxid gadolinia (Gd_2O_3) a obohacení paliva bylo na 4 % ^{235}U . Později se začalo používat palivo s obohacením 4,25 % ^{235}U . Potom se začalo používat palivo obohacené na 4,38 % ^{235}U . Profil kazety je do dnešního dne stejný, ale články se prodloužily o 6 cm u palivových kazet s obohacením palivových článků 4,38 % ^{235}U .

Na JDU se nejen zvyšovalo obohacení paliva ^{235}U . Ke zvýšení využívání paliva došlo i zmenšením absorpce tepelných neutronů zmenšením pokrytí palivových článků z 2 mm na 1,5 mm. Dále se začaly nahrazovat ocelové distanční mřížky mřížkami ze zirkonia. Absorpční průřez zirkonia je nižší pro tepelné neutrony než ocel a tím se došlo ke snížení absorpce tepelných neutronů v aktivní zóně.

Střední vyhoření palivových kazet u 3 letého cyklu na jednotkovou hmotnost uranu bylo maximálně 30 MWd/kg U. Dnes míra středního vyhoření kazet vyvezených je 50 MWd/kg.

Došlo ke zvýšení tlaku helia uvnitř palivových proutků ze 107 až na 700 kPa. Tím se zlepšilo vedení tepla v mezeře palivo – povlak, zmenšilo se napětí v povlaku a **snížilo se uvolňování štěpných produktů z palivové kazety**. Dále centrální otvory palivových kazet se zmenšily z průměru 1,6 mm na 1,4 mm.

Prodloužilo to palivové cykly.

Stále však se musí hledat zlepšení palivových cyklů. V aktivní zóně dochází ke změnám vyhořívání jaderného paliva. U nového zavezeného paliva roste s výkonem teplota paliva a teplota pokrytí. Tím se zmenšuje mezera mezi povlakem pokrytí palivového proutku a palivovým proutkem. Roste tlak plynů v palivovém proutku. To vše vede k defektům pokrytí palivového proutku a k deformaci palivových tablet. Vlivem velkých axiálních sil mezi palivem a pokrytím se z paliva uvolňuje vodík a další plyny, které reagují s pokrytím a mají vliv na pokrytí palivového článku. Zvýšením vyhoření se ustaluje tlak na tlak bezpečný z hlediska porušení pokrytí a uzavírá se mezera mezi palivem a pokrytím. Musíme si uvědomit, že změny výkonu vedou ke změnám v palivovém článku, jeho pokrytí. Dochází k neustálým změnám mezer a k radiačnímu creepu. To vše

způsobuje trhliny v palivu a má vliv i na hermetičnost obalu a stav budoucího VJP.

Původní tříletý cyklus se změnil na 3,5 letý cyklus v roce 1987. K přechodu na 4 letý cyklus došlo již uvedením zlepšením neutronové bilance, snížením tloušťky obalu palivových proutků, záměnou materiálu distančních mřížek a zvýšením obohacení ^{235}U . Palivové soubory s uvedeným vyhořívajícím absorbérem na bázi gadolinia a s obohacením na 4,38 % ^{235}U umožnily pětiletý palivový cyklus.

Přes 30 let první blok EDU vyrábí elektřinu. V roce 1986 byly uvedeny do provozu další dva bloky a čtvrtý blok byl uveden do provozu v roce 1987. Instalovaný výkon čtyř bloků se z 1760 MWe zvýšil na 2040 MWe. Cyklus je dnes pětiletý. Uvedené bloky by EDU měla provozovat do roku 2025 a v případě dalšího prodloužení se počítá s provozem současných bloků do roku 2035. Dále se počítá s dostavbou dalšího bloku. S prodlužováním souvisí i nutnost včas postavit sklady pro VJP. Po 40 letech provozu vznikne na EDU 1740 tun VJP. Při předpokládaném provozu 60 let vznikne 2430 tun VJP. To není zde započtena VJP z příponě postaveného 5 bloku na EDU. S tím souvisí i nutnost včasného dalšího postavení skladů na VJP. Celkem při provozu 40 let na EDU a ETE vznikne 3490 tun VJP. Při provozu 60 let vznikne na EDU a ETE celkem 4900 tun VJP. V případě dostavby 2 bloků na ETE a 1 bloku na EDU by po 60 letech provozu vzniklo 9910 tun VJP.

Zvýšení obohacení na 4,86 % ^{235}U by umožnilo zavést šestiletý cyklus. S tím souvisí i možnost prodloužení doby do příští výměny a přeskupení palivových kazet. To znamená na 6 dvanáctiměsíčních období, nebo 4 osmnáctiměsíčních období či 3 dvacetiměsíčních období. Problém je zde legislativní, kdy zatím nelze používat obohacení nad 5 % ^{235}U .

1.4.5. Složení vyhořelého paliva

Vyhořelé jaderné palivo po vyjmutí z reaktoru obsahuje převážnou část existujících prvků. Z důvodu různých druhů izotopů, které vznikají různými způsoby podle druhu jaderného paliva, způsobu a druhu ozařování a podle konstrukce celého reaktoru, v němž palivo vyhořívá, dělíme izotopy při vyhořívání paliva na aktivační produkty, aktinidy + jejich dceřiné produkty a štěpné produkty + jejich dceřiné produkty.

Aktivační produkty vznikají z konstrukčních materiálů. Jsou to ^{60}Co , ^{51}Cr , ^{55}Fe , ^{56}Mn , ^{95}Nb , ^{97}Nb , $^{97\text{m}}\text{Nb}$, ^{63}Ni , ^{95}Zr , ^{97}Zr .

Aktinidy a dceřiné produkty: ^{242}Cm , ^{239}Np , ^{238}Pu , ^{241}Pu , ^{239}U .

Štěpné produkty a jejich dceřiné produkty: $^{137\text{m}}\text{Ba}$, ^{144}Ce , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{147}Pm , ^{144}Pr , ^{106}Rh , ^{106}Ru , ^{90}Sr , ^{90}Y .

Mezi důležité izotopy z hlediska životního prostředí patří izotopy, které jsou toxické, nebo mají vysokou aktivitou, případně dlouhý poločas rozpadu, či se jedná o těkavou látku a plyn a snadno se šíří.

Z aktivačních produktů jsou to izotopy:

- ^3H s dobou poločasu rozpadu 12,35 roků,
- ^{60}Co s dobou poločasu rozpadu 5,27 roků,
- ^{55}Fe s dobou poločasu rozpadu 2,75 roků,
- ^{54}Mn s dobou poločasu rozpadu 312,5 dnů,
- ^{65}Zn s dobou poločasu rozpadu 243,9 dnů,
- ^{95}Zr s dobou poločasu rozpadu 64,09 dnů,
- ^{59}Fe s dobou poločasu rozpadu 44,53 dnů,
- ^{95}Nb s dobou poločasu rozpadu 35,0 dnů.

Z aktinid a dceřiných produktů jsou to izotopy:

- ^{242}Pu s dobou poločasu rozpadu $3,735 \cdot 10^5$ roků,
- ^{239}Pu s dobou poločasu rozpadu $2,411 \cdot 10^4$ roků,
- ^{240}Pu s dobou poločasu rozpadu $6,563 \cdot 10^3$ roků,
- ^{241}Am s dobou poločasu rozpadu 432,0 roků,
- ^{238}Pu s dobou poločasu rozpadu 87,7 roků,
- ^{241}Pu s dobou poločasu rozpadu 14,35 roků,
- ^{242}Cm s dobou poločasu rozpadu 162,94 dnů,
- ^{239}Np s dobou poločasu rozpadu 2,355 dnů.

Ze štěpných produktů jsou to izotopy:

- ^{137}Cs s dobou poločasu rozpadu 30,0 roků,
- ^{90}Sr s dobou poločasu rozpadu 28,7 roků,
- ^{134}Cs s dobou poločasu rozpadu 2,07 roků,
- ^{106}Ru s dobou poločasu rozpadu 372,6 dnů,
- ^{144}Ce s dobou poločasu rozpadu 284,45 dnů,
- ^{89}Sr s dobou poločasu rozpadu 50,5 dnů,
- ^{103}Ru s dobou poločasu rozpadu 39,272 dnů,
- $^{129\text{m}}\text{Te}$ s dobou poločasu rozpadu 33,6 dnů,

- ^{140}Ba s dobou poločasu rozpadu 12,751 dnů,
- ^{131}I s dobou poločasu rozpadu 8,021 dnů,
- ^{99}Mo s dobou poločasu rozpadu 2,747 dnů,
- ^{140}La s dobou poločasu rozpadu 1,6779 dnů
- ^{132}Te s dobou poločasu rozpadu 76,856 hodin,
- ^{90}Y s dobou poločasu rozpadu 64,1 hodin,
- ^{132}I s dobou poločasu rozpadu 2,3 hodin,
- $^{103\text{m}}\text{Rh}$ s dobou poločasu rozpadu 56,1 minut,
- $^{137\text{m}}\text{Ba}$ s dobou poločasu rozpadu 2,55 minut
- ^{106}Rh s dobou poločasu rozpadu 29,92 sekund.

1.4.6. Aktivity vybraných štěpných produktů

Od vyjmutí palivových kazet z jaderného reaktoru, až po uskladnění na dobu mnoha staletí je významná aktivita vyhořelého paliva.

Převážná část štěpných produktů z vyhořelého paliva je nestabilní, rozpadá se a emituje záření. Z důvodu ukládání vyhořelého jaderného paliva je nejdůležitější γ záření a neutronová aktivita.

V tabulkách 1.4.6.1 a 1.4.6.2. jsou uvedeny aktivity vybraných izotopů (štěpných produktů) obsažených ve vyhořelém jaderném palivu. Hodnoty jsou vztaženy k reaktorům VVER-440 a VVER-1000 a jsou přepočítány na 1 t kovového uranu.

Tabulka 1.4.6.1. Aktivita $A_{\text{šp}}$ v [Ci/tU] některých štěpných produktů ve vyhořelém jaderném palivu z VVER-440 po vyhoření 33000 MWd/tU

<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/edu.html>

Prvek	Doba po vyvezení z reaktoru [let]								
	0	5	10	50	100	1000	1000 10 ¹	1000 10 ²	1000 10 ³
⁹⁰ Sr	7,62 10 ⁴	6,77 10 ⁴	6,01 10 ⁴	2,32. 10 ⁴	7,05. 10 ³	3,51 10 ⁻⁶	0	0	0
⁹⁰ Y	7,98 .10 ⁴	6,77 10 ⁴	6,01 10 ⁴	2,32. 10 ⁴	7,05. 10 ³	3,51 10 ⁻⁶	0	0	0
⁹³ Zr	1,858	1,859	1,859	1,85	1,85	1,858	1,851	1,77	1,18
^{93m} Nb	1,31 10 ⁻¹	4,99 10 ⁻¹	7,84 10 ⁻¹	1,63	1,75	1,765	1,758	1,68	1,12
⁹⁹ Tc	1,32 10 ¹	1,33 10 ¹	1,33 10 ¹	1,33. 10 ¹	1,33 10 ¹	1,33 10 ¹	1,29 10 ¹	9,63	5,14. 10 ⁻¹
¹⁰⁶ Ru	4,89 10 ⁵	1,57 10 ⁴	5,04 10 ²	5,75. 10 ⁻¹⁰	0	0	0	0	0
¹⁰⁶ Rh	5,46 10 ⁵	1,57 10 ⁴	5,04 10 ²	5,75. 10 ⁻¹⁰	0	0	0	0	0
¹³⁴ Cs	1,50 10 ⁵	2,79 10 ⁴	5,19 10 ³	7,50. 10 ⁻³	3,76. 10 ⁻¹⁰	0	0	0	0
¹³⁷ Cs	1,04 10 ⁵	9,25 10 ⁴	8,24 10 ⁴	3,27. 10 ⁴	1,03. 10 ⁴	9,59 10 ⁻⁶	0	0	0
^{137m} B a	9,84 10 ⁴	8,75 10 ⁴	7,80 10 ⁴	3,09. 10 ⁴	9,74. 10 ³	9,07 10 ⁻⁶	0	0	0
¹⁴⁴ Ce	1,15 10 ⁶	1,34 10 ⁴	1,56 10 ²	5,25. 10 ⁻¹⁴	0	0	0	0	0
¹⁴⁴ Pr	1,16 10 ⁶	1,34 10 ⁴	1,56 10 ²	5,25. 10 ⁻¹⁴	0	0	0	0	0
¹⁴⁷ Pm	1,32 10 ⁵	3,72 10 ⁴	9,93 10 ³	2,55. 10 ⁻¹	4,67. 10 ⁻⁷	0	0	0	0
Celk. A _{sp}	1,61 10 ⁸	4,60 10 ⁵	3,09 10 ⁵	1,11. 10 ⁵	3,44. 10 ⁴	1,95 10 ¹	1,88 10 ¹	1,45 10 ¹	3,277

Tabulka 1.4.6.2. Aktivita $A_{\text{šp}}$ v [Ci/tU] některých štěpných produktů ve vyhořelém jaderném palivu z VVER-1000 po vyhoření 50000 MWd/tU

<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete.html>

Prvek	Doba po vyvezení z reaktoru [let]								
	0	5	10	50	100	1000	100 .10 ¹	100000	10000 10 ²
⁹⁰ Sr	1,081 10 ⁵	9,60 10 ⁴	8,52 10 ⁴	3,29 10 ⁴	1,001 0 ⁴	4,97 10 ⁻⁶	0	0	0
⁹⁰ Y	1,141 10 ⁵	9,60 10 ⁴	8,52. 10 ⁴	3,29 10 ⁴	1,00 10 ⁴	4,97 10 ⁻⁶	0	0	0
⁹³ Zr	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,69	2,583	1,718
^{93m} Nb	2,54 10 ⁻¹	3,69 10 ⁻¹	1,17	2,38	2,55	2,56	2,55	2,454	1,632
⁹⁹ Tc	1,88 10 ¹	1,89 10 ¹	1,89 10 ¹	1,89 10 ¹	1,89 10 ¹	1,88 10 ¹	1,83 10 ¹	1,36 10 ¹	7,28 .10 ⁻¹
¹⁰⁶ Ru	7,06 10 ⁵	2,27 10 ⁴	7,28 10 ²	8,30 10 ⁻¹⁰	0	0	0	0	0
¹⁰⁶ Rh	7,94 10 ⁵	2,27 10 ⁴	7,28 10 ²	8,30 10 ⁻¹⁰	0	0	0	0	0
¹³⁴ Cs	3,16 10 ⁵	5,88 10 ⁴	1,10. 10 ⁴	1,58 10 ⁻²	7,95 10 ⁻¹⁰	0	0	0	0
¹³⁷ Cs	1,55 10 ⁵	1,38 10 ⁵	1,23 10 ⁵	4,88 10 ⁴	1,54 10 ⁴	1,43 10 ⁻⁵	0	0	0
^{137m} Ba	1,471 10 ⁵	1,31 10 ⁵	1,16 10 ⁵	4,62 10 ⁴	1,46 10 ⁴	1,35 10 ⁻⁵	0	0	0
¹⁴⁴ Ce	1,321 10 ⁶	1,53 10 ⁴	1,79 10 ²	6,02 10 ⁻¹⁴	0	0	0	0	0
¹⁴⁴ Pr	1,331	1,53	1,79	6,02	0	0	0	0	0

	10^6	10^4	10^2	10^{-14}					
¹⁴⁷ Pm	1,271 10^5	3,61 10^4	9,64 10^3	2,48 10^{-1}	4,54 10^{-7}	0	0	0	0
Celk. Ašp	1,911 10^8	6,68 10^5	4,53 10^5	1,62 10^5	5,03 10^4	2,83 10^1	2,72 10^1	20,9	4,742

Po vyjmutí z reaktoru má nejvyšší podíl v celkové aktivitě štěpných produktů izotop ¹⁴⁴Ce a ¹⁴⁴Pr, jejichž aktivita rychle klesá. Po deseti letech má nejvyšší aktivitu izotop ⁹⁰Sr, ⁹⁰Y, ¹³⁷Cs a ^{137m}Ba. Po době 1000 let od vyjmutí má již aktivitu jen izotopy ⁹³Zr, ⁹⁹Nb a ^{93m}Tc.

1.4.7. Aktivita aktinidů a jejich dceřiných produktů

Aktinidů a jejich dceřiných produktů obsahuje vyhořelé jaderné palivo značné množství. Vznikají postupným ozařováním jaderného paliva a radiačním záchytem na uranu ²³⁸U a dalších vyšších izotopech.

Jejich přepočtená aktivita na 1 t jaderného paliva pro reaktory VVER 440 a VVER 1000 je uvedena v tabulkách 1.4.7.1 a 1.4.7.2.

Tabulka 1.4.7.1. Množství G_{akt} v [g/tU] vybraných aktinidech a jejich dceřiných produktech ve vyhořelém jaderném palivu z VVER-440 po vyhoření 33000 MWd/tU

<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/jaderna-energetika/jaderne-elekrarny-cez/edu.html>

Prvek	Doba po vyvezení z reaktoru [let]								
	0	5	10	50	100	1000	10000	1000 10 ²	1000 10 ³
⁰⁰⁴ He	2,16 10 ⁻¹	5,83 10 ⁻¹	7,96 10 ⁻¹	2,719	5,021	2,50 10 ¹	6,79 10 ¹	1,48 10 ²	2,49 10 ²
²⁰⁶ Pb	2,4 10 ⁻¹³	9,0 10 ⁻¹²	5,9 10 ⁻¹¹	1,35 10 ⁻⁸	1,64 10 ⁻⁷	4,15 10 ⁻⁴	2,21 10 ⁻¹	2,45 10 ¹	3,37 10 ²
²⁰⁹ Bi	7,9 10 ⁻¹¹	2,7 10 ⁻¹⁰	4,7 10 ⁻¹⁰	3,58 10 ⁻⁹	1,56 10 ⁻⁸	1,58 10 ⁻⁵	2,36 10 ⁻²	8,03 2	3,25 10 ²
²³² Th	2,12 10 ⁻⁴	8,44 10 ⁻⁴	1,48 10 ⁻³	6,55 10 ⁻³	1,29 10 ⁻²	1,30 10 ⁻¹	1,485	1,80 10 ¹	1,81 10 ²
²³⁴ U	1,80 10 ²	1,86 10 ²	1,91 10 ²	2,25 10 ²	2,55 10 ²	3,17 10 ²	3,11 10 ²	2,52 10 ²	6,64. 10 ²
²³⁵ U	9,60 10 ³	9,60 10 ³	9,60 10 ³	9,60 10 ³	9,62 10 ³	9,74 10 ³	1,09 10 ⁴	1,45 10 ⁴	1,47 10 ⁴
²³⁶ U	4,35 10 ³	4,35 10 ³	4,35 10 ³	4,35 10 ³	4,37 10 ³	4,55 10 ³	5,63 10 ³	6,29 10 ³	6,13 10 ³
²³⁸ U	9,42 10 ⁵	9,42 10 ⁵	9,42 10 ⁵	9,42 10 ²	9,42 10 ²	9,42 10 ²	9,42 10 ²	9,42 10 ²	9,42 10 ²
²³⁷ Np	4,64 10 ²	4,77 10 ²	4,80 10 ²	5,34 10 ²	6,19 10 ²	1,42 10 ³	1,67 10 ³	1,62 10 ³	1,21 10 ³
²³⁸ Pu	1,27 10 ²	1,33 10 ²	1,28 10 ²	9,37 10 ¹	6,33 10 ¹	5,86 10 ⁻²	2,5 10 ⁻²⁰	0	0

²³⁹ Pu	5,06 10 ³	5,16 10 ³	5,14 10 ³	5,14 10 ³	5,13 10 ³	5,01 10 ³	3,90 10 ³	2,94 10 ²	7,66., 10 ⁻⁷
²⁴⁰ Pu	1,98 10 ³	1,98 10 ³	1,98 10 ³	1,99 10 ³	1,98 10 ³	1,80 10 ³	6,92 10 ²	4,97. 0 ⁻²	1,38 10 ⁻⁶
²⁴¹ Pu	1,18 10 ³	9,30 10 ²	7,31 10 ²	1,07 10 ²	9,601	9,56 10 ⁻⁴	4,59 10 ⁻⁴	2,98 10 ⁻⁷	0
²⁴² Pu	3,94. 10 ²	3,94.1 0 ²	3,94. 10 ²	3,94 10 ²	3,94 10 ²	3,93 10 ²	3,87 10 ²	3,29 10 ²	65,7
²⁴¹ Am	3,44 10 ¹	2,86 10 ²	4,82 10 ²	1,05 10 ³	1,06 10 ³	2,53 10 ²	1,39 10 ⁻²	9,42 10 ⁻⁶	0
Celk. G_{akt}	9,66 10 ⁵	9,66 10 ⁵	9,66 10 ⁵	9,66 10 ⁵	9,66 10 ⁵	9,66 10 ⁵	9,66 10 ⁵	9,66 10 ⁵	9,66 10 ⁵

Tabulka 1.4.7.2. Množství G_{akt} v [g/tU] vybraných aktinidech a jejich dceřiných produktech ve vyhořelém jaderném palivu z VVER-1000 po vyhoření 50000 MWd/tU

<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/jaderna-energetika/jaderne-elekrarny-cez/ete.html>

Prvek	Doba po vyvezení z reaktoru [let]								
	0	5	10	50	100	1000	1000 10 ¹	1000 10 ²	1000 10 ³
⁴ He	6,9 10 ⁻¹	1,6	2,2	6,3	1,05 10 ¹	4,03 10 ¹	1,03 10 ²	2,17 10 ²	3,69 10 ²
²⁰⁶ Pb	1,32. 10 ⁻¹²	2,1.10 -11	7,9 10 ⁻¹¹	1,25 10 ⁻⁸	1,63 10 ⁻⁷	6,61 10 ⁻⁴	3,74 10 ⁻¹	4,14 10 ¹	5,16 10 ²
²⁰⁹ Bi	3,6.1 0 ⁻¹⁰	1,11.1 0 ⁻⁹	1,86. 10 ⁻⁹	1,06 10 ⁻⁸	3,67 10 ⁻⁸	2,74 10 ⁻⁵	3,69 10 ⁻²	1,24 10 ¹	5,03 10 ²
²³² Th	3,99. 10 ⁻⁴	1,23.1 0 ⁻³	2,07. 10 ⁻³	8,76 10 ⁻³	1,72 10 ⁻²	1,72 10 ⁻¹	2,012 10 ¹	2,52. 10 ¹	2,54.10 2
²³⁴ U	1,41. 10 ²	1,56.1 0 ²	1,71. 10 ²	2,71 10 ²	3,59 10 ²	5,40 10 ²	5,28 10 ²	4,20 10 ²	7,85.10 1
²³⁵ U	7,42. 10 ³	7,42.1 0 ³	7,43. 10 ³	7,43 10 ³	7,44 10 ³	7,61 10 ³	9,11 10 ³	1,39. 10 ⁴	1,43.10 4
²³⁶ U	5,74 10 ³	5,741 0 ³	5,74 10 ³	5,76 10 ³	5,77 10 ³	6,06 10 ³	7,79 10 ³	8,85 10 ³	8,62 10 ³
²³⁸ U	9,21 10 ⁵	9,211 0 ⁵	9,21 10 ⁵	9,21 10 ²	9,21 10 ²	9,21 10 ²	9,21 10 ²	9,21 10 ²	9,22 10 ²
²³⁷ N p	9,24 10 ²	9,491 0 ²	9,51 10 ²	1,03 10 ³	1,14 10 ³	2,24 10 ³	2,58 10 ³	2,51 10 ³	1,87 10 ³
²³⁸ Pu	3,82 10 ²	3,811 0 ²	3,75 10 ²	2,74 10 ²	1,85 10 ²	1,63 10 ⁻¹	4,4 10 ⁻²⁰	0	0

²³⁹ Pu	6,69 10 ³	6,801 0 ³	6,80 10 ³	6,79 10 ³	6,78 10 ³	6,63 10 ³	5,20 10 ³	3,97 10 ²	1,45 10 ⁻⁵
²⁴⁰ Pu	3,10 10 ³	3,121 0 ³	3,13 10 ³	3,16 10 ³	3,16 10 ³	2,87 10 ³	1,11 10 ³	7,9 10 ⁻²	6,16 10 ⁻⁶
²⁴¹ Pu	1,61. 10 ³	1,27.1 0 ³	9,97. 10 ²	1,45 10 ²	1,31 10 ¹	7,27 10 ⁻³	3,45 10 ⁻³	2,26 10 ⁻⁶	0
²⁴² Pu	6,82. 10 ²	6,82.1 0 ²	6,82. 10 ²	6,82 10 ²	6,82 10 ²	6,81 10 ²	6,71 10 ²	5,71 10 ²	1,14 10 ²
²⁴¹ Am	5,41. 10 ¹	3,97.1 0 ²	6,64. 10 ²	1,44 10 ³	1,45 10 ³	3,47 10 ²	1,05 10 ⁻¹	7,16 10 ⁻⁵	0
Celk. G_{akt}	9,49. 10 ⁵	9,49.1 0 ⁵	9,49. 10 ⁵	9,49 10 ⁵	9,49 10 ⁵	9,49 10 ⁵	9,49 10 ⁵	9,49 10 ⁵	9,49.10 ⁵

Po vyjmutí z reaktoru má nejvyšší množství ve vyhořelém jaderném palivu izotop ²³⁸U. Za padesát let se podíl ²³⁸U výrazně zmenší a tím se zvětší podíl ostatních izotopů. Po milionu let, od vyvezení jaderného paliva má největší podíl izotop ²³⁵U a ²³⁶U a k největšímu množství dojde u izotopu ²⁰⁶Pb.

Tabulka 1.4.7.3. Aktivita A_{sp} v [Ci/tU] vybraných aktinidech a jejich dceřiných produktech ve vyhořelém jaderném palivu z VVER-440 po vyhoření 33000 MWd/tU

<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/jaderna-energetika/jaderne-elekrarny-cez/edu.html>

Prvek	Doba po vyvezení z reaktoru [let]								
	0	5	10	50	100	1000	1000 10 ¹	1000 10 ²	1000 10 ³
²⁰⁹ Pb	3,20. 10 ⁻⁷	9,34. 10 ⁻⁸	1,04. 10 ⁻⁷	3,19. 10 ⁻⁷	9,40. 10 ⁻⁷	1,28. 10 ⁻⁴	1,68. 10 ⁻²	4,11. 10 ⁻¹	9,06. 10 ⁻¹
²¹³ Bi	3,20. 10 ⁻⁷	9,34. 10 ⁻⁸	1,04. 10 ⁻⁷	3,19. 10 ⁻⁷	9,40. 10 ⁻⁷	1,28. 10 ⁻⁴	1,68. 10 ⁻²	4,11. 10 ⁻¹	9,06. 10 ⁻¹
²¹³ Po	3,13. 10 ⁻⁷	9,14. 10 ⁻⁸	1,02. 10 ⁻⁷	3,12. 10 ⁻⁷	9,19. 10 ⁻⁷	1,26. 10 ⁻⁴	1,65. 10 ⁻²	4,02. 10 ⁻¹	8,87. 10 ⁻¹
²¹⁷ At	3,20. 10 ⁻⁷	9,34. 10 ⁻⁸	1,04. 10 ⁻⁷	3,19. 10 ⁻⁷	9,40. 10 ⁻⁷	1,28. 10 ⁻⁴	1,68. 10 ⁻²	4,11. 10 ⁻¹	9,06. 10 ⁻¹
²²¹ Fr	3,20. 10 ⁻⁷	9,34. 10 ⁻⁸	1,04. 10 ⁻⁷	3,19. 10 ⁻⁷	9,40. 10 ⁻⁷	1,28. 10 ⁻⁴	1,68. 10 ⁻²	4,11. 10 ⁻¹	9,06. 10 ⁻¹
²²⁵ Ra	3,20. 10 ⁻⁷	9,34. 10 ⁻⁸	1,04. 10 ⁻⁷	3,19. 10 ⁻⁷	9,40. 10 ⁻⁷	1,28. 10 ⁻⁴	1,68. 10 ⁻²	4,11. 10 ⁻¹	9,06. 10 ⁻¹
²²⁵ Ac	3,20. 10 ⁻⁷	9,34. 10 ⁻⁸	1,04. 10 ⁻⁷	3,19. 10 ⁻⁷	9,40. 10 ⁻⁷	1,28. 10 ⁻⁴	1,68. 10 ⁻²	4,11. 10 ⁻¹	9,06. 10 ⁻¹
²²⁹ Th	8,60. 10 ⁻⁸	9,34. 10 ⁻⁸	1,04. 10 ⁻⁷	3,19. 10 ⁻⁷	9,40. 10 ⁻⁷	1,28. 10 ⁻⁴	1,68. 10 ⁻²	4,11. 10 ⁻¹	9,06. 10 ⁻¹
²³³ Pa	3,39. 10 ⁻¹	3,36. 10 ⁻¹	3,38. 10 ⁻¹	3,77. 10 ⁻¹	4,37. 10 ⁻¹	1,004	1,176	1,143	8,54. 10 ⁻¹
²³³ U	1,17. 10 ⁻⁵	1,97. 10 ⁻⁵	2,66. 10 ⁻⁵	8,88. 10 ⁻⁵	1,78. 10 ⁻⁴	3,27. 10 ⁻³	4,86. 10 ⁻²	4,10. 10 ⁻¹	9,06. 10 ⁻¹

²³⁹ U	1,93. 10 ⁷	0	0	0	0	0	0	0	0
²³⁷ Np	3,27. 10 ⁻¹	3,36. 10 ⁻¹	3,38. 10 ⁻¹	3,77. 10 ⁻¹	4,37. 10 ⁻¹	1,004	1,176	1,143	8,54. 10 ⁻¹
²³⁹ Np	1,93. 10 ⁷	1,43. 10 ¹	1,43. 10 ¹	1,42. 10 ¹	1,41. 10 ¹	1,30. 10 ¹	5,578	1,19. 10 ⁻³	4,75. 10 ⁻⁸
²³⁸ Pu	2,18 10 ³	2,28 10 ³	2,20 10 ³	1,60 10 ³	1,08 10 ³	1,003	4,2 10 ⁻¹⁹	0	0
²³⁹ Pu	3,15 10 ²	3,20 10 ²	3,20 10 ²	3,20 10 ²	3,19 10 ²	3,11 10 ²	2,42 10 ²	1,83 10 ¹	4,76 10 ⁻⁸
²⁴⁰ Pu	4,51 10 ²	4,52 10 ²	4,52 10 ²	4,53 10 ²	4,51 10 ²	4,10. 10 ²	1,58 10 ²	1,13 10 ⁻²	3,15 10 ⁻⁷
²⁴¹ Pu	1,22 10 ⁵	9,58 10 ⁴	7,53 10 ⁴	1,10 10 ⁴	9,90 10 ²	9,85 10 ⁻²	4,73 10 ⁻²	3,07 10 ⁻⁵	0
²⁴¹ Am	1,18 10 ²	9,82 10 ²	1,66 10 ³	3,61 10 ³	3,65. 10 ³	8,69 10 ²	4,78 10 ⁻²	3,23 10 ⁻⁵	0
²⁴² Cm	3,38 10 ⁴	2,55 10 ¹	1,07 10 ¹	8,918	1,756	1,756	1,758	1,688	1,123
Celk. A_{akt}	4,05 10 ⁷	1,01 10 ⁵	8,11 10 ⁴	1,73 10 ⁴	6,58 10 ³	1,62 10 ³	4,20 10 ²	3,911 0 ¹	1,70 10 ¹

Tabulka 1 4.7.4. Aktivita A_{sp} v [Ci/tU] vybraných aktinidech a jejich dceřiných produktech ve vyhořelém jaderném palivu z VVER-1000 po vyhoření 50000 MWd/tU

<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/jaderna-energetika/jaderne-elekrarny-cez/ete.html>

Prvek	Doba po vyvezení z reaktoru [let]								
	0	5	10	50	100	1000	1000 10^1	1000 10^2	1000 10^3
^{209}Pb	1,18. 10^{-6}	3,62. 10^{-7}	3,80.1 0^{-7}	7,74. 10^{-7}	9,40.1 0^{-7}	1,28. 10^{-4}	1,68. 10^{-2}	4,11. 10^{-1}	9,061 0^{-1}
^{213}Bi	1,18. 10^{-6}	3,62. 10^{-7}	3,80.1 0^{-7}	7,74. 10^{-7}	9,40.1 0^{-7}	1,28. 10^{-4}	1,68.1 0^{-2}	4,11. 10^{-1}	9,061 0^{-1}
^{213}Po	1,15. 10^{-6}	3,54. 10^{-7}	3,71.1 0^{-7}	7,58. 10^{-7}	9,19.1 0^{-7}	1,26. 10^{-4}	1,65. 10^{-2}	4,02. 10^{-1}	8,871 0^{-1}
^{217}At	1,18. 10^{-6}	3,62. 10^{-7}	3,80.1 0^{-7}	7,74. 10^{-7}	9,40.1 0^{-7}	1,28. 10^{-4}	1,68. 10^{-2}	4,11. 10^{-1}	9,061 0^{-1}
^{221}Fr	1,18 10^{-6}	3,62 10^{-7}	3,80 10^{-7}	7,74 10^{-7}	9,40 10^{-7}	1,28 10^{-4}	1,68 10^{-2}	4,11 10^{-1}	9,06 10^{-1}
^{225}Ra	1,18 10^{-6}	3,62 10^{-7}	3,80 10^{-7}	7,74 10^{-7}	9,40 10^{-7}	1,28 10^{-4}	1,68 10^{-2}	4,11 10^{-1}	9,06 10^{-1}
^{225}Ac	1,18. 10^{-6}	3,62. 10^{-7}	3,80.1 0^{-7}	7,74. 10^{-7}	9,40.1 0^{-7}	1,28. 10^{-4}	1,68. 10^{-2}	4,11. 10^{-1}	9,06 10^{-1}
^{229}Th	3,51 10^{-7}	3,62 10^{-7}	3,80 10^{-7}	7,74 10^{-7}	9,40 10^{-7}	1,28 10^{-4}	1,68 10^{-2}	4,11 10^{-1}	9,06 10^{-1}
^{233}Pa	6,82 10^{-1}	6,68 10^{-1}	6,71 10^{-1}	7,23 10^{-1}	4,37 10^{-1}	1,00	1,176	1,14	8,541 0^{-1}
^{233}U	1,54 10^{-5}	3,12 10^{-5}	4,49 10^{-5}	1,66 10^{-4}	1,78 10^{-4}	3,27 10^{-3}	4,86 10^{-2}	4,10 10^{-1}	9,06 10^{-1}

²³⁹ U	2,55 10 ⁷	0	0	0	0	0	0	0	0
²³⁷ Np	6,52 10 ⁻¹	6,68 10 ⁻¹	6,71 10 ⁻¹	7,23 10 ⁻¹	4,37 10 ⁻¹	1,00	1,176	1,14	8,54 10 ⁻¹
²³⁹ Np	2,55 10 ⁷	3,86 10 ¹	3,86 10 ¹	3,84 10 ¹	1,41 10 ¹	1,30 10 ¹	5,578	1,19 10 ⁻³	4,75 10 ⁻⁸
²³⁸ Pu	6,54 10 ³	6,68 10 ³	6,42 10 ³	4,69 10 ³	1,08 10 ³	1,00 3	4,2 10 ⁻¹⁹	0	0
²³⁹ Pu	4,16 10 ²	4,23 10 ²	4,23 10 ²	4,22 10 ²	3,19 10 ²	3,11 10 ²	2,42 10 ²	1,83 10 ¹	4,76 10 ⁻⁸
²⁴⁰ Pu	7,07 10 ²	7,10 10 ²	7,13 10 ²	7,21 10 ²	4,51 10 ²	4,10 10 ²	1,58 10 ²	1,13 10 ⁻²	3,15 10 ⁻⁷
²⁴¹ Pu	1,66 10 ⁵	1,31 10 ⁵	1,03 10 ⁵	1,50 10 ⁴	9,90 10 ²	9,85 10 ⁻²	4,73 10 ⁻²	3,07 10 ⁻⁵	0
²⁴¹ Am	1,86 10 ²	1,36 10 ³	2,28 10 ³	4,94 10 ³	3,65 10 ³	8,69 10 ²	4,78 10 ⁻²	3,23 10 ⁻⁵	0
²⁴² Cm	6,76 10 ⁴	4,89 10 ¹	1,94 10 ¹	1,61 10 ¹	1,756	1,76	1,758	1,68 8	1,12
Celk. A_{akt}	5,50 10 ⁷	1,46 10 ⁵	1,18 10 ⁵	2,70 10 ⁴	1,09 10 ⁴	2,34 10 ³	6,20 10 ²	5,80 10 ¹	2,39 10 ¹

Po vyjmutí z reaktoru má nejvyšší podíl na celkové aktivitě izotop ²³⁹U a ²³⁹Np, ale z těchto uvedených izotopů aktivita s časem velmi rychle ubývá. Po pěti letech má ²³⁹U nulové hodnoty. Nejvýšše aktivním se stává po pěti letech ²⁴¹Pu. Po sto letech má nejvyšší podíl na aktivitě ²⁴¹Am. Po desetitisících má nejvyšší podíl na aktivitě izotop ²³⁹Pu a ²⁴⁰Pu. Po miliónu let má nejvyšší podíl na aktivitě izotop ²⁴²Cm. Časem roste aktivita izotopů ²⁰⁹Pb, ²¹³Bi, ²¹³Po, ²¹⁷At, ²²¹Fr, ²²⁵Ra, ²²⁵Ac, ²²⁹Th a ²³³U, jež ze začátku málo ovlivňovaly celkovou aktivitu.

Schéma 1.4.7.1. Srovnání radiotoxicity vyhořelého jaderného paliva a radiotoxicity uranové rudy

<http://www.surao.cz>

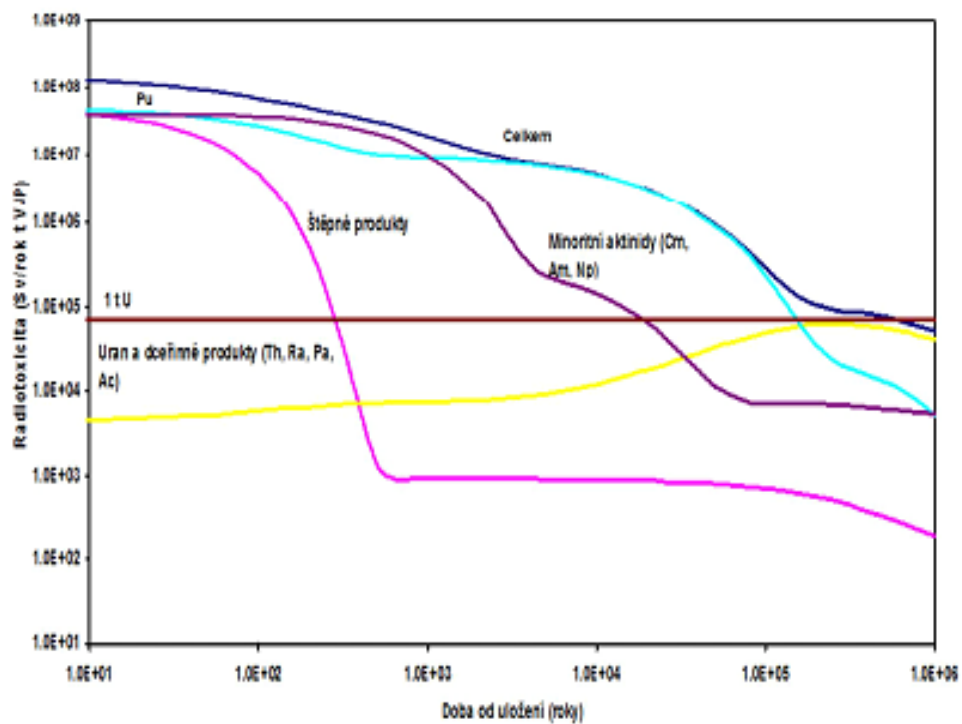
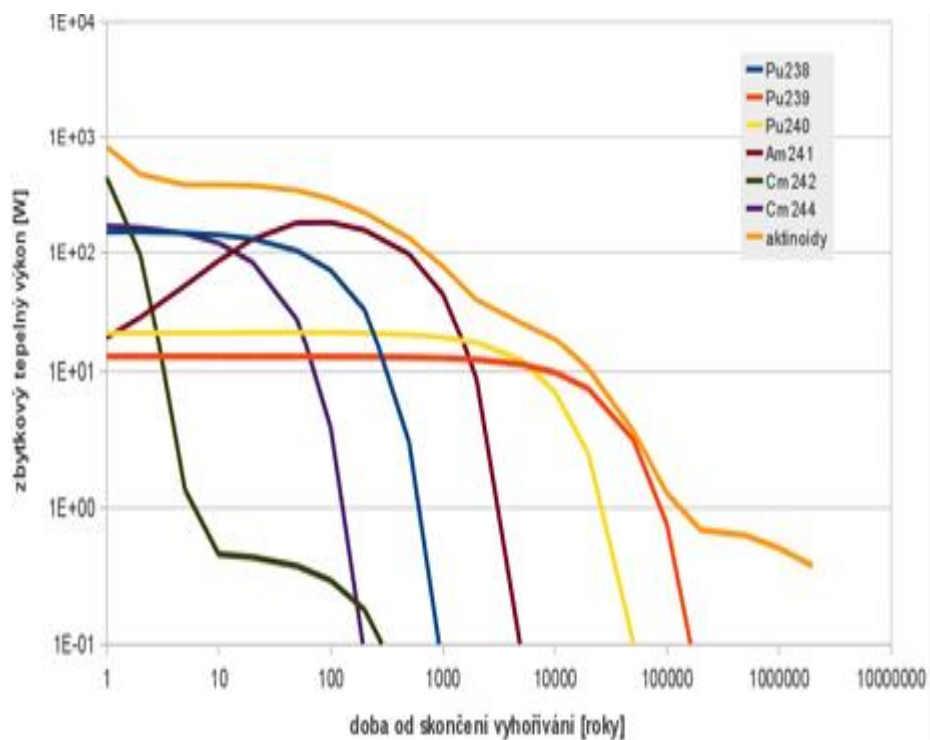


Schéma 1.4.7.2. Graf časové závislosti zbytkového tepelného výkonu vybraných aktinoidů v palivu s počáteční hmotností těžkých kovů 1 tuna

<http://www.surao.cz>



1.4.8. Radioaktivita konstrukčních materiálů

Konstrukční materiály po vytažení vyhořelého jaderného paliva z reaktoru se podílí velmi málo na celkové aktivitě vyhořelého jaderného paliva. V ozářených konstrukčních materiálech se časem produkují izotopy s velmi dlouhým poločasem rozpadu. Z důvodu dlouhého poločasu rozpadu je tedy nutné do celkové aktivity započítávat i aktivitu konstrukčních materiálů.

1.4.9. Celková aktivita vyhořelého jaderného paliva

Aktivity vyhořelého jaderného paliva po vyvezení z jaderného reaktoru po dobu miliónu let se vyznačuje malým poklesem. Z uvedených důvodů je proto nutné vyhořelé palivo ukládat odděleně v prostředí zajišťující neměné podmínky na okolní prostředí.

Tabulky 1.4.9.1 a 1.4.9.2 uvádí aktivitu přepočtenou na 1 tunu vyhořelého paliva daných skupin izotopů na celkové aktivitě vyjmutého vyhořelého jaderného paliva z reaktorů VVER-440 a VVER-1000.

Tabulka 1.4.9.1. Celková aktivita (A) v [Ci/tU] ve vyhořelém jaderném palivu VVER-440, po vyhoření 33000 MWd/tU

<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/jaderna-energetika/jaderne-elekrarny-cez/edu.html>

	Doba po vyvezení z reaktoru [let]								
	0	5	10	50	100	1000	1000 10 ¹	1000 10 ²	1000 10 ³
AP	8,42 10 ⁵	6,93 10 ³	2,75 10 ³	2,15 10 ²	1,38 10 ²	1,40 10 ¹	1,05 10 ¹	1,93	6,04 10 ⁻¹
AKT	4,05 10 ⁷	1,01 10 ⁵	8,11 10 ⁴	1,73 10 ⁴	6,58 10 ³	1,62 10 ³	4,20 10 ²	3,91 10 ¹	1,70 10 ¹
ŠP	1,61 10 ⁸	4,60 10 ⁵	3,09 10 ⁵	1,11 10 ⁵	3,44 10 ⁴	1,95 10 ¹	1,88 10 ¹	1,45 10 ¹	3,227
Celk. A	2,03 10 ⁸	5,68 10 ⁵	3,93 10 ⁵	1,28 10 ⁵	4,11 10 ⁴	1,66 10 ³	4,49 10 ²	5,56 10 ¹	2,08 10 ¹

Tabulka 1.4.9.2. Celková aktivita (A) v [Ci/tU] ve vyhořelém jaderném palivu z VVER-1000, povyhoření 50000 MWd/tU

<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/jaderna-energetika/jaderne-elektřarny-cez/ete.html>

	Doba po vyvezení z reaktoru [let]								
	0	5	10	50	100	1000	10000	100000	1000000
AP	1,02 10 ⁶	1,44 10 ⁴	5,69 10 ³	4,31 10 ²	2,79 10 ²	1,32 10 ¹	1,00. 10 ¹	2,655	6,69 10 ⁻¹
AKT	5,50. 10 ⁷	1,46 10 ⁵	1,18 10 ⁵	2,70 10 ⁴	1,09 10 ⁴	2,34 10 ³	6,20 10 ²	5,80 10 ¹	2,39 10 ¹
ŠP	1,91 10 ⁸	6,68 10 ⁵	4,53 10 ⁵	1,62 10 ⁵	5,03 10 ⁴	2,83 10 ¹	2,72 10 ¹	2,09 10 ¹	4,742
Celk. A	2,47 10 ⁸	8,28 10 ⁵	5,77 10 ⁵	1,90 10 ⁵	6,15 10 ⁴	2,38 10 ³	6,58 10 ²	8,16 10 ¹	2,93 10 ¹

Z tabulek vyplývá, že štěpné produkty se podílí nejvíce na celkové aktivitě prvních sto let po vyvezení jaderného paliva z reaktoru. Po vyvezení po tisících letech se stávají nejvíce aktivní aktinidy a jejich dceřiné produkty. Dále se zvyšuje vliv aktivity aktivačních produktů.

Krátkodobé produkty mají v období deseti let po vytažení jaderné paliva vysokou aktivitu. Po padesáti letech po vytažení jaderného paliva z reaktoru jsou příčinou vysoké aktivity středně a dlouhodobé produkty. Střední aktivita po dalším období až do miliónu let je zapříčiněna rozpadem dlouhodobých produktů.

1.4.10. Radioaktivních odpady

Podle aktivity rozdělujeme radioaktivní odpady do kategorií. Do první a druhé kategorie patří LLW (Low Level Waste nízkoaktivní odpady). Do třetí a čtvrté kategorie řadíme, Intermedium ILW (Level Waste středně aktivní odpady) a do poslední páté kategorie řadíme i HLW (High Level Waste vysoce aktivní odpady).

Tabulka 1.4.10. Zařazení radioaktivních odpadů

Název	Kategorie	Aktivita [Bq/kg]
Nízkoaktivní odpady	1	<37
	2	$37-3,7 \cdot 10^4$
Středně aktivní odpady	3	$3,7 \cdot 10^4-3,7 \cdot 10^6$
	4	$3,7 \cdot 10^6-3,7 \cdot 10^{11}$
Vysoce aktivní odpady	5	$3,7 \cdot 10^{11}$ a více

Mezi nízkoaktivní odpady patří převážně vznikající odpady při činnosti související s provozem při výrobě energie v provozech. Jsou to ochranné pracovní oděvy a prostředky pracovníků (textil, rukavice), hygienické osobní potřeby pracovníků (kapesníky, ubrousky), použité a vyřazené předměty a zařízení vznikající při provozu, inovacích a údržbě (železné kovy, barevné kovy, plasty, sklo). Do středně aktivních odpadů řadíme konstrukční materiály palivových kazet. K vysoce aktivním odpadům patří štěpné produkty vznikající v jaderném reaktoru ve vyhořelém palivu.

Vyhořelé jaderné palivo objemově nepřesahuje jedno procento radioaktivních odpadů. Toto vyhořelé palivo však představuje většinu celkové radioaktivity ze všech odpadů. Přičemž vysoce aktivních štěpných produktů obsahuje vyhořelé palivo do pěti procent.

Vyhořelé jaderné palivo a ostatní radioaktivní odpady se liší nejen vlastnostmi chemickými a dalšími. Nejvíce se však odlišují tím, že nejsou stabilní. Z uvedeného je nutné zajistit zvláštní pozornost k zajištění ochrany zdraví lidí a životního prostředí.

1.4.11. Ochrana životního prostředí

Česká republika nakládá s radioaktivními odpady v souladu se zákonem č. 18/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Dozorem kontroly nad radioaktivním odpadem je pověřen Státní úřad pro jadernou bezpečnost.

1.4.12. Uskladnění vyhořelého jaderného paliva

Vyhořelé palivové kazety se vysunou ven z jaderného reaktoru a přesunou se kanálem pod hladinou upravené chladicí kapaliny do prostoru vyhořelého paliva

umístěného vedle jaderného reaktoru. Zde po dobu více jak čtyř let dochází k rozpadu krátkodobých nuklidů za stálého dochlazování, až do doby než poklesne radioaktivita vyhořelého jaderného paliva asi na 50 %. V dalším období dojde k uložení ochlazeného vyhořelého jaderného paliva do speciálních obalových souborů, které jsou odvezeny a uskladněny ve skladech v ČR u jaderných elektráren na několik desítek let, podle skladovacích možností skladu

Potom je možné postupovat podle možností dané v uvedené době.

Zatím se předpokládají dvě varianty nakládání s vyhořelým jaderným palivem. Jedna varianta je přepracovat vyhořelé palivo na nové. Tento proces je v současné době velice technicky a ekonomicky náročnější než prvotní výroba jaderného paliva z vytěžených surovin. Vysoce aktivních produkty vzniklé po přepracování, pro které není další využití, se plánuje ukládat do v budoucnu vybudovaného trvalého hlubinného úložiště.

Další zatím uvažovanou možností je odvezení a umístění vyhořelého jaderného paliva bez přepracování do v budoucnu vybudovaného trvalého hlubinného úložiště.

Já nevylučuji ani nulovou variantu a to, že vyhořelé jaderné palivo zůstane i na staletí ve skladech u jaderných elektráren.

Ještě do nedávné doby se uvažovalo i o možnostech uložení vyhořelého jaderného paliva a vysoce radioaktivních odpadů do společně vybudovaného mezinárodního úložiště. V úvahu připadala Ukrajina, dokad' se tato země jevila zemí z tohoto hlediska bezpečnou.

Největším nebezpečím pro životní prostředí je únik vyhořelého jaderného paliva do okolí, ke kterému by mohlo dojít při přemísťování vyhořelého jaderného paliva do obalových souborů, do úložných obalových souborů a super kontejneru. Z tohoto důvodu je přepravě a přemísťování věnována velká bezpečnost.

Z důvodu, aby nedošlo k úniku vyhořelého jaderného paliva do okolí, je vyhořelé jaderné palivo oddělováno od okolního prostředí bariérami. Nejčastěji je chráněno hermetickým povlakem, pokavad' nedojde k poškození povlaku. Dále se vyhořelé jaderné palivo umísťuje do obalových souborů a předpokládá se ukládání do úložných obalových souborů, dále do super kontejneru a dalším obložením těsnícím nepropustným materiálem a přírodním horninovým masivem.

1.4.13. Přepřacování vyhořelého jaderného paliva

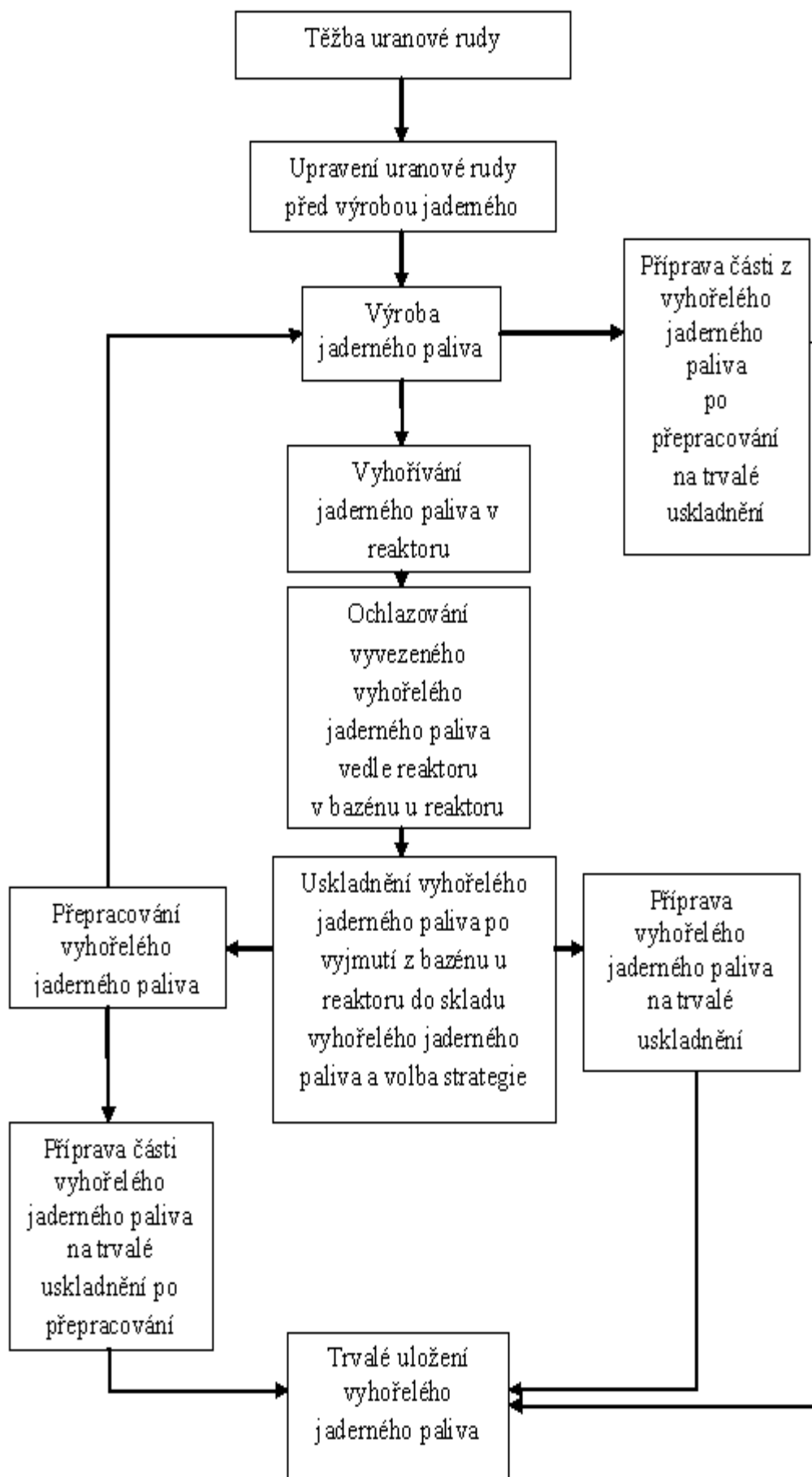
Přepřacováním vyhořelého jaderného paliva dochází k oddělení uranu a plutonia. Plutonium lze znova použít jako palivo. Nejdříve se musí z vyhořelého jaderného palivového článku odstranit hermetický obal. Při tomto je nutno zabezpečit, aby nedošlo k uvolnění plyných i tuhých radioaktivních látek, které se zde nahromadily, aby neunikly do životního prostředí. Jedná se plyny ^3H , ^{129}I a ^{85}Kr , aerosoly ^{134}Cs , ^{137}Cs a ^{90}Sr , těžké nuklidy ruthenia a v malém množství i o aktinidy a plutonium.

1.4.14. Trvalé uložení

V současné době jsou vybírány území pro trvalé uložení vyhořelého jaderného paliva. Území se vybírají s ohledem na minimální nepropustnost geologickým prostředím z důvodu zabránění šíření radioaktivních látek do životního prostředí. Je to z důvodu, když by došlo k porušení celistvosti všech uměle vytvořených obalů zajišťující umělou bariéru. K porušení uvedených obalů by nemělo dojít dříve, než dojde k rozpadu podstatné části radionuklidů. Proto trvalé úložiště musí mít několikanásobný nezávislý bariérový systém proti úniku radionuklidů.

První bariérou by mělo být samotné palivo s ochranným povlakem. Dále se vyvíjí a zkouší úložné obalové soubory z uhlíkatých ocelí, z titanu, niklu, mědi, nebo z tenkostěnné uhlíkaté oceli a niklu. Úložný obalový soubor musí zaručit životnost milión let. Dále se uvažuje o uložení úložného obalového souboru do super kontejneru, který by měl být utěsněn do horninového masívu ztuhnutým bentonitem, přes který by mohl unikat radionuklid pouze difúzí. Pak se počítá s další ochranou v geologickém masívu v hloubce několik set metrů uzavřené a chráněné před jeho neoprávněným dalším nakládáním.

Schéma 1.4.14. Některé možnosti palivového cyklu



2. CHLADÍCÍ BAZÉNY

Matějka, K. (1996). Vyhořelé jaderné palivo. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská: 34 s. ISBN 80-7078-352-4. „Silně radioaktivní vyhořelé jaderné palivo je poměrně vydatným zdrojem tepla, které je nutné spolehlivě odvádět, aby nemohlo v důsledku nedostatečného chlazení dojít k nežádoucímu poškození paliva a úniku radioaktivních látek.“

Obrázek 2. Peletka (palivová tableta jaderného paliva)

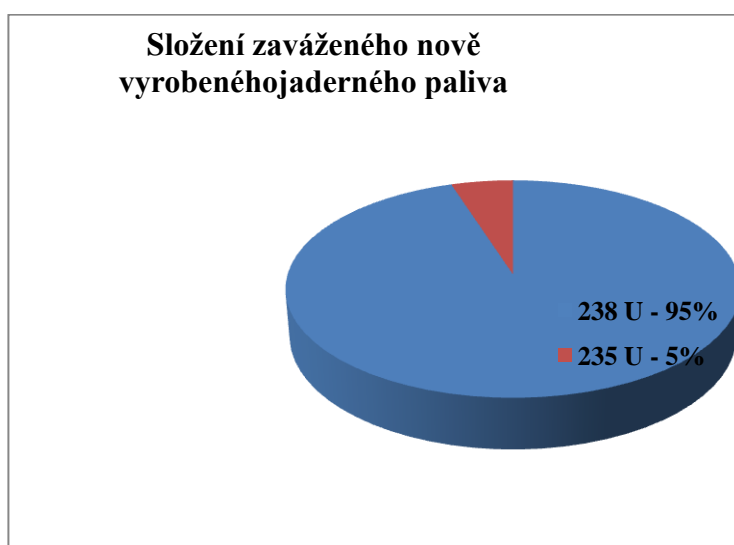
http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=2&slovník_page=jader_pal.html



2.1. Složení zaváženého nově vyrobeného jaderného paliva

Graf 2.1. Složení zaváženého nově vyrobeného jaderného paliva podle (

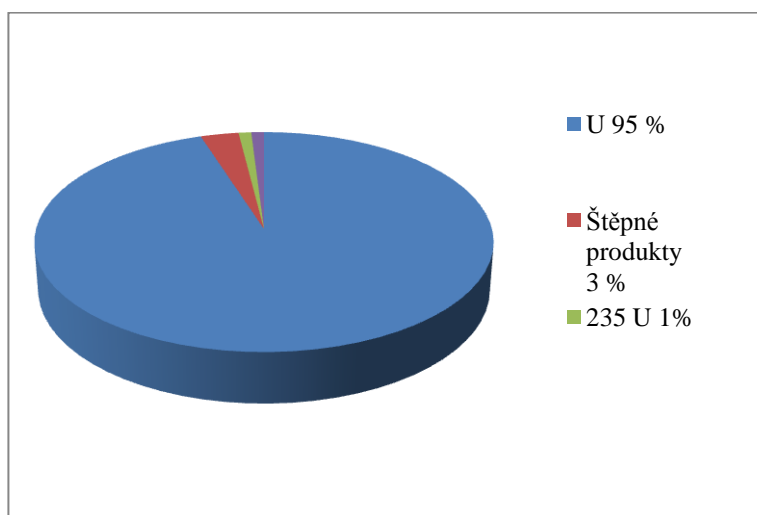
[Štamberg K. \(1998\). Technologie jaderných paliv II. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické: 150 s. ISBN 80-01-01885-7. „U lehkovodních reaktorů se využívá původní koncentrace o obsahu štěpitelného \$^{235}\text{U}\$ 0,71% obohacená na koncentraci 3% až 5%. Ostatních 97% - 95 % obsahuje množitelný izotop \$^{238}\text{U}\$.\)](#)



2.2. Složení vyhořelého jaderného paliva

Graf 2.2. Složení vyhořelého jaderného paliva podle (

[Štamberg K. \(1998\). Technologie jaderných paliv II. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické: 150 s. ISBN 80-01-01885-7. “Vyhořelé jaderné palivo se skládá z cca 95% nespotřebovaného uranu \$^{238}\text{U}\$, přibližně z 0,7 až 1% \$^{235}\text{U}\$, cca 1% \$^{239}\text{Pu}\$, zhruba 3,5% štěpných produktů, 0,4% \$^{236}\text{U}\$ a cca 0,1% aktinidů.”\)](#)



Po vyjmutí vyhořelého jaderného paliva z aktivní zóny reaktoru je nutno palivo dochlazovat v chladících bazénech, než bude moci být umístěno do suchého nebo mokrého skladu. Proto jsou u jaderných reaktorů chladící bazény, kde u vyhořelého jaderného paliva po určité době dojde k poklesu zbytkového tepla a radiace. Potom lze vyhořelé jaderné palivo uložit do suchých či mokrých skladů. Chladící bazén musí zajistit u vyhořelého jaderného paliva podkritičnost, dostatečný odvod tepla vydávaný palivovými soubory vyhořelým jaderným palivem a chránit před radioaktivním zářením.

2.3. BSVP (bazén skladování vyhořelého paliva) na ETE

Mimo již uvedené musí se odvést zbytkové teplo z palivového souboru již při přesouvání paliva a potom jak již bylo uvedeno i při skladování. BSVP musí tedy umožnit bezpečnou manipulaci s palivovými kazetami a i kazetami VJP (vyhořelým jaderným palivem). BSVP musí být při této činnosti zaplněn vodou dosahující nad úroveň palivových souborů s potřebnou koncentrací roztoku kyseliny borité H_3BO_3 . Hladina tekutiny dosahuje výšky při provozu reaktoru 7m. Při manipulaci s palivovými kazetami a VJP se uvedená tekutina udržuje ve

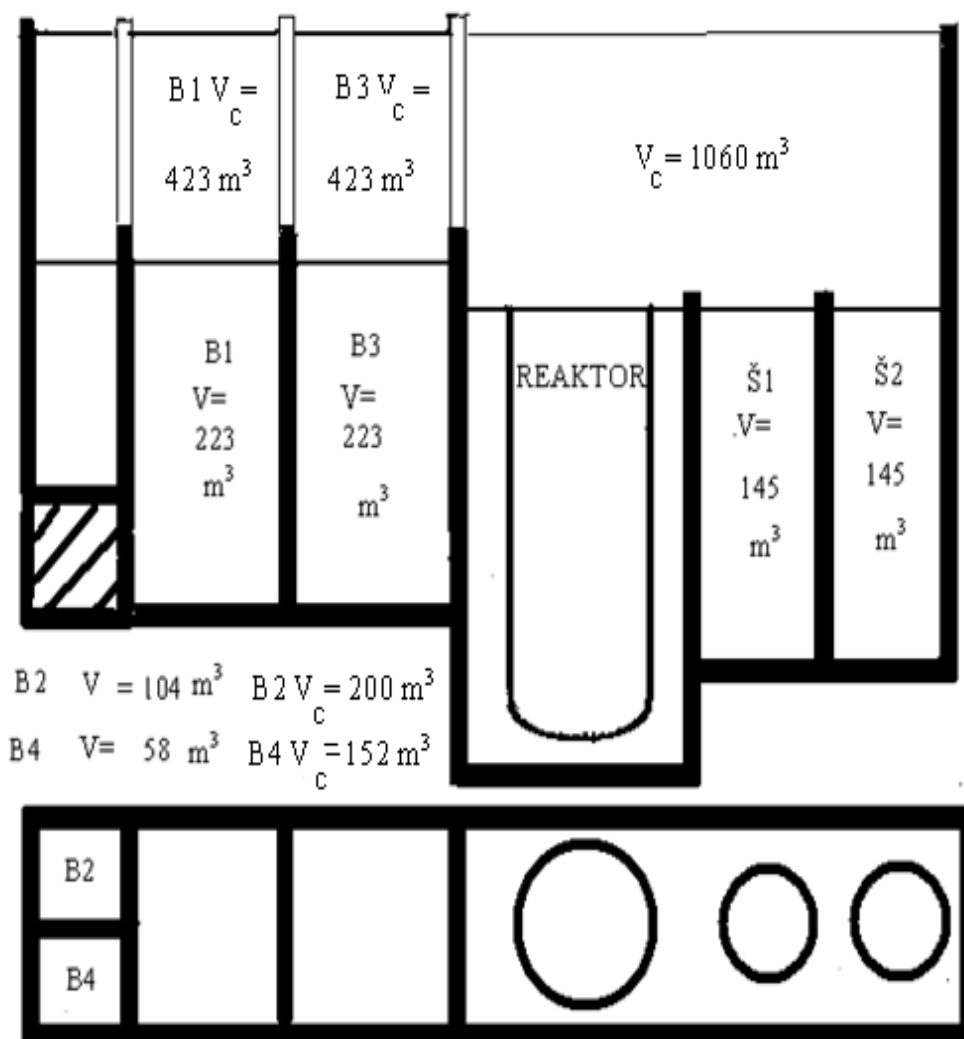
výšce 13,9 m. Při této hladině je nad palivovými soubory dostatečný 7 metrový sloupec chladiva.

BSVP má šest šachet vedle šachty kde je umístěna tlaková nádoba reaktoru s vnitřními částmi reaktoru. Za provozu je po umístění palivových kazet tlaková nádoba uzavřena víkem tlakové nádoby s horní traverzou, která umožňuje manipulaci s víkem tlakové nádoby, na němž je umístěn horní blok trubek pro regulaci. Šachta označená B4 slouží k transportu obalových souborů, kontejnerů. To je pro odvoz VJP a pro zavážení palivových kazet do reaktoru. Na ETE se používají kontejnery nesoucí označení CASTOR. Šachta B1, B2, B3 slouží k dochlazení a skladování palivových kazet připravujících se na přeložení, či opravu a kontrolu. Š1 slouží pro uskladnění vnitřní část tlakové nádoby šachty v případě kontroly šachty či prováděných prací na vnitřních částech tlakové nádoby reaktoru. Š2 slouží pro uskladnění horní bloku tlakové nádoby reaktoru, víka a trubek s horní traverzou víka. V šachtách B1, B2, B3 je mříž umožňující umístit 705 palivových souborů. 163 míst musí zůstat neobsazených v případě potřeby vyjmout palivo z reaktoru. Při manipulaci s kazetami BSVP je BSVP chráněn ochrannými deskami proti pádům předmětů do BSVP.

BSVP chladí vzájemně propojitelné chladicí okruhy složené z potrubí, čerpadel, armatur, mezitrubkového chladiče o teplosměnné ploše 320 m². Pro chlazení je chladivo dodáváno čerpadlem o průtoku 500 m³/h přes rozvodné kolektory umístěnými na dně šachet B1, B2, B3. V případě potřeby lze zapnout všechny tři okruhy. Okruhy jsou konstruovány na zajištění teploty 45°C. Při výměně paliva dochází až ke zvýšení teploty na 58 ° C. Vypočtený maximální výkon při zavezení všech sekcí by měl dosáhnout 20 MW. Sací potrubí je umístěno ve výšce na 8,1 m tak, aby zůstala chladicí kapalina potřebná z důvodu bezpečnosti. Odčerpání veškerou vodu lze jen instalací dodatečného mobilního čerpadla.

Při výměně paliva a manipulaci s vyhořelým palivem je minimální výška hladiny v BSVP 15,5 m. Při této hladině bude nad palivovými soubory při jeho manipulaci, jak již bylo zmíněno 7 m vody, což splňuje všechny bezpečnostní předpoklady. Sání, výtlač a přepad je ve výšce 8,1 m. Při normálním provozu je výška hladiny udržovaná pod 8,1 m.

Schéma 2.3.1. Řez BSVP a půdorys BSVP



Podkritičnost zajišťuje v BSVP kyselina boritá H_3BO_3 , které je v chladivu $\geq 11,5 \text{ g/kg}$. Přes toto opatření je BSVP podle projektu proveden tak, aby v případě havárie, kdy by v BSVP zůstala jen voda bez kyseliny borité při zcela naplněných kompaktních mřížích palivovými soubory, nedošlo k havárii. Kyselina boritá je v BSVP pro případ, že by došlo k poškození palivového souboru pádem cizího tělesa do zaplněné kompaktní mříže, což by způsobilo mírné zvýšení podkritičnosti v BSVP.

Okruhy chlazení BSVP zajišťují požadavky odvodu zbytkového tepla a doplňování koncentrace chladiva kyselinou boritou i při plném naplnění BSVP palivovými soubory s obohacením 5 % i v případě zvyšování hladiny v BSVP, nebo při úniku chladicí kapaliny.

Schéma 2.3.2. Okruhy chlazení v BSVP

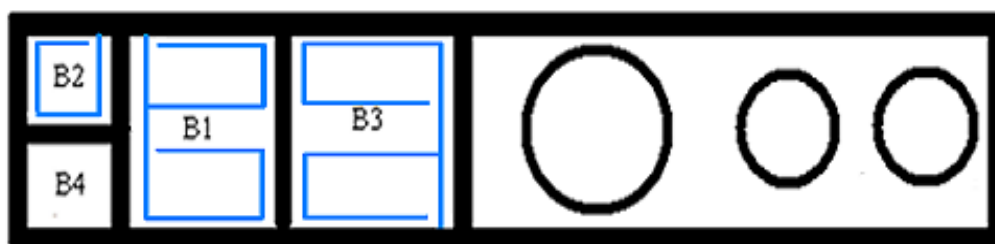
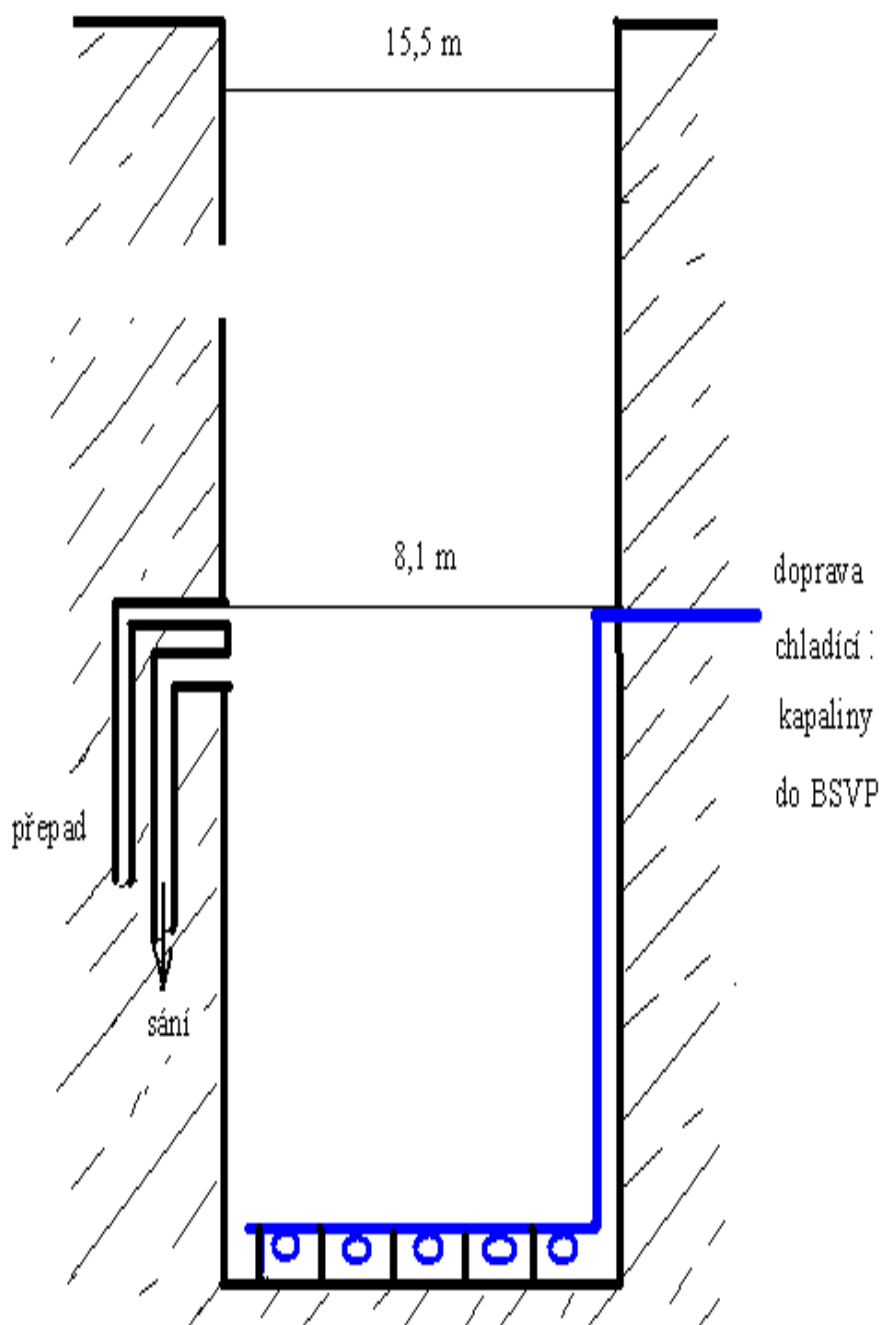


Schéma 2.3.3. Řez BSVP – náčrtek potrubí dopravy chladicí kapaliny do BSVP



Přes uvedené zabezpečení více okruhového jištění potrubí, přes zabezpečení dopravy kapaliny do BSVP ode dna, při snížení hladiny chladicí kapaliny z důvodu poruch na armaturách, nebo potrubích a může dojít k zavzdušnění chladicího systému a k výpadům čerpadel a proto musí dojít k zajištění systému a k možnosti zajištění odvzdušnění celého systému.

Vyhláška č. 317/2002 Sb. Státního úřadu pro jadernou bezpečnost předepisuje typové schvalování obalových souborů pro přepravu, skladování a ukládání jaderných materiálů a radioaktivních látek.

3. SUCHÉ SKLADY VJP

Po vyvezení VJP z jaderného reaktoru se převezí VJP do chladících bazénů, kde po dobu až 6 let odvádí zbytkové teplo, do doby než se sníží vysoká aktivita a než poklesne výkon zbytkového tepla. Potom lze přemístit VJP do suchého či mokrého skladu. V ČR se VJP skladuje v kontejnerech CASTRO v suchých skladech na jaderných elektrárnách v Dukovanech a Temelíně.

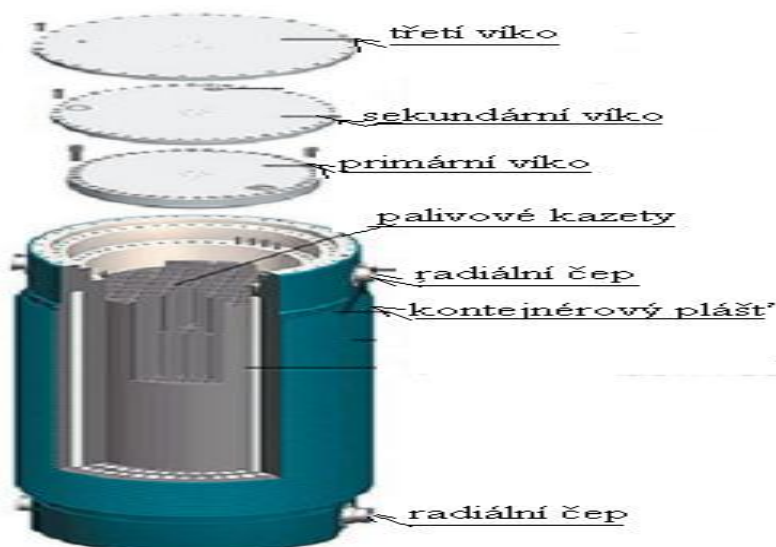
V prostorách Jaderné elektrárny Dukovany byl v roce 1995 otevřen suchý MSVP (mezisklad vyhořelého paliva) VJP a byl zde uskladněn první OS (obalový soubor) CASTOR 440/84. Budova je z kovové konstrukce a má příjmové a skladové prostory. Kapacita 600 tun VJP byla v roce 2005 vyčerpána. Dále byl z uvedeného důvodu vybudován druhý sklad, který byl budován na uložení 1330 tun VJP.

3.1. Obalový soubor CASTOR 440/84

OS CASTOR 440/84 je dvouplášťový. Těleso kontejneru je ze speciální litiny. Primární a sekundární víka jsou z nerezavějící oceli. Třetí víko je z uhlíkaté oceli. Na vnitřní povrch je nanášena niklová vrstva. Dno je opatřeno hliníkovou vrstvou. Vnější povrch je opatřen polymerním lakem. Do koše z borové nerezavějící oceli se vejde 84 palivových kazet. OS má na vnější straně žebrování z důvodu chlazení OS.

Obrázek 3.1.1. OS CASTOR

<http://www.ceei.sk/en/castor-containers.php>



Tabulka 3.1.1. Technická data OS CASTOR 440/84

<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/jaderna-energetika/jaderne-elektřarny-cez/edu.html>

Technická data OS CASTOR 440/84	
Výška bez	4080 mm
Průměr kontejneru	2660 mm
Hmotnost zaplněného kontejneru s ochranou deskou	116300 kg
Hmotnost prázdného kontejneru	94700 kg
Počet palivových souborů	84 ks
Max. teplota povrchu při skladování	85° C
Max. příkon dávkového ekvivalentu na povrchu	0,2 mSv/h
Minimální životnost	40 let

MSVP na Jaderné elektrárně Dukovany.

Hala vybavená 130 tun jeřábem, obestavěný prostor 290000 m³. Zastavěná plocha je 1661 m². Jednolodní hala je vybavená mostovým jeřábem o nosnosti 130 tun slouží pro dočasné uložení kontejnerů Castor 440/84 s VJP. Opláštění o tloušťce 100 mm ze železobetonového materiálu.

Obrázek 3.1.2. MSVP na Jaderné elektrárně Dukovany.

<http://www.hochtief.sk/nase-projekty/referencne-projekty/prumyslove/dukovany-mezisklad-vyhoreleho-jaderneho-paliva>



Obrázek 3.1.3. Zaplněný MSVP na Jaderné elektrárně Dukovany, který byl uveden do provozu v roce 1995 a je v něm 600 tun VJP v 60 OS Castro 440/8444.

http://www.spssvsetin.cz/index_hm_files/dumy/06/odpady.htm



Obrázek 3.1.4. První OS typu CASTOR 440/84M zavezený vyhořelým jaderným palivem do nově otevřeného SVP Dukovany. Plánovaná skladovací kapacita SVP Dukovany pro 133 kusů OS pro 1340 t TK (1340 tun těžkých kovů).

<http://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/jaderna-zarizeni/sklady-vyhoreleho-jaderneho-paliva/zkusebni-provoz-skladu-vyhoreleho-paliva-dukovany/>



Obrázek 3.1.5. SVP EDU (Jaderné elektrárny Dukovany)

<http://www.objektu.cz/actuality/povoleni-pro-sklad-vyhořelého-paliva-ke-dukovany/>



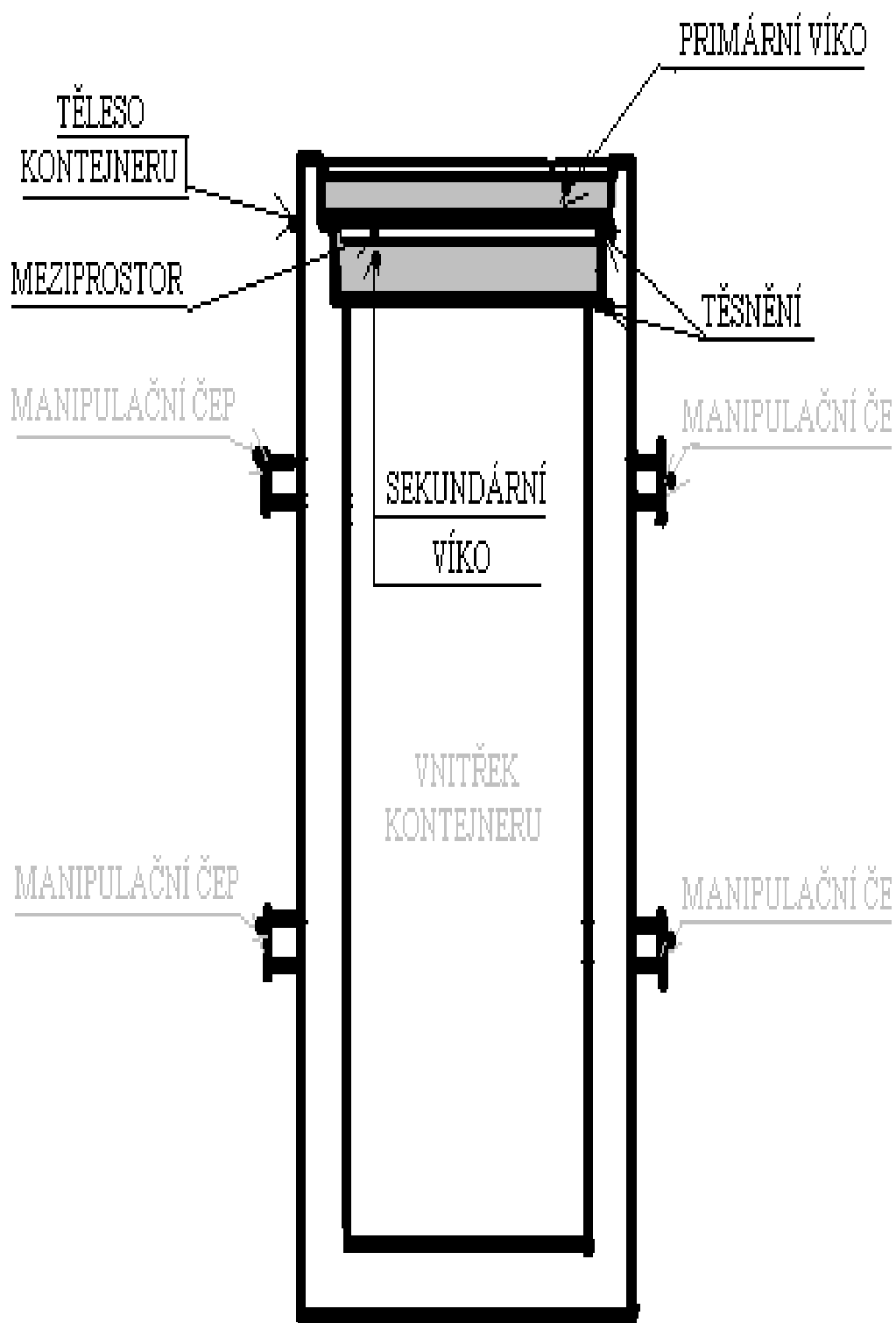
3.2. Obalové soubory CASTOR 1000/19

“Obalový soubor CASTOR 1000/19 je řešen tak, aby sloužil nejen pro skladování VJP z jaderných reaktorů typu VVER-1000, ale i pro železniční přepravu VJP rozhodnutím SÚJB č.j. SÚJB/ONRV/15338/2010 dne 21. 6. 2010, ve znění rozhodnutí SÚJB č.j. SÚJB/ONRV/17752/2010 ze dne 23. 7. 2010.“

Vyrábí se z oceli. Na vnější plochy obalového souboru se nanáší epoxidový nátěr, který se v případě potřeby snadno odstraní. Korozivzdornost vnitřního prostoru je zabezpečena niklovým návarem na plochy obalového souboru. Na vnitřních stěnách, dnu a víku palivového souboru je umístěn polyetylénový materiál zabezpečující zlepšení stínění. Vnější strana OS má žebrováním z důvodu lepšího odvodu tepla z OS. Proti otěru je dno obalového souboru opatřeno hliníkovým návarem. Obalový soubor pro palivové kazety VJP z reaktoru VVER 1000 JTE má uvnitř koš pro uskladnění 19 palivových souborů. Tento koš slouží k rozložení palivových souborů a k odvodu vyvíjejícího se tepla ke stěně palivového souboru. Koš je vyroben z nerezavějící oceli a tato ocel z důvodu podkritičnosti VJP obsahuje bór. Skladovací kontejnér z důvodu dlouholeté potřeby zajištění životnosti a tím i těsnosti je uzavřen primárním a sekundárním víkem. Hélium zaplňuje prostor mezi těmito víky a je v suchém

skladu VJP monitorován tlak hélia v uvedeném meziprostoru. Dále se monitoruje teplota povrchu kontejneru obalového souboru. Zjištěné hodnoty jsou podkladem pro případná opatření, která zajistí bezpečné skladování VJP.

Schéma 3.2. OS (Obalový soubor) CASTOR



Tabulka 3.2. Technická data OS CASTOR pro ETE

<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/jaderna-energetika/jaderne-elektřarny-cez/ete.html>

Technická data OS CASTOR pro ETE	
Výška	5467 mm
Průměr kontejneru	2332 mm
Hmotnost paliva uloženého v kontejneru	9427,8 kg
Hmotnost zaplněného kontejneru s ochranou deskou	115500 kg
Hmotnost zcela zaplněného kontejneru s primárním i sekundárním víkem	112900 kg
Hmotnost prázdného kontejneru	97860 kg
Počet palivových souborů	19 ks
Minimální životnost	40 let
Max. teplota povrchu při skladování	85° C
Max. příkon dávkového ekvivalentu na povrchu	2 mSv/h
Max. teplota dna při skladování	100° C
Max. příkon dávkového ekvivalentu ve vzdálenosti 2m od povrchu	0,1 mSv/h
Max. zbytkový tepelný výkon VJP	17,5 kW

3.3 Plnění palivových souborů do OS

Do OS se přeloží z BSVP 19 palivových souborů. Při přeložení výkon palivového souboru nesmí být větší než 1,2 kW a výkon 19 zavezených palivových souborů nesmí být větší než 17,5 kW. V šachtě transportního kontejneru B4 se po přeložení 19 palivových souborů připevní primární víko a odzkouší se těsnost kontejneru. Na povrchu OS nesmí hodnoty Bq/cm² překročit 3 Bq/cm². Potom se provádí instalace sekundárního víka společně s tlakovým spínačem. Po vyčerpání vody z meziprostoru se odzkouší těsnost sekundárního víka. Následuje upraveným vagónem převoz do prostor pro přípravu pro uložení na vybrané skladovací místo v suchém skladu. Zde dojde k dalšímu z OS odvodu par přes filtry mimo sklad VJP. Prostor mezi primárním a sekundárním víkem se

zaplní heliem na $6,5 \times 10^5$ Pa. Následuje opětne odzkoušení těsnosti sekundárního víka. Ochranná deska se namontuje na kontejner po kontrole tlakového spínače, který je osazen na sekundárním víku. Po kontrole teploty OS, která musí být nižší než 85°C , se OS převezne na vybrané skladovací místo v suchém meziskladu, kde je OS napojen na systém kontroly tlaku a teploty. Monitorovací systém neustále získané hodnoty hodnotí a vyhodnocuje je a v případě naměřených hodnot odlišných od povolených hlásí poruchy. Informace o těsnosti či netěsnosti OS se získá z hodnot tlaku mezi primárním a sekundárním víkem.

Dále se vyhodnocuje nepřetržitě teplota povrchu OS, čidlem umístěným v polovině výšky OS. Přestože teplota OS s časem uskladnění OS klesá vlivem snižování výkonu VJP, může se v případě nedostatečné cirkulace chladícího vzduchu ve skladu OS u OS růst teplota. Po dosažení teploty větší než 350°C by mohlo dojít k poškození těsnění a mohl by nastat únik radioaktivních látek mimo OS. Jestliže teplota OS stoupne nad 85°C je nutné zajistit, aby teplota byla nižší než 85°C . Toho lze dosáhnout zvýšením ochlazováním vzduchu, nebo dokonce zajistit převoz OS na místo ve skladě, kde je lepší proudění vzduchu a menší vývin tepla od ostatních OS. Zjistí-li se, že OS má teplotu nad 100°C při okolní teplotě 38°C , musí se OS přemístit a zajistit zlepšení proudění vzduchu, aby nedošlo k poškození prvků v OS. Zjistí-li se, že OS má teplotu nad 100°C při okolní teplotě 38°C , musí se OS přemístit zpět do chladícího bazénu a provést kontrolu všech 19 palivových souborů.

Zároveň se ve skladu OS kontroluje těsnost OS, která je zabezpečena konstrukčně nezávisle oddělovacím prostorem vyplněným heliem o tlaku 0,6 MPa mezi primárním a sekundárním víkem. Víka jsou utěsněna elastomerovými a kovovými těsněními. Klesne-li tlak prostoru vyplněný heliem o 0,3 MPa spínač tlaku provádí výstražné signály, protože to znamená netěsnost primárního, nebo sekundárního víka, případně může být špatný tlakový spínač. Při poruše netěsnosti způsobené těsněním jednoho víka, nebo zjistí-li se, že je poškozený tlakový spínač je nutné přemístit OS do prostoru, který je určen pro tyto práce a provést opravu těsnění, i když nedochází k úniku radioaktivních látek mimo OS. Hermetičnost OS musí být zabezpečena dvěma těsníci bariérami. V případě poruchy tlakového spínače dojde k výměně poškozeného tlakového spínače odzkoušeným tlakovým spínačem. V případě poruch netěsnosti na sekundárním více, musí být obnovena těsnící funkčnost víka, nebo musí být sekundární víko vyměněné. Dále musí dojít k opětovnému naplnění heliem na tlak 0,6 MPa. Zjistí-

li se, že došlo k poškození netěsnosti na primárním víku, nebo se zjistí, že nelze opravit netěsnost způsobenou sekundárním víkem ani novým sekundárním víkem z důvodu poruchy na tělese kontejneru OS je třeba přemístit OS do šachty transportního paliva B4. Zde v případě netěsnosti způsobené netěsností dosedacích ploch na kontejneru OS pod sekundárním či primárním víkem se OS otevře, sundá se primární i sekundární víko a palivové soubory se vyvezou z OS do BSVP, a uskladní. Po vyvezení poškozeného kontejneru OS a zavezení nového kontejneru OS se vyvezené palivové soubory zavezou do vyměněného kontejneru OS. **Z toho důvodu je nutné mít rezervy BSVP nejen pro vyvezení paliva z reaktoru v případě potřeby.** V případě, že lze odstranit netěsnost způsobenou těsněním primárního víka, nebo výměnou primárního víka se provede přetěsnění OS. Na kontejner OS se připevní sekundární víko společně s tlakovým spínačem. Potom musí dojít k opětovnému naplnění heliem na tlak 0,6 MPa. „Po vyčerpání vody z meziprostoru se odzkouší těsnost sekundárního víka. Následuje upraveným vagónem převoz do prostor pro přípravu pro uložení na vybrané skladovací místo v suchém skladu. Zde dojde k dalšímu z OS k odvodu par přes filtry mimo sklad VJP. Prostor mezi primárním a sekundárním víkem se zaplní heliem na $6,5 \times 10^5$ Pa. Následuje opětovné odzkoušení těsnosti sekundárního víka. Ochranná deska se namontuje na kontejner po kontrole tlakového spínače, který je osazen na sekundárním víku. Po kontrole teploty OS, která musí být nižší než 85°C , se OS převezde na vybrané skladovací místo v suchém meziskladu, kde je OS napojen na systém kontroly tlaku a teploty“.

Na ETE je suchý sklad na 152 OS CASTOR. Je to sklad pro zajištění provozu ETE na 30 let s možností na ETE přistavět včas další suchý sklad pro provoz ETE. Sklad má plochu 5250 m^2 a obestavěný objem 120000 m^3 . OS jsou uskladněny na ETE v suchém skladu tak, aby byl zajištěn přístup pro připojení konektorů pro měření již uváděných veličin. Musí zde dále zůstat dostatečný prostor mezi OS pro dobré proudění vzduchu zabezpečující jejich chlazení. V řadě jsou od sebe OS osově vzdáleny minimálně 3,55 m a minimální osová mezera mezi řadami OS je 3,35 m. Stínění VJP napomáhá OS a objekt postavený z rámové ocelové konstrukce vyplněná tvarovkami ze speciálního materiálu o tloušťce 1 m stěny. V podlaze objektu je zabudovaná 5 cm ocelová deska. Přívod vzduchu do objektu je zajištěn u podlahy podélných stěn objektu skladu VJP. Odvod vzduchu je vyveden střechou budovy.

S postupným zavážením OS se bude čím dál více uvolňovat zbytkové teplo z OS do okolí OS v objektu suchého skladu. Z palivových souborů se přenáší teplo na stěny OS, které jsou podélně žebrovány, aby zvětšily vnější povrch pro větší přestup tepla mimo OS. Zaplněný suchý mezisklad se 152 OS by měl mít maximální výkon 2,66 MW při maximálním výkonu 17,5 kW OS CASTOR. Při zajištění dodržení při zavážení maximálního výkonu OS, kdy u OS postupně s dobou skladování výkon VJP s časem klesá, nemůže být hodnota 2,66 MW suchého skladu překročena. Toto teplo se musí z prostoru suchého skladu odvádět. Přirozené větrání proudění vzduchu v objektu je dáno rozdílem tlaku přiváděného a odváděného vzduchu dané rozdílem výšek přiváděného a odváděného vzduchu. Princip odvádění tepla je zajištěn bez potřeby energií za každého počasí, při různé teplotě přiváděného vzduchu. Je nutno zajistit, aby přívodní a odváděcí otvory vzduchu v objektu nebyly zakryty.

3.4. Manipulace s palivovými soubory

Do dnešního dne se v jaderných elektrárnách v ČR s OS manipuluje jen v areálu jaderných elektráren. OS jsou přepravovány na malé vzdálenosti na podvozku vyrobeném pro tyto účely. Je to podvozek určený jen pro přepravu ve střeženém prostoru EDU, ETE. V prostorách mimo objekty elektrárny se na uvedený podvozek naloží OS. Podvozek mimo reaktorový sál je připojen na speciální lokomotivu. Do reaktorového sálu podvozek se speciální lokomotivou nesmí, proto se před vjezdem do reaktorového sálu odpojí speciální lokomotiva a podvozek se připojí na vlastní rozvody energií zajišťující manipulaci podvozku s OS ať již OS prázdným, nebo OS zaplněným VJP. Zde by bylo dobré, aby se v budoucnu vyvinula manipulační zařízení třeba ve společnosti ŠKODA TRANSPORTATION a.s., aby se zařízení nemusely odpojovat, a mohly se využívat ve všech prostorách JDU a JTE a případně i mimo tyto prostory.

Obrázek 3.3.1. Železniční podvozek pro přepravu vyhořelého jaderného paliva vyrobený v Krnovských opravnách a strojárnách s.r.o.

http://www.kos.cz/media/strojirenska_specialni%20vyroba/Podvozek_04.jpg



Po skončení uložení palivových kazet BSVP do OS je přesunut OS na železniční podvozek. Manipulace jeřábem z OS na železniční podvozek je vidět na následujících obrázcích.

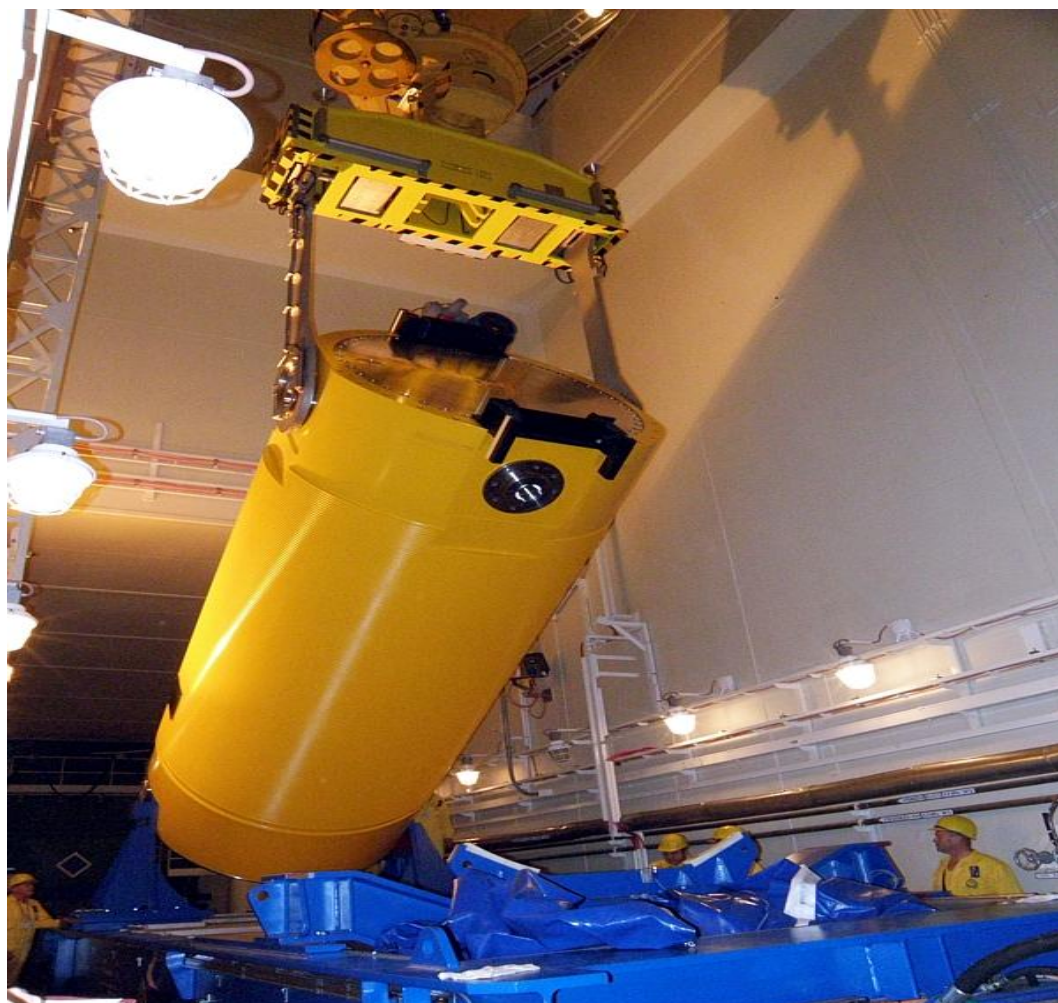
Obrázek 3.3.2. Manipulace s OS

<http://www.temelinky.cz/cs/clanky/manipulace-s-kontejnery-castor-22.html>



Obrázek 3.3.3. Manipulace s OS

<http://www.temelinky.cz/cs/clanky/manipulace-s-kontejnery-castor-22.html>



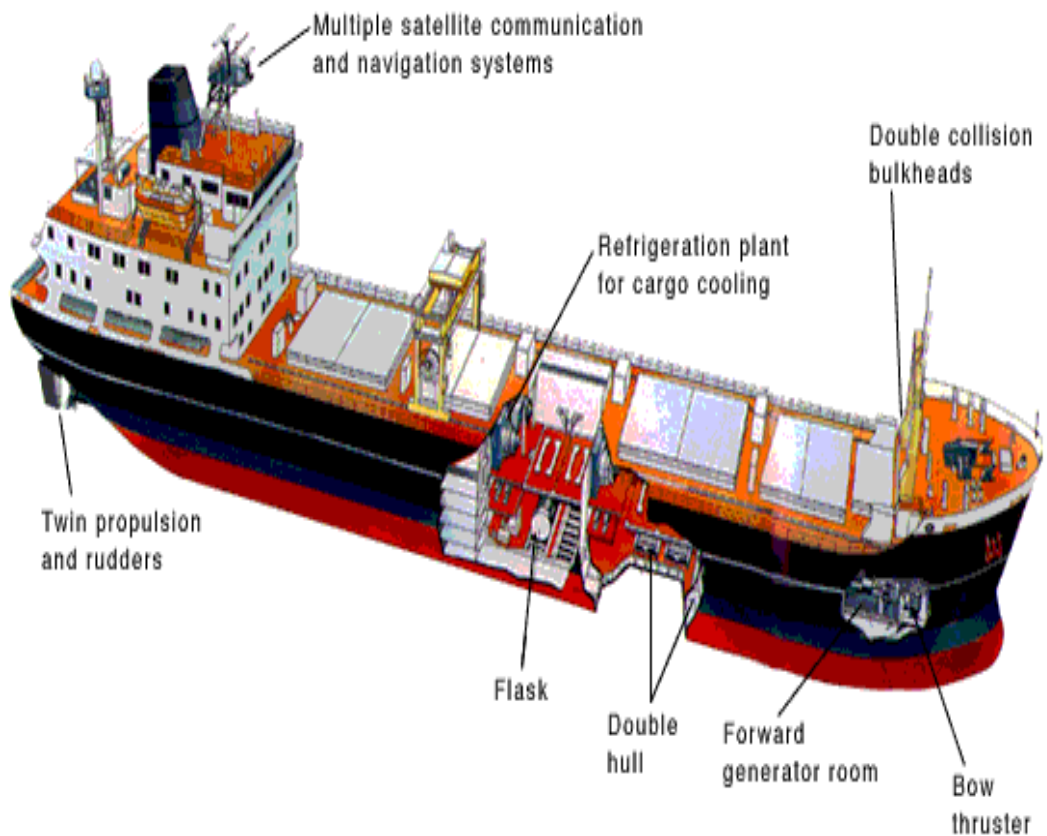
Pro navrhování OS a ukládacích obalových souborů, by se mělo uvažovat také s možností v budoucnu přepravovat tyto souboru, třeba z důvodu přepracování VJP na lodích. Pro představu je níže na obrázku švédská loď Sigrid, která je vybavena čtyřmi motory, dvojitým trupem a veškerými možnými zabezpečovacími systémy. Loď je 18,6 m široká a dlouhá 99,5 m a je schopná převážet 1600 tun RN ve 12 sudech.

FSUE Atomflot, známá jako Rosatomflot je ruská obchodní společnost mající flotilu včetně jaderných ledoborců se základnou u Murmanska. Má pro představu Loď Rossitu o nosnosti 1620 tun, která byla vyrobena v Itálii a je určena pro přepravu VJP a materiálů z vyřazených jaderných ponorek. Dále má loď Serebryanku o nosnosti 1625 tun od roku 1974 a loď Imandru o nosnosti 2186 tun 130 m dlouho z roku 1980. Dále se k přepracování na území Ruska přepravují uváděné materiály také po železnici.

Obrázek 3.3.4. Plavidlo Sigrid

<http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Transport/Transport-of-Radioactive-Materials/>

Purpose-built vessel for transport of spent nuclear fuel



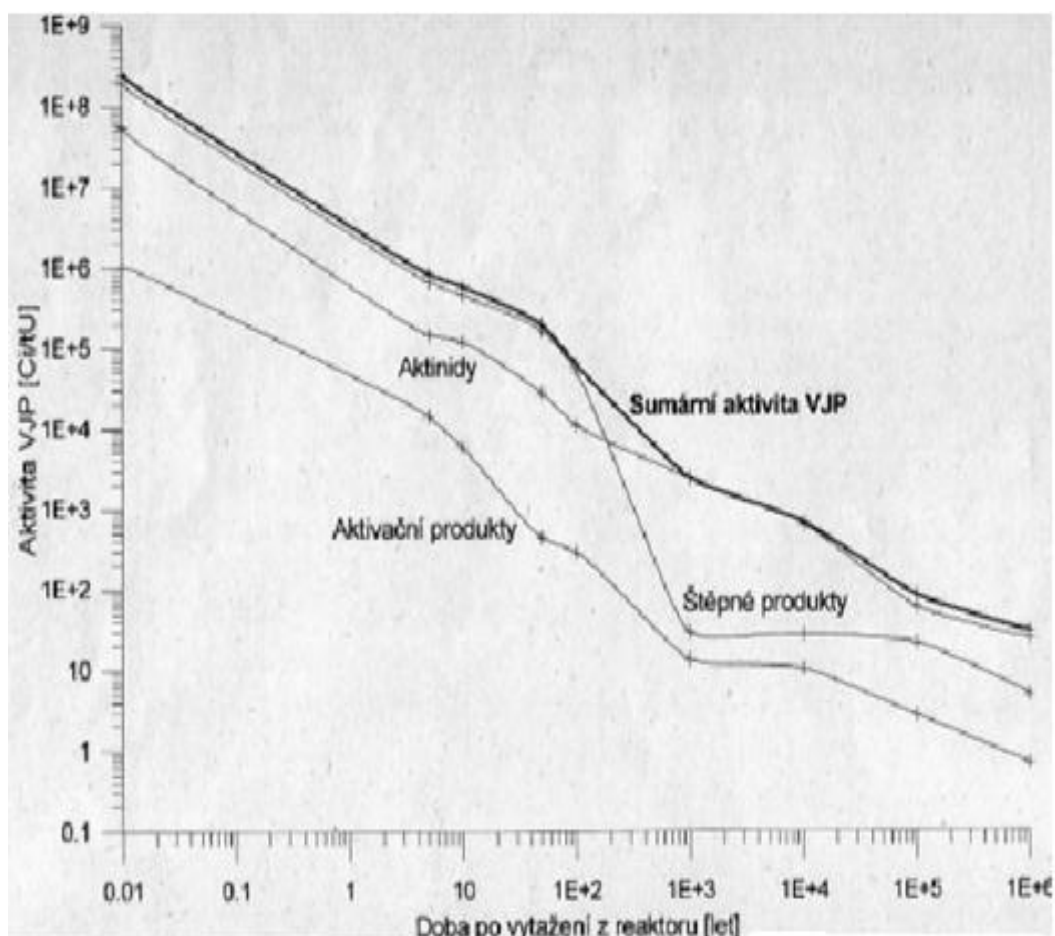
4. SKLADOVÁNÍ VJP VVER 1000

4.1. Izotopy ve VJP

Patří sem izotopy vyskytující se v konstrukčních materiálech, tzv. aktivační produkty, jejichž aktivita je malá vzhledem k dalším uváděným izotopům a po 1000 letech od vyjmutí VJP z aktivní zóny je aktivita nepodstatná. Dále sem patří aktinidy a dceřiné produkty mající vysokou aktivitu. Mezi další sem zahrnujeme štěpné produkty, které mají největší aktivitu ve VJP a dceřiné produkty. Z toho vyplývá, že aktivita po dobu milióny let je způsobená hlavně štěpnými produkty a aktinidy a jejich dceřinými produkty. Negativními vlastnostmi je dlouhý poločas rozpadu, jsou vysoce aktivní hlavně, snadno pronikavé a toxické.

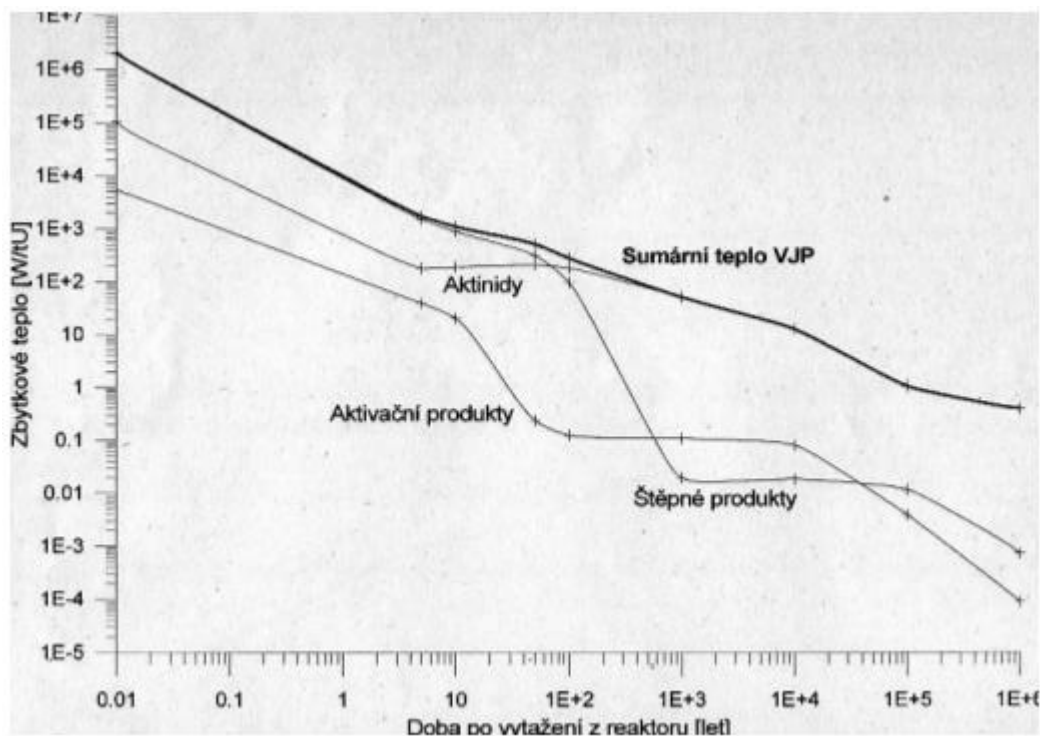
Graf 4.1.1. Celková aktivita VJP (štěpných produktů, aktinidů, aktivačních produktů), pro období 0 až 1 milion let pro typ reaktoru VVER-1000, vyhoření 50000 MWd/tU

[Matějka, K. a kol.\(1996\). Vyhořelé jaderné palivo. Praha: České vysoké učení technické: 52 s. ISBN 80-7078-352-4.](#)



Graf 4.1.2. Vývin zbytkového tepla VJP (štěpných produktů, aktinidů, aktivačních produktů), pro období 0 až 1 milion let pro typ reaktoru VVER-1000, vyhoření 50000 MWd/tU

[Matějka, K. a kol.\(1996\). Vyhořelé jaderné palivo. Praha: České vysoké učení technické: 54 s. ISBN 80-7078-352-4.](#)



Z uvedených grafů je patrné, že uváděnými izotopy se uvolňuje zbytkové teplo VJP, které se musí odvést. To by mohlo způsobit komplikace, proto se chladí VJP v BSVP. Z grafu je patrný pokles. Po jednom roce se sníží z hodnot nad 10^6 na hodnoty nad 10^4 . Z dlouhodobého hlediska jsou zdrojem tepla hlavně aktinidy s dlouhými poločasy rozpadu. Mimo γ aktivitu se uvolňují při samovolném štěpení neutrony. Při výpočtech zbytkového tepla z VJP se počítá, s proměnným T_k , to je doba ozařování po dobu provozu do odstavení jaderného reaktoru z důvodu výměny části paliva. Palivo však je zcela vyměněno za několik výměn, proto se musí pokračovat ve výpočtu v čase delší doby provozu s uvážením poklesu obohacení o vyhoření. Až když je palivo vyjmuto a považováno za VJP, pak se stanovuje pro výpočty zbytkového tepla proměnný čas t_k , to je čas, ke kterému počítáme zbytkové teplo. Zbytkové teplo počítáme z hlavních izotopů s počátečním obohacením v % a stupněm vyhoření v MWd/kgU v každém cyklu po výměně části paliva. Pro výpočty zbytkového tepla lze použít program ORIGEN, kdy je přesnost výpočtů 50 % při stanovení času 100 let. Jedním

z dalších možností výpočtu zbytkového tepla pro tlakovodní a varný reaktory je používán model I.C.Gaulda a B.D. Murphyho.

4.2. Provoz skladu vyhořelého jaderného paliva (SVJP)

Koncepce ČEZ a. s. (České energetické závody akciová společnost) pro vyhořelé jaderné palivo je v souladu s Konceptí nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem schválené usnesením vlády České republiky č. 487/2002 ze dne 15. května 2002. To je po několikaletém uskladnění v BSVP a následném přeložení do OS je ukládáno VJP do suchých skladů VJP. Suché sklady jsou v areálech jaderných elektráren. Stavebně je vše řešeno pro možnost rozšiřování těchto skladů v potřebném předstihu. Koncepce předpokládá přepravu do hlubinného úložiště v roce 2065. Technologie skladování v suchých skladech zabezpečuje to, že nevzniká přímý vznik RAO (radioaktivních odpadů). Vydátost zdroje VJP je dána nejen již uvedeným v práci, ale je ovlivněna i OS. Štěpné a aktivační produkty, transurany a rozpadové produkty jsou zdrojem záření VJP. V důsledku reakcí neutronů s konstrukčními materiály a chladivem v reaktoru v aktivní zóně se aktivační produkty usazují na pokrytí palivových článků a na palivových soborech. Transurany vznikají zachycením neutronů na atomech uranu a pokračujícím alfa rozpadem nejen v palivových článcích, ale i na uranu, který zůstal na povrchu palivového článku a který se postupně dostával do chladiva. Suché skladování využívá OS, které splňují parametry vyhlášky č. 317/2002 Sb. Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o typovém schvalování obalových souborů pro přepravu, skladování OS. OS jsou konstruovány pro zajištění radiační ochrany s ohledem na výrobní cenu OS.

OS obsahující VJP se stává zdrojem ionizujícího záření. Maximální limit zavezeného OS je na povrchu OS omezen příkonem dávkového ekvivalentu 2,0 mSv/h a ve vzdálenosti 2 m od povrchu OS je maximálně možný příkon dávkového ekvivalentu OS 0,1 mSv/h. Při havárii způsobené přepravou je ve vzdálenosti 1 m povolen příkon dávkového ekvivalentu 10 mSv/h. Na ETE byly do OS zaváženy palivové kazety VVATANGE různých typů 6, Phase, Phase 0, Originál lišící se konstrukčním materiálem a tím různými mechanickými vlastnostmi mající nepodstatný vliv na stínící vlastnosti OS. OS je z litiny s vnitřním poniklováním a s vnějším antikoročním dekontaminovatelným nátěrem. Dále OS obsahuje polyetylén sloužící pro neutronové stínění. Polyetylén je umístěn v oblasti víka a dna ve formě desek a po obvodu vnitřní stěny OS je

umístěn ve formě tyčí. Nosný koš na palivové soubory je z ušlechtilé oceli a eloxovaného hliníku.

Pro radiační ochranu je důležitá uvolnitelnost aktivity z OS. Vyhlášky č. 317/2002 Sb. SÚJB limituje ztráty radioaktivního obsahu při skladování, přepravě a nehodách při zvýšených teplotách. Toto je dáno radiotoxicitou jednotlivých radionuklidů. Za uvážení s následnou koncepcí stojí skutečnost, že radioaktivní tekavé látky a plyny pronikají pokrytím palivovými proutky do OS. To je závislé na stupni vyhoření jaderného paliva na tabletách a těsnosti palivových proutků. Problémem zůstává odhad aktivity radionuklidů rozpadových produktů. Aktivita radionuklidů vzniklá štěpením a aktivací lze stanovit dnes přibližně pomocí různých programů.

Mnohem velká nepřesnost určení aktivity radionuklidů nastává v případě poškození palivových souborů. V tomto případě je pouze odhadovaná pomocí zaokrouhlených koeficientů. Přípustné hodnota uvolnitelné aktivity radionuklidů, které se můžou uvolnit do šachty pro OS Castor 1000/19, za běžných provozních podmínek činí celková uvolněná aktivita 49,7 TBq při maximální objemové rychlosti úniku $2,04 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}$ a za podmínek pro nehody činí celková uvolněná aktivita 1652 TBq při maximální objemové rychlosti úniku $1,40 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$. Hodnoty uvolnitelných směsí pro radionuklidy jsou v příloze č. 1-4 vyhlášky č. 317/2002 Sb. SÚJB. Z těchto hodnot aktivit OS je dána i rychlost uvolňování aktivity. Velmi se dbá na zajištění těsnosti vík OS. V OS může dojít k průniku plynu z prostoru mezi víky do prostoru uskladněného paliva, kde je tlak nižší a z OS se nedostane aktivita mimo OS, v případě že zůstane zachována těsnost sekundárního víka. V případě netěsnosti sekundárního víka a těsnosti primárního víka, plyn z prostoru mezi víky unikne mimo OS a do okolí OS neunikne žádná radioaktivní látka.

OS se přepravují na speciálním vagónu do SVJP v horizontální poloze. V příjmové části se OS připevní k traverze OS a uchytí se OS za připevněné čepy a jeřábem se OS vztyčí do vertikální polohy. Před uskladněním se prostor mezi víky musí opět dekontaminovat pod 3 Bq/cm^2 a vysušit pomocí vzduchu a páry a přes filtry odvést mimo SVJP. Odváděné plyny se monitorují. Následuje montáž a héliová zkouška a funkční zkouška spínače tlaku a prostor mezi víky se naplní héliem a provede se zkouška těsnosti na sekundárním víku. Následuje montáž ochranné desky a její odzkoušení těsnosti. Po umístění OS ve SVJP se připojí

monitorovací systém, který kontroluje těsnost (tlak mezi víky OS). Dále se měří povrchová teplota OS.

Pro vyhodnocení bezpečnosti skladování VJP OS v suchých skladech VJP na elektrárnách se musely vyhodnotit informace získané měřením ionizujícího záření schválené SÚJB. Jednalo se o subsystém RK (radiační kontroly) SVJP, který je zařazen do systému RK ETE (RRMS - radiation remoted monitoring systém). Získají se tak informace o ionizujícím záření, RN zdrojích a míře ozáření zaměstnanců, přestože provoz SVJP je převážně možný bez přítomnosti zaměstnanců. Přesto jsou informace z důvodu možných poruch soustředěny, tak aby přítomní zaměstnanci RO (radiační ochrany) měli informace o situaci ve SVJP. Na ETE jsou informace z SVJP přenášeny do místnosti číslo 417 b centrální dozorní radiační kontroly v SOO 801/02. Monitoruje se nejen SVJP, ale i jeho okolí a osoby, které byly přítomny v SVJP. SVJP má přirozenou ventilaci a jinak neodchází z SVJP mimo SVJP za provozu do okolí žádnému úniku RN.

Na úvod dalšího musím upozornit, že neexistují přesná měření omezená možnostmi a mnohými technickými a dalšími vlivy. Část záření není detekována. Citlivost detekčních přístrojů znamená zpracovat nejmenší aktivitu zachyceného záření. Monitorování RN je stanoveno vyhláškou č. 307/2002 Sb. SÚJB o radiační ochraně z 13. 6. 2002.

Nejdůležitější je pro skladování OS měření dávkového příkonu gama a příkon dávkového ekvivalentu od neutronů a objemové aktivity v ovzduší RN. Uváděné hodnoty jsou nejdůležitější pro případné navržené změny optimalizace energetické části SVJP. Praktická měření se provádí dle programů podle metodiky č. 0456, kde je veličinou míra ozáření osob. Celosvětový průměr z přírodního ozáření je o 1/3 nižší než v ČR. Povolený limit pro ČR z umělých zdrojů je 1 mSv/rok. Zaměstnanci pracující v provozech s ionizujícím zářením nesmí za pět let obdržet dávku větší než 100 mSv/rok a roční dávka je omezena 50 mSv/rok. Mimo toho jsou stanoveny limity dávek RN pro jednotlivé části lidského organismu vdechováním, příjmem z potravin.

Dávky jsou vyjádřeny v ČSN ISO 31-9, která uvádí názvy a značky veličin a jednotek atomové a jaderné fyziky odlišně od vyhlášky č. 307/2002 Sb. SÚJB o radiační ochraně z 13. 6. 2002. Dávka je střední udělená energie dělená objemovou hmotností daného bodu. Dávkový ekvivalent H (sievert, Sv) se vypočte vynásobením dávky D a jakostního faktoru Q závislého na ztrátě energie po dráze, tzv. brzdě schopnosti. PDE (příkon dávkového ekvivalentu) značí

přírůstek H za čas t (hodinách). Jednotkou je mSv/h , nebo $\mu Sv/h$. PDE záření gama je vyjádřeno podle odezvy na měřidlo způsobené ^{137}Cs jako směs RN k místu měření a na poloze vzdálenosti od zdroje záření. PDE od neutronů je vyjádřeno podle odezvy na měřidlo způsobené od ^{252}Cf jako směs RN k místu měření a na poloze vzdálenosti od zdroje záření. Vzhledem k rozptylu neutronů v prostředí je měření PDE neutronů mnohem složitější. Po každém uskladnění OS se měří uváděná PDE. Je-li PDE gama a PDE neutronů větší než $0,5 mSv/h$, jsou stanovena opatření RO. PDE se měří v skladovací lodi, jeřábové dráze, v prostoru ventilace na střešním světlíku, v určených místnostech. Uváděná měření se provádí přenosnými a stacionárními monitory.

Optimální rozmístění OS ve SVJP, optimální velikostí OS je dána nejen nutností již uváděného dochlazování, omezením PDE, ale i výskytem povrchové kontaminace OS radioaktivní látkou vyjádřenou plošnou aktivitou na povrchu OS. Je to dáno možností kontaminace osob, zařízení ploch SVJP. Z uvedeného důvodu je snahou neotvírat zářiče v SVJP. Z tohoto důvodu se povrchová kontaminace měří ve SVJP na předmětech vynášených z SVJP a na osobách pohybujících se uvnitř SVJP a při odchodu osob z SVJP. V SVJP se dále měří aktivita aerosolů vzácných plynů. Mimo to se může stát, že se bude muset odvodňovat a vysoušet vnitřní obalový soubor. Tato činnost se provádí na ETE podle GNS B 197/2007 a i zde je předepsaná radiační kontrola. Zjištěné zvýšené hodnoty se zaznamenají a následuje prověřování příčin a je pokynem k zahájení opatření k zabránění zvýšených hodnot. Prostory jaderných elektráren mají již dané projektem režimová opatření, kde jsou přibližně stanoveny dávky. Prostory jsou projektem rozděleny na prostory bez zdrojů ionizujícího záření, prostory možného zamoření, prostory které mohou být zamořeny z důvodu přepravy VJP. Do prostoru SVJP mohou vstupovat jen oprávněné osoby a minimálně ve dvojici. Exkurze mohou vstupovat jen do čistých prostor a v době, kdy v prostorách neprobíhá manipulace s OS a po souhlasu pracovníků zabývající se RO. Pracovníci, kteří vstupují do SVJP musí se chovat tak, aby nedošlo ke kontaminaci a ozáření jejich povrchu těla. SVJP nemá, jak jsem zmínil trvalou obsluhu, ale je zde zajištěna pochůzková kontrola. Tím, že sklad má železobetonovou podlahu, tak je zde zabráněno pronikání vzduchu látkami obsahující RN. OS se při měření a výpočtech radiace berou jako bodový zdroj. Neuvažuje se zde nestejnorožnost uložení po výšce ani průměru OS. Pro zjištění optimalizace bylo nutné získat hodně informací o palivu jaderných reaktorů, VJP, BSVP, OS, SVJP, přepravy s VJP, měření PDE gama a

neutronů. Na základě těchto získaných informací, je vidět, že suché skladování VJP je dobře nejen prováděno, dozorováno a jsou připravené pracovní postupy v případě nadlimitní radiace.

Na základě uvedených informací lze přistoupit k optimalizaci energetické části SVJP až po projektu, nákupu a instalaci modernější přístrojové techniky s cílem většího a lepšího monitorování OS a SVJP.

V současné době jsou využívány kanály pro měření PDE gama a neutronů monitory 9XQ12R003 a monitorem 9XQ12R004 ve skladovací lodi č. 143 SVJP ETE. Monitor 9XQ12R001 a monitor 9XQ12R002 nebude minimálně do roku 2030 využíván. Je třeba zajistit jeho využití, protože údržba dvou zmiňovaných monitorů při nárůstu cen ročně přijde na 60000 Kč a za 15 let to bude při současných cenách 900000 Kč. Totéž lze konstatovat o monitorech měřící vzduch ve skladovacích lodích 9XQ11R001, 9XQ11R002, 9XQ11R003. Dosud naměřené hodnoty podle měření přístrojem 9XQ11R003 jsou hodnoty pod hranicí detekovatelnosti. Údržba těchto monitorů se provádí 1 měsíčně a úspora by činila u těchto monitorů ročně kolem 130000 Kč. Vynásobíme-li to roky, jedná se o další velké úspory. Získaná měření nám dávají prostor pro případné budoucí projektování SVJP a možnost zvyšovat koncentraci uskladněného většího množství VJP v OS, či zvýšit koncentraci VJP v SVJP vzhledem k získaným poznatkům a vzhledem k bezproblémové stávající funkčnosti skladování VJP. Měření prováděná v blízkosti OS ve SVJP jsou prováděna jen při ustavení OS na odstavné místo v SVJP a doba měření PDE trvá 30 minut. Na ETE se proti zevnímu ozáření používá stínění pláty z flexibilních olověných desek a polyuretanu KeeplyShields o rozměrech 500 mm x 1100 mm. Protože se nepředpokládají v SVJP vyšší hodnoty dávkových ekvivalentů, a vzhledem k rozměrům OS se o stínění neuvažuje. Hodnoty dávkových ekvivalentů OS způsobují, že je nutno minimalizovat pobyt ve skladovacích lodí SVJP na dobu kratší 180 minut. Práce nad tři hodiny, lze vykonávat jenom na základě zvláštního písemného příkazu. Velmi důležitá jsou opatření zabraňující vnitřní kontaminaci a povrchové kontaminaci osob pracujících v SVJP. Při styku s OS naplněným VJP se musí používat ochranné pomůcky. Zatím nedošlo při provozu s OS ke kontaminaci pracovníků a z tohoto vyplývá, že je ochrana dostatečná. Na základě provedených zjištění o SVJP a na základě rozborů lze současný stav skladování VJP na jaderných elektrárnách v ČR charakterizovat jako optimální nejen z hlediska energetické části SVJP, ale z hlediska celého procesu s VJP.

Optimalizovat je možné údržbu zařízení, která se zatím nebudou využívat ve SVJP. Kvalitní stavbou SVJP, zvláště podlah, lze získat potřebná přesná měření neovlivněná nemožností průchodu radonu podlahou pod OS. Současná měření potvrdila, že v okolí SVJP nedošlo ke změně radiační zátěže. V současné době není potřeba měnit režimová opatření spojená s uskladňováním VJP v OS. Potvrzená měření na EDU nepředpokládají změny v radiační situaci ani po zaplnění SVJP na ETE.

Obrázek 4.2.1. SVJP Temelín

<http://www.cez.cz/cs/odpovedna-firma/zivotni-prostredi/programy-snizovani-zateze-zp/sprava-vyhoreleho-jaderneho-paliva-a-monitoring-je.html>



Obrázek 4.2.2. SVJP Temelín po umístění prvních obalových souborů

<http://http://www.temelinky.cz/cs/clanky/manipulace-s-kontejnery-castor-22.html>



V současné době budeme muset všechny zkušenosti zaměřit na projekt ukládání VJP do hlubinného úložiště, tak aby jako dosud bylo zatím optimálně zvládnuto řešení technologie SVJP.

5. OZÁŘENÍ ČLOVĚKA Z PŘÍRODNÍCH A UMĚLÝCH ZDROJŮ

Lidé v České republice jsou přírodními zdroji ozáření až 3,5 mSv/rok. Předpokládaný celosvětový průměr ozáření přírodními zdroji se předpokládá 2,4 mSv/rok. Umělé zdroje ozařují u nás lidi skoro 16 %. Z uvedeného plyne, že ozáření z umělých zdrojů je podstatně nižší než z přírodních zdrojů. Do ozáření z umělých zdrojů se započítávají ozáření při lékařských vyšetření, radiofarmaka a další léčba vyžadující při léčení umělé zdroje. ČR stanovila limit ionizujícího ozáření z umělých zdrojů ve výši 1 mSv/rok, do tohoto limitu se však nezapočítávají ionizující dávky potřebné v souvislosti s lékařským vyšetřením či léčbou. V okolí zdrojů ionizujícího záření je závazný tento limit pro obyvatelstvo. Pro pracovníky se zdroji ionizujícího záření je stanoven limit 50 mSv/rok, s tím že za pět let po sobě nesmí překročit 100 mSv/rok. Dále jsou stanoveny limity příjmů z radionuklidů ozářením v daných částech těla a vrstvách pokožky, inhalací a ingestí příjmu požitím infikovaných potravin nebo vody.

Tabulka 5. Celosvětové průměrné ekvivalentní dávky ozáření osoby z různých zdrojů.

<http://atominfo.cz>

Zdroj	Ekvivalentní dávka [μ Sv/rok]	Podíl na celkovém ozáření [%]
Radon a produkty přeměny radonu	1300	43,1
Lékařství	660	20,6
Vnější ozáření přírodními radionuklidy (mimo radon a jeho produkty)	460	15
Kosmické záření	380	12,5
Vnitřní ozáření přírodními radionuklidy (mimo radon a jeho produkty)	230	7,5
Těžební průmysl	24	0,75
Radionuklidy kosmogenního původu	12	0,4
Jaderná energetika	8	0,2
Výroba radionuklidů	0,8	0,02
Radioaktivní spotřební produkty	0,4	0,01

5.1. Vliv provozu jaderných elektráren za životní prostředí

Podle dostupných měření při bezporuchovém provozu jaderná elektrárna zvyšuje ozáření obyvatel o 0,001 mSv/rok. V porovnání s celkovým ročním

ozářením lidí je to jen malá část ozáření způsobená oproti ostatním zdrojům. Toto ozáření je způsobeno únikem radioaktivních látek do ovzduší a vod.

Do ovzduší se dostávají radionuklidy a izotopy vzácných plynů z chladicí vody, přestože je tento vzduch a vněm obsažené látky nejdříve jímány do vymírajících nádrží, kde se stačí rozpadnout izotopy s krátkým poločasem rozpadu a dále prochází iontoměniči a filtry, které zachytí podstatnou část radionuklidů uniklých do vzduchu. Roční limit výpustí do ovzduší je pro ETE 40 μSv a stejný limit je i pro EDU. ETE využívá ve skutečnosti tento limit v setinách procent (0,03 %). EDU využívá ve skutečnosti tento limit v setinách procent (0,04 %). Nejvíce u obou elektráren unikal do ovzduší radionuklid ^{14}C .

Do vod se dostane mimo elektrárnu radioaktivita nejvíce z chladicí vody. Radioaktivita se dostane difúzí ve velmi malém množství mikroskopickými trhlinkami. Jedná se o cesium, jod a vzácné plyny. Z kyseliny borité se dostane do vodotečí ^{10}B . Dále z chladicí vody vzniká tritium, které se rovněž dostává do vod mimo elektrárnu. Z konstrukčních materiálů prvního okruhu a z produktů koroze se dostávají do vod další radionuklidy jako je ^{58}Co , ^{60}Co , ^{51}Cr , ^{59}Fe , ^{54}Mn . Roční limit výpustí do vodoteče je pro ETE 3 μSv a pro EDU 6 μSv . ETE využívá ve skutečnosti tento limit na 23 %. EDU využívá ve skutečnosti tento limit na 26 %. Nejvíce u obou elektráren unikal do vodotečí radionuklid ^3H .

Všechny limity radioaktivních nuklidů určující maximální množství obsažených ve výpustích jaderných elektráren určuje v ČR SÚJB

5.2. Radionuklidy v životním prostředí

Radionuklidy mohou způsobit vnější nebo vnitřní ozáření organismů.

I když povrchem kůže a sliznic pronikají radionuklidy pouze minimálně, při porušení povrchu kůže jsou velmi rychle vstřebány do krve (pouze rozpustné sloučeniny).

Radionuklidy se dostanou do organismů z potravin. Plyny a aerosoly se dostávají do organismu do dýchacích cest, pokud jsou menší než 10 μm a do plic pokud jsou menší než 5 μm . Některé snadno rozpustné látky se tak plícemi dostávají přímo do krevního oběhu a při delším působení i do trávicího traktu. Dále se do organismů ze vzduchu minimálně dostávají radionuklidy povrchem sliznice, kůže. Do krve jsou však rozpustné sloučeniny vstřebávány velmi rychle při necelistvosti kůže.

Vliv radionuklidů na životní prostředí a živé organismy je dán nejen na druzích organismů, ale také na trávicím a dýchacím systému, celkovém metabolismu.

Záleží také na velikosti povrchu organismu vzhledem k hmotnosti. Čím je větší, tím více z půdy vzduchu a vody se akumuluje více radionuklidů.

V potravinovém řetězci, ve vodě řek i pitné vodě v ovzduší jsou přítomny aktivní radionuklidy, které je nutno sledovat.

V potravinách se monitorují lesní plody včetně hub. Dále se sledují zelenina, ovoce, maso včetně ryb a mléko. Zde u těchto produktů záleží nejen na aktivitě v dané potravine, ale hlavně na množství obsažené v konzumačních dávkách. U lesních plodů je zaznamenáván pokles aktivity ^{127}Cs .

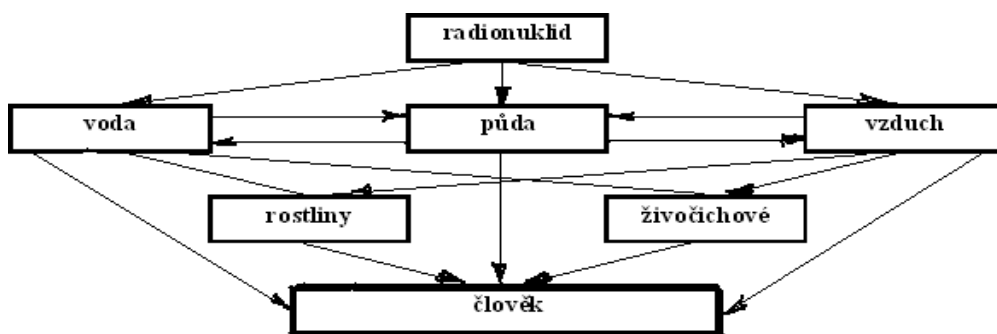
V povrchové a pitné vodě se sleduje ^3H a ^{90}Sr . ^{137}Cs se sleduje i v odpadních kalesch vodáren a v říčních usazeninách.

V plynech se sleduje ^3H a ^{85}Kr . V aerosolech ^7Be , ^{137}Cs , (^{210}Pb , které vzniká přeměnou z ^{222}Rn), ^{238}Pu , ^{239}Pu a ^{240}Pu , ^{222}Rn , ^{90}Sr . V dešťových srážkách a spadech se monitoruje ^7Be , ^{137}Cs , ^3H a ^{210}Pu .

Z aerosolů jsou v ovzduší sledovány objemové aktivity aerosolů ^{137}Cs , ^7Be (kosmogenní původ), dále ^{210}Pb , což je produkt přeměny ^{222}Rn . Dále je stanovována objemová aktivita ^{90}Sr , ^{238}Pu , ^{239}Pu a ^{240}Pu . Z plynů jsou monitorovány objemové aktivity ^{85}Kr a ^3H . Ve srážkách a spadech pak ^{137}Cs , ^7Be , ^{210}Pu a ^3H .

Radionuklidy se hromadí z vody v rostlinách a živočiších. Z vody a z atmosféry se v rostlinách hlavně hromadí ^3H a ^{14}C . Vždy u rostlin záleží na kořenovém systému, na půdě a hlavně na druhu radionuklidu. Nutno uvažovat, že měrná aktivita vztažená na (Bq/l) je nižší než měrná aktivita vody (Bq/kg). Taktéž přes vodu a rostliny se hromadí radionuklidy v živočiších. Poměrná měrná aktivita je vyjadřována bioakumulačním faktorem, který je pro nuklid ^{137}Cs dán u ryb 200 l/kg.

Schéma 5.2.1. Radionuklidy v životním prostředí



Radionuklidy vnikají do vody, půdy i vzduchu,

Z vody se radionuklidy dostávají zavlažováním do půdy a z půdy nazpět do vody vymýváním.

Ze vzduchu se usazují radionuklidy v půdě a do půdy ze vzduchu dostávají vířením větru.

Živočichové inhalují ze vzduchu radionuklidy a v rostlinách se radionuklidy usazují ze vzduchu. Taktéž z vody se dostávají radionuklidy do živočichů a rostlin.

Z vody se dostávají radionuklidy potravou a přímým ozářením do člověka.

Ze vzduchu se dostávají radionuklidy do člověka inhalacemi a přímým ozářením.

Radionuklidy se dostávají do člověka přímo ozářením z půdy

Do člověka se dostávají radionuklidy potravou ze živočichů a rostlin.

Tabulka 5.2.1. Rozdělení radionuklidů dle radiotoxicity a potenciálního nebezpečí vnějšího ozáření

[vyhláška č. 307/2002 Sb. SÚJB v úplném znění k 30. 6. 2015](#)

Třída	Radionuklidy
1	^{241}Am , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{210}Pb , ^{239}Pu , ^{226}Ra ,
2	^{59}Fe , ^{131}I , ^{210}Po , ^{106}Ru , ^{90}Sr ,
3	^{144}Ce , ^{125}I ,
4	^{14}C , ^{32}P , ^{89}Sr , ^{99}Tc , ^{90}Y ,
5	^{45}Ca , ^3H , ^{147}Pm ,

Člověk má skoro neměnné koncentrace radionuklidů. Jedná se o aktivitu radionuklidů vnitřně ozářených v tkáních.

Radiotoxicita vyjadřuje celkové fyzikální, chemické, biologické vlastnosti radiotoxicity. Nebezpečí vnějšího ozáření a radiotoxicity informuje o nebezpečnosti nuklidu. Nejvíce nebezpečné jsou nuklidy zařazené v první třídě

Tabulka 5.2.2. Maximální povolené koncentrace některých radionuklidů ve vzduchu

http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/jaderel_3.html

Radionuklid	Typ sloučeniny	Objemová aktivita ve vdechovaném vzduchu Bq/l]	Část lidského těla citlivá na radionuklid
¹³⁷ Cs	rozpustný	$7,2 \cdot 10^{-2}$	celé tělo, plíce, trávicí ústrojí
	nerozpustný	$1,9 \cdot 10^{-2}$	
³ H	rozpustný	7,4	měkká tkáň
¹²⁹ I	nerozpustný	$7,4 \cdot 10^{-2}$	štítná žláza, plíce, trávicí ústrojí
	rozpustný	$2,2 \cdot 10^{-3}$	
⁸⁵ Kr		11,1	celé tělo
²³⁹ Pu	nerozpustný	$3,7 \cdot 10^{-6}$	kost, plíce, trávicí ústrojí
	rozpustný	$2 \cdot 10^{-6}$	
⁹⁰ Sr	nerozpustný	$7,4 \cdot 10^{-3}$	kosti, plíce, trávicí ústrojí
	rozpustný	$1,5 \cdot 10^{-3}$	
²³⁸ U	nerozpustný	$1,9 \cdot 10^{-6}$	ledviny, plíce, trávicí ústrojí
	rozpustný	$1,1 \cdot 10^{-6}$	

Tabulka 5.2.3. Aktivita ^{127}Cs a ^{90}Sr zjištěná v potravinách v letech 2011

<http://www.bezpecnostpotravin.cz/kategorie/aktivity-icbp.aspx?start>

Radionulid	Potravina	Jednotka	Rok 2011
^{127}Cs	brambory	Bq/kg	$7,9 \cdot 10^{-3}$ – $1,8 \cdot 10^{-1}$
	drůbeží maso	Bq/kg	$2,2 \cdot 10^{-2}$ – $2,1 \cdot 10^{-1}$
	houby	Bq/kg	$3,6 \cdot 10^{-2}$ – $5,4 \cdot 10^3$
	hovězí maso	Bq/kg	$2,3 \cdot 10^{-2}$ – $8,4 \cdot 10^{-1}$
	lesní plody	Bq/kg	$1,6 \cdot 10^{-2}$ –4,4
	med	Bq/kg	$4,9 \cdot 10^{-2}$ –4,7
	mléko	Bq/l	$4,8 \cdot 10^{-3}$ – $8,4 \cdot 10^{-1}$
	ovoce	Bq/kg	$7,1 \cdot 10^{-3}$ –1,2
	ryby	Bq/kg	$5,4 \cdot 10^{-2}$ –7,3
	zelenina	Bq/kg	$6,8 \cdot 10^{-3}$ – $5,2 \cdot 10^{-2}$
	zvěřina	Bq/kg	$5,1 \cdot 10^{-2}$ – $2,0 \cdot 10^3$
	vepřové maso	Bq/kg	$1,1 \cdot 10^{-2}$ – $3,2 \cdot 10^{-1}$
^{90}Sr	mléko	Bq/l	$0,9 \cdot 10^{-2}$ – $6,5 \cdot 10^{-2}$
	smíšená strava	Bq/kg	$0,9 \cdot 10^{-2}$ – $1,1 \cdot 10^{-1}$

5. 3. Biologické účinky vybraných radionuklidů

5.3.1. Cesium ^{137}Cs

Cesium ^{137}Cs je **beta** a **gamma** zářič s poločasem rozpadu 30 let a biologickým poločasem rozpadu 50–150 dní. Má chemické vlastnosti podobné draslíku a to způsobuje ukládání ve svalstvu a měkkých tkáních. Patří mezi nejvýznamnější radionuklidy v životním prostředí. Obzvláště ryby obsahují velký obsah ^{137}Cs a do živých organismů se dostávají tak hlavně potravou.

5.3.2. Jód ^{129}I

Jód ^{129}I je **beta** zářič s poločasem rozpadu $1,6 \cdot 10^7$ let. Při štěpení vzniká velmi mnoho jiných radionuklidů jódu. Mají však krátký poločas rozpadu, a proto je v potravinových řetězcích významná jen u těhotných žen, novorozenců a malých dětí, kde se ukládá ve štítné žláze, na sliznici žaludku a v mléčných žlázách.

5.3.3. Krypton ^{85}Kr

Krypton ^{85}Kr je **beta** a **gama** zářič s poločasem rozpadu je 10,8 let. Shromažďuje se v atmosféře a tím dochází ke kontaminaci. Je málo rozpustný a málo chemicky aktivní a z toho důvodu málo proniká do potravinového řetězce. Z uvedeného zvýšená koncentrace v atmosféře má malý vliv na zdraví lidí.

5.3.4. Plutonium ^{239}Pu

Plutonium ^{239}Pu je **alfa** zářič s poločasem rozpadu $2,4 \cdot 10^4$ let a biologickým poločasem $7,3 \cdot 10^4$ dní pro kosti. Z těžkých kovů je nejvíce toxický. V atmosféře je v aerosolu nebo PuO_2 . Ukládá se v játrech, kostech a plicích. ^{239}Pu v počátečních 15 letech se stává latentním a pak v následujícím období další několik desítek let přispívá k zvýšenému vzniku rakoviny.

5.3.5. Stroncium ^{90}Sr

Stroncium ^{90}Sr je **beta** zářič s poločasem rozpadu 28,1 let a biologickým poločasem rozpadu 10^4 let. Vytváří rozpustné sloučeniny a jeho chemické vlastnosti jsou podobné vápníku a to způsobuje ukládání v kostech, chrupavkách velmi nebezpečný je při uložení v kostní dřeni, což mívá za následek poruchu krevetvorby.

5.3.6. Tritium ^3H

Tritium ^3H (T), izotop vodíku má v jádře 2 neutrony. Poločas přeměny nízkoenergetického **beta** zářiče je 12,4 roku a biologický poločas rozpadu je 10 – 20 dní. Z plynné formy oxiduje a vzniká tritiová voda (HTO), která se nachází v atmosféře jako vodní pára z kosmického záření. V živém organismu má vlastnosti vody a tak se šíří do všech měkkých tkání tělními tekutinami. Toto je příčinou vnitřní kontaminace.

5.3.7. Uran ^{238}U

Uran ^{238}U je **alfa** a **gama** zářič s poločasem rozpadu $4,5 \cdot 10^8$ let a biologickým poločasem rozpadu pro ledviny 15 dní a v ostatních částech těla 100 dní. Je velmi přítomen v litosféře.

6. BIOLOGICKÉ ÚČINKY ZÁŘENÍ

Ionizující záření po dopadu na živou tkáň předá energii této tkáni. Dojde k ionizování a excitování atomů. Nestabilita způsobuje chemické a biochemické děje v buňkách, kdy toto může vést ke změnám, které jsou někdy pohledově zjevné. Vysoké dávky záření způsobují funkční a morfologické změny v organismu a podle velikosti a doby záření, místu a ploše záření může být poškození organismu tak velké, že způsobí smrt. Buňky mohou být poškozeny přímo zářením a také nepřímo přes reaktivní ionty ionizující z okolních molekul. Organismus člověka nahrazuje rychle ztracené buňky. Změnám DNA se buňky dokážou bránit. Problém nastává v okamžiku, kdy dojde k mutaci genu zajišťující dělení buňky a začne docházet k nekontrolovanému až několikaletému procesu způsobující nádor. Přestože denně způsobí volný radikály v každé jedné buňce z 10^{14} , ze kterých se člověk skládá, k deseti milionům poškození nukleotidů DNA. Ozářením dochází k poruše obou vláken DNA, které jsou hůře opravitelné. K mutacím od běžné radiace dochází desetmilion krát méně, než k mutaci způsobené metabolismem. Změny DNA denně od metabolismu představují 1 % (10^6) událostí a od radioaktivního záření $5 \cdot 10^{-3}$ (mGy/rok). Od metabolismu se denně nachází 10^8 volných radikálů v blízkosti DNA. Poměr počtu mutací od metabolismu k mutacím od radioaktivního záření je $10^7:1$. Denně neodstraněných změn, nebo špatně opravených změn je od metabolismu 1 a od radioaktivního záření 10^{-7} . Změn neopravených denně od metabolismu je 10^2 a od radioaktivního záření 10^{-5} . Denně od metabolismu vytvoří v buňce 1 mutace a je opraveno 99,9999 % změn DNA. Od radioaktivního záření dochází k 1 mutaci za $2,74 \cdot 10^4$ roků. Mutace vzniklé i od zvýšeného radioaktivního záření na vzniku nádorů se jeví nepodstatné. Vysoké dávky radioaktivního záření způsobují neschopnost opravných mechanismů a tím obrany proti vzniku nádorů a dalším nebezpečným účinkům.

6.1. Účinky deterministické a stochastické

Účinky ionizujícího záření dělíme na deterministické a stochastické.

6.1.1. Deterministické účinky

Při deterministických účincích jsou buňky usmrceny. Dochází k nemožnosti obnovy od trvalého poškození buňky. Tím, že dojde k velkému počtu zničení buněk daného orgánu, dochází potom ke ztrátě funkce napadeného orgánu. U

deterministických účinků je patrná souvislost s ionizujícím ozářením. Ozáření vysokými dávkami se projevuje akutní nemocí z ozáření a další kožní změny. Ionizujícího záření způsobuje nenádorová poškození a zákalů očních čoček. K dalším závažným účinkem je kardiovaskulární onemocnění. Deterministické účinky mají prahové dávky záření s pásmem nulové odezvy a intenzita dávkou záření a účinků záření má pro kožní erytémy, bulózní dermatitidy a narkózy kůže má stoupající esovitě zakřivení.

6.1.1.1. Nemoc z ozáření

U lidí vystavených velkým ionizujícím dávkám při jaderných výbuchách, haváriích jaderných zařízeních, při léčbě se projevuje nemoc z ozáření. Dle projevů účinků záření se nemoc rozděluje do několika stádií. První počáteční stádium nemoci z ozáření je způsobeno již po několika hodinách nebo dnech. Ozáření mají žaludeční nevolnosti bolesti hlavy. Pak následuje období, kdy se neprojevují skoro žádné příznaky nebo úplně zmizí tyto příznaky. Toto však neplatí při ozáření vysokými dávkami. V dalším období dochází k plnému rozvoji příznaků. V případě, že nedošlo k smrtelné dávce, člověka pomalu mizí příznaky nemoci z ozáření. Nejčastěji však i v tomto období zůstávají trvalá poškození. Nejvíce trvale dochází k častým nádorovým onemocněním, velkým únavám, gastrointestinálním poruchám, k poruše plodnosti a poruchám spojených s krvetvorbou. Z dostupných informací z měření při zkouškách jaderných zbraní a při havárii jaderné elektrárny v Černobylu bylo zjištěno, že některé uvolněné izotopy při zkouškách jaderných zbraní mnohonásobně převýšily aktivitu uvolněných izotopů při havárii jaderné elektrárny v Černobylu.

Tabulka 6.1.1.1. Izotopy uvolněné během pokusných jaderných výbuchů a při havárii JE v Černobylu

<http://fbmi.sirdik.org/4-kapitola/43/432.html>

Izotop	Aktivita [10^{18} Bq]		Izotop	Aktivita [10^{18} Bq]	
	Zkoušky jaderných zbraní	Havárie JE v Černobylu		Zkoušky jaderných zbraní	Havárie JE v Černobylu
^{140}Ba		4,995	^{239}Np		26,6
^{14}C	0,22		^{238}Pu	0,0003	0,00003
^{141}Ce		5,55	^{239}Pu	0,01	0,0007
^{144}Ce	30	3,33	^{240}Pu	0,01	0,0011
^{242}Cm		0,018	^{103}Ru		4,81
^{134}Cs		0,148	^{106}Ru	12	2,22
^{137}Cs	1	0,296	^{89}Sr		2,331
^3H	240		^{90}Sr	0,6	0,222
^{131}I	700	3,182	^{132}Te		2,70
^{99}Mo		5,92	^{95}Zr	150	4,81

6.1.2. Stochastické účinky záření

Genetické účinky a pozdní účinky z ozáření zařazujeme mezi účinky nahodilé (stochastické). V případě, že nedojde k opravení DNA, zůstanou buňky poškozené a živé. Z těchto buněk pak mnohdy vznikají rakovinná bujení a tyto buňky mají vliv z důvodů dědičných vlastností i při vzniku nových generací. Někdy se účinky záření projeví až za mnoho roků. Jsou to různé druhy leukemií a rakovin a dochází i k poškození zárodečných buněk a vyvíjejícího se plodu dítěte v matce. Toto se však velmi těžko prokazuje z důvodu, že tyto nemoci, nádory, poruchy se vyskytují i u osob, které nebyli vystaveni vysokému zvýšenému ozáření. Také u lidí zasažených vysokými dávkami mající nádory se těžko souvislost s uvedeným ozářením prokazuje. Na základě pozorování, měření účinků záření se srovnávají osoby podle výše obdržených dávek. Tímto jsou vytvářeny extrapolované bezprahové lineární závislosti vzniků nádorů a dalších případných genetických poruch v závislosti na obdržené velikosti ozáření. Nejcitlivější jsou na ozáření lidské buňky s vysokým metabolismem, čehož se využívá při léčbě ve zdravotnictví, kdy se rakovinné nádory léčí ozářením.

6.1.2.1. Rakovina štítné žlázy

Bylo zjištěno, že stochastický účinek záření je přímo úměrný dávkám záření. K stochastickým účinkům záření řadíme výskyt rakoviny štítné žlázy u dětí. Možnost vzniku onemocnění je závislá na věku dítěte, ve kterém bylo dítě ozářeno. Čím starší tím je pravděpodobnost související uvedeného onemocnění s ozářením menší. Případu vzniku rakoviny štítné žlázy u dětí v době havárie do 5 let po 5 letech od havárie se zvýšil ze 17 onemocnění na 80 onemocnění a neustále stoupá. U dětí starších v době havárie od 5 do 10 let stoupl v roce 1990 z 12 případů na 40 případů v roce 1995 a od této doby se vyskytuje ročně v této generaci narozených úbytek, kdy v dnešním období se ročně vyskytuje toto onemocnění u 24 osob. U osob, kterým bylo v době ozáření mezi 10 až 15 lety, se od roku 1990 pohybuje nový výskyt této nemoci do dneška u 20 lidí ročně.

6.1.2.2. Karcinogeneze

Mezi další stochastické účinky záření patří karcinogeneze. Tato nemoc má tři fáze. První fází je vznik rakoviny. Na to navazuje období růstu nádoru a posledním fází má maligní průběh. Nelze ani dnes prokázat souvislost vzniku nádoru s ozářením. Je to dáno tím, že ke klinickému projevu může od ozáření uplynout i několik desetiletí. Souvislost s ozářením byla prokázána pozorováním a zkoumáním u populace vystavené vysokým dávkám záření. Japonsko pozorováním prokázalo, že v letech 1950 až 1990 souviselo 81 případů úmrtí z 248 osob na leukémii na následky ozáření z bomb svržených na Japonsko v roce 1945. Větší podíl na výskyt a úmrtnost na rakovinu jater, tlustého střeva, vaječníku, prsu, žaludku, močového měchýře, leukémii, plic má populace vystavená velkým dávkám záření. Problém zůstává, že průzkumy a studie u populace ozářené nízkými dávkami, ukázaly na zcela opačné účinky v souvislosti s uvedeným onemocněním.

6.1.2.3. Účinky na embryo

Při ozáření embrya může dojít ke vzniku mnohých vad, rakovin a mentálních poškození. Ozáření embrya je nebezpečné v celém průběhu jeho vývoje. Následky pro embryo mohou být smrtelné. Podle studií a z pozorování bylo zjištěno, že i nízké dávky záření mohou být příčinou dědičných onemocnění a karcinomů.

6.1.2.4. Další stochastické účinky

Na ozáření jsou citlivé orgány zajišťující reprodukci krve. Při ozáření těchto orgánů může dojít ke vzniku onemocnění leukémií. Toto může nastat až v době mezi 5 až 15 rokem od ozáření. U mužů byla prokázána souvislost ozáření s onemocněním močového měchýře a u žen byla prokázána souvislost s ozářením u onemocnění prsu.

6.1.2.5. Dědičné vlivy

Ozářením zárodečné buňky může dojít ke změně DNA. Tato změna může být předána následujícím generacím a vést k dědičné poruše. Tato pravděpodobnost byla ověřována laboratorně ne na lidských orgánech. Zde záleží, zda jde o dominantní mutaci, která je přenesena vždy na další generace. K recesivní mutaci dojde pouze, je-li přenesena oběma rodiči. Tato druhá recesivní mutace může být skrytá po mnoho generací a hromadí se v genofondu populace. Někdy se dnes setkáváme i s multifaktoriálním onemocněním daným ozářením, které má spočívat na environmentálních a genetických faktorech. Toto onemocnění je zatím neprokázané.

6.1.3. Statistické údaje

Při celkovém ozáření 1000 mSv je 10,9 % pravděpodobnost vzniku nádoru, 4,5 % pravděpodobnost vzniku fatálního nádoru a pravděpodobnost vzniku leukémie je 1,1 %.

Embryo vystavené 1000mSv mezi osmým a patnáctým týdnem vývoje má IQ o 30 bodů nižší. Při ozáření 1000 mSv vzniká 1,2 % dědičná pravděpodobnost.

U následujících dvou generací je 0,3 % dědičná pravděpodobnost.

6.2. Nízké dávky záření

Pokusy bylo ověřeno, že po ozáření nízkými dávkami dochází v buňkách ke změnám a ke snaze vyrovnat se s účinky záření. Zjistit účinky nízkých dávek záření lze pouze na velkém množství lidí. Při nízkých dávkách záření dochází ke změnám a poškození chemických struktur. Ne všechny buňky se dokážou opravit a tím mohou být dědičně přeneseny změny i následně na organismy.

6.3. Adaptace

Adaptace je dána syntézou enzymů zajišťující opravu DNA. Máli buňka v danou dobu ozáření dostatečný počet enzymů je schopna větší opravy a tím je

snížena možnost mutace. Ke snížení DNA mutací dochází reparační stimulací mechanismů v buňkách. K těmto adaptačním procesům dochází jedná-li se o malé koncentrace jedovatých látek a reakce na ozáření je dána mechanismem buněčné reakce na poruchu. Toto bylo prokázáno u lidských lymfocytů.

6.4. Pojmy

Ionizující záření je daná radioaktivní přeměnou atomů.

Záření alfa se skládá, z jader helia. Ionizační schopnost je velká, ale má krátký dosah, jen několik cm ve vzduchu.

Záření beta jsou elektrony nebo pozitrony. Mají větší pronikavost do vzdálenosti 1 metru ve vzduchu.

Záření gama je proud elektromagnetického záření, fotonů. Ty mají vysokou pronikavost i několik kilometrů.

Radionuklid má energetický stav jádra a podléhá samovolné přeměně spojené s emisí částic. Radionuklidy mají své fyzikální a chemické vlastnosti. Vyznačují se poločasem přeměny $T_{1/2}$.

Radioaktivita je schopnost jader atomů se samovolně rozpadat. Vznikají tak nová jádra a při tom se uvolňuje energie ve formě záření.

Poločas přeměny ($T_{1/2}$) je doba za kterou se samovolně přemění polovina z počátečních atomů. Tímto dochází k exponenciálnímu poklesu počtu jader. Doba přeměny poloviny z počátečních atomů může být mnohonásobně menší než je sekunda nebo naopak doba může být i v milionech roků.

$$N = N_0 \cdot e^{-\ln 2 \cdot t / T_{1/2}}$$

N - je počet jader, která se přeměnila za dobu t .

N_0 - je počet počátečních jader.

Biologický poločas přeměny (T_b) udává vylučování radioaktivního prvku z organismu. Je to doba, za níž se z organismu vyloučí polovina přijatého množství radionuklidu. Kromě tohoto rozpadu se však radionuklid při biologickém vylučování rozpadá i fyzikálně.

To je udáváno **efektivním poločasem rozpadu (T_{ef})**.

$$T_{ef} = T_b \cdot T_{1/2} / (T_b + T_{1/2})$$

Aktivita (A) je podíl radioaktivních přeměn v daném množství radionuklidu za čas.

$$A = dN / dt$$

dN je střední počet radioaktivních přeměn.

dt je časový interval.

Jednotka Bq (becquerel) definuje 1 rozpad za sekundu. Jednotka Ci (curie) byla odvozena jako aktivita jednoho gramu ^{226}Ra . $1\text{Ci}=3,7\cdot 10^{10}\text{Bq}$.

Dávka (D) určuje velikost energie záření absorbované látkou v jednotce hmotnosti. Je to podíl střední energie ϵ , kterou ionizující záření předalo látce a hmotnosti dm.

Velikost energie záření absorbované látkou v jednotce hmotnosti se nazývá **dávka (D)**. Tato základní dozimetrická veličina je definována jako podíl střední energie, kterou ionizující záření předalo látce, a hmotnosti látky dm.

$$D = d\epsilon / dm$$

Gray (Gy) = J/kg. Další jednotkou je 1 rad = 0,01 Gy.

Dávkový přírůstek (D) udává podíl přírůstku dávky dD za časový interval dt. Jednotkou je Gy/s.

$$\dot{D} = dD / dt$$

Ekvivalentní dávka (H), (nazývaná také dávkový ekvivalent). Udává biologické účinky podle druhu ionizujícího záření.

$$H = D \cdot Q$$

D udává dávku záření. Q je jakostní faktor. Jednotkou je sievert (Sv) = J/kg. Platí převodní vztah mezi 1 rem = 0,01 Sv.

Jakostní faktor Q (faktor kvality záření) udává biologickou účinnost ionizujících částic. Je to bezrozměrná jednotka. Záření gama má jakostní faktor 1. Záření beta má také jakostní faktor 1, záření alfa má jakostní faktor 20 a záření neutrony má jakostní faktor od 5 do 20 v závislosti na energii neutronu.

Efektivní dávkový ekvivalent (H_E) vyjadřuje rozložení dávky v částech těla a určuje celkovou zdravotní újmu. Při výpočtech se nezapočítávají chodidla, kotníky, chodidla, oční čočky, předloktí, ruce.

H_T je střední hodnota ekvivalentní dávky ve tkáních nebo orgánech lidského těla a w_T vyjadřuje váhový činitel (faktor tkáňové citlivosti) udávající zdravotní újmu. Velmi významný je při nerovnoměrném ozařování.

Tabulka 6.4. Hodnoty w_T pro části lidského těla

https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/ICRP103_dokument
(Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany 2007)

Část těla	Váhový činitel (w_T)	Část těla	Váhový činitel (w_T)
Gonády	0,20	Játra	0,05
Konečník	0,12	Štítná žláza	0,05
Žaludek	0,12	Jícen	0,05
Kostní dřev	0,12	Kůže	0,01
Plíce	0,12	Povrch kostí	0,01
Mléčná žláza	0,05	Zbytek těla	0,05
Močový měchýř	0,05		

6.5. Praktické potvrzené stochastické účinky

Marie Curie - Sklodovská pocházela z Varšavy. Studovala v Paříži, na fakultě fyziky a chemie. Za objevení polonia a radia získala v roce 1903 Nobelovu cenu. Zabývala se vlivem záření na člověka. Připevnila si na 10 hodin radiovou sůl na ruku. Po třech týdnech se jí na tomto místě udělala hnisavá rána, která se jí hojila přes dva měsíce. Umřela na leukémii vyvolanou kontakty s radioaktivními zářiči.

6.6. Příklad deterministických účinků

Louis Slotin vystudoval chemii, v Londýně složil doktorát a v Chicagu vyvíjel cyklotron. Od roku 1942 se podílel na vývoji jaderné bomby a od roku 1944 se v Los Alamos podílel na stavbě jaderné bomby. Prováděl testy jaderných bomb. Jeho spolupracovník Harry Daghlian provedl pokus se štěpným materiálem a byl zasažen vysokou dávkou záření, na kterou zemřel po 24 dnech na akutní nemoc s ozáření. 21. 5. 1946 při opakovaném ukázkovém experimentu na plutoniovém jádře ve tvaru koule potažené niklem, mající váhu 6 kg, které bylo uloženo v beryliových polokoulích. Berylium odrážející neutrony vrací do plutonia a dochází ke štěpným reakcím. Při přibližování vrchní polokoule berylia ke spodní docházelo ke zmenšení štěrbin mezi beryliovými polokoulemi, a tím se zvyšoval počet neutronů odražených zpět do plutoniového jádra. Řetězová reakce začínala ve vzdálenosti mezery menší než 0,32 cm. V tomto okamžiku byl počet neutronů v jádru větší než jejich ztráta. Protože byly odstraněny pojistky mezi polokoulemi zabraňující vzájemnému dotyku těchto uvedených dvou beryliových polokoulí, držel Slotin palcem levé ruky zasunutým do otvoru horní polokoule horní polokoulí a pravou rukou ve které měl šroubovák, kterým udržoval štěrbinu mezi polokoulemi. Šroubovák se mu v ruce smekl a došlo ke spojení polokoulí. Přestože Slotin shodil vrchní polokouli, nezabránil reakci. Již během cesty do nemocnice Slotin zvracel a měl oteklou levou ruku a zčernalé nehtové lůžko. 24 hodin po nehodě již byla ruka extrémně oteklá a začalo mu rudnou břicho vystavené od zářiče ve výšce polokoulí. Na uklidnění proti bolesti dostal morfium. Pak následovalo období, kdy přestal zvracet

a cítil se dobře. Probíhal stejný průběh jako u Daghliana. V dalších dnech se mu objevil na palci velký puchýř. Potom následoval vznik dalších puchýřů a otoků. V této době, kdy už morfium nepomáhalo proti bolestem, dostával krevní transfúze. V této době, kdy byla nemoc v latentní fázi Slotin dokázal stále logicky myslet. V blízkosti zlatého zubu se mu udělal vřed. Šestý den po havárii mu stoupla teplota, puls, žaludek a střeva již nepracovaly a došlo k vnitřnímu krvácení. Kůže se zbarvovala do hněda a začala se projevovat duševní zmatenost. Následovalo bezvědomí. Zemřel devátý den po nehodě. Stanovit dávky záření se pokoušeli z kovových věcí, které měli účastníci experimentu u sebe. Bylo zasaženo celkem 8 lidí. Jediný kdo zemřel, byl Slotin. Ostatní obdrželi dávky od 21 Sv do 0,37 Sv.

7. NAKLÁDÁNÍ S RADIOAKTIVNÍM ODPADEM A VJP V HLUBINNÝCH ÚLOŽIŠTÍCH

7.1. Úvod do nakládání s radioaktivním odpadem a VJP v hlubinných úložištích

Přestože již dnes se dá přepracovávat VJP a tyto technologie se neustále vyvíjí, zbude i z přepracovaného VJP část nežádoucích RN, které bude nutno izolovat, tak aby nemohlo dojít k ohrožení člověka RN.

Z uvedeného vyplývá, že ČR bude muset z tohoto důvodu vybudovat hlubinné úložiště ve vhodné lokalitě, které by mělo být uvedené do provozu v roce 2065. Toto úložiště by mělo splňovat požadavky uskladňování v současně době legislativně zatříděné jako VJP a mělo by umožnit uskladnit i přepracované VJP a radioaktivní odpad z přepracovaného VJP.

Pro rozhodnutí v rámci zvolení optimální technologie hlubinných skladů v přípravné fázi bude pro úpravu koncepce a projektů nutně porovnat poznatky ze zahraničí s reálnými možnostmi ČR.

Jedná se tedy nejen o technický problém, který je třeba zvládnout, ale aby vybraná lokalita obsahovala vše potřebné pro ukládání současně zatříděného VJP. Z toho je vidět široká problematika hlubinného ukládání z pohledu technického, ekonomického, geologického, logistického a sociálního dopadu.

Ukládání VJP má spojitost s jadernými elektrárnami, ale i s výzkumnými jadernými reaktory. Dnes lze dokumentovat, že se do skladů určený s odkládáním odpadů s provozu jaderných elektráren ukládá i odpad, nejen z jaderných elektráren. Zatím dle legislativy VJP není definováno jako odpad do prohlášení vlastníkem, že VJP nemá možnost dalšího použití.

Odpady se rozdělují na odpady s nulovou produkcí tepla do 10^9 Bq/m³, středně aktivní s nízkou produkcí tepla od 10^9 Bq/m³ do 10^{14} Bq/m³ a vysokou produkcí tepla nad 10^{14} Bq/m³. Další dělení je podle poločasu rozpadu RN menší než 30 roků na krátkodobé a poločasu rozpadu RN větší než 30 roků na dlouhodobé.

V ČR je od roku 1995 v areálu JDU úložiště pro 55000 m³ nízko a středně aktivní odpadu vznikajícího s provozu jaderných elektráren. Dále je v ČR od roku 1964 v dole Richard II úložná kapacita pro 8500 m³ institucionální nízko a středně aktivního odpadu. Od roku 1974 je v provozu sklad Bratrství pro nízko a středně aktivní odpad obsahující pouze přírodní RN. Sklad Hostim, byl v provozu, od roku 1959 do roku 1964 pro nízko a středně aktivní odpad vzniklý z výzkumných

prací. Provoz těchto skladů zajišťuje v ČR Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO).

Vysokoaktivní odpad se zkoušel ukládat do: subdukční zóny (Bostrom & Sherif 1970), polárních ledovců (Philberth 1976), kosmického prostoru (Priest, Nixon & Rice 1980), mořského dna (Kluwer 1989), hlubokých vrtů (Juhlin et al. 1998; Gibb 1999; Ericsson 1999).

Důležité je pro hlubinné úložiště její příprava, protože stavba musí mít životnost po mnoho deseti tisíciletí a proto již příprava a plánování, tedy územní řízení, žádost o povolení uložení RAO, VJP nesmí být podceňena. S tímto souvisí výběr lokality, projekt. Tedy stavební řízení, žádost o povolení výstavby skladů na uložení RAO, VJP. Po provedení stavby a kolaudačním řízení následuje souhlas se zkušebním provozem a zkušební provoz, na který navazuje provozní řízení spojené se žádostí o souhlas s provozováním a potom následuje vlastní provozování až do uzavření úložiště.

Velmi důležité je hlavně prozkoumání geologického prostředí, které má bránit sesuvům země a pronikání vody do hloubek země. Výběr území pro stavbu úložiště pro trvalé uložení VJP a vysoce aktivní RAO je velmi důležitá, tak, aby byly splněny bezpečnostní podmínky. Další podmínky, které musí lokalita vybraná pro ukládání VJP a RAO splňovat jsou nejen vlivy na životní prostředí, ale i sociální, ekonomické dopady na okolní území budoucího trvalého ukládání VJP a RAO. Generel uvedených skladů musí navazovat na kvalitní infrastrukturu.

7.2. Forma, ve které se předpokládá ukládat radioaktivní odpad a VJP v hlubinných úložištích

VJP se vyjme z aktivní zóny jaderných reaktorů a po několikaletém dochlazování VJP v bazénu vedle jaderného reaktoru se uloží OS, kde se dále dochlazuje několik desítek let v suchých či mokřích skladech. VJP jsou tablety oxidu uraničitého umístěných v palivových proutcích vyrobených ze zirkonových slitin, které mají bránit úniku štěpných produktů při provozu i po skončení provozu v jaderných elektrárnách. Tyto proutky jsou spojeny do palivových kazet. Do hlubinného úložiště by se v kontejnerech pro ukládání měly ukládat palivové kazety o maximální teplotě 90 °C z důvodu, aby nedošlo k porušení vlastností těsnícího materiálu vytvářejícího kolem kontejneru těsnící bariéru. Předpokládá se, že tímto materiálem vytvářející kolem kontejneru těsnící bariéru by měl být

bentonit. Ten má stálé vlastnosti do 120 °C v prostředí vlhkém a v suchém prostředí si má uchovávat potřebné vlastnosti do teploty 350 °C.

Kapalné vysoce aktivní odpady se předpokládá uskladňovat v hlubinných úložištích po upravení vitrifikací, kdy při teplotách 1200 °C přidá přísada a zataví se nežádoucí RN do borokřemičitanového nebo křemičitanového skla. V současné době se provádí zkoušky zatavování nežádoucích RN skla obaleného hliníkem a olovem. Následně se předpokládá takto upravené nežádoucí RN uložit do kovových kontejnerů.

Radioaktivní odpady vznikají již v průběhu těžby, zpracování vytěženého materiálu, při obohacování, při provozu jaderných elektráren a také budou vznikat při likvidaci jaderných zařízení. Důležité je tedy předzpracování, zde se rozhoduje, zda odpad uložit na skládku, nebo zda musí být odpad nějakou dobu uložen po určitou dobu, než dojde k rozpadu RN. RAO, který je nutno dlouhou dobu uskladňovat se musíme snažit zpracovat tak, aby se co nejvíce zmenšil jeho objem. Potom podle druhu zpracování určíme místo uložení. Pro zpracování RAO se používá cementace, bitumenace, vitrifikace. Jedná se o zpevnění odpadu cementem, bitumenem, sklem. Sklo je vhodné hlavně pro úpravy k uložení vysoce aktivních radioaktivních odpadů. Ve světě se používají i betonové obaly pro skladování. Z důvodu nejen skladovacích kapacit, ale i z dalších možných důvodů v budoucnu navrhuji předpokládat, že bude nutné odpady přesouvat a tedy nějakým způsobem přepravovat, což se v projektech pro konečné ukládání RAO neuvažuje. Na toto zvláště upozorňuji vzhledem k budoucnu možnému následnému přepracování VJP, aby se v budoucnu mohla využít nahromaděná energie ve VJP.

7.3. Bezpečnost hlubinného úložiště.

Projektování hlubinného úložiště je spojeno se zajištěním bezpečnosti pro mnoho století. Bezpečnost se musí projektovat s ohledem na veškeré možné vlivy a děje, které by mohly nastat. Bezpečnost má být zajištěna nejen technicky, ale má se zde využít i přírodního prostředí. Technické zajištění spočívá v uložení vysoce aktivního odpadu do UOS, který by mohl být uložen v dalším UOS i s ohledem na možnost vyjmutí v pozdější době z důvodu jak navrhuji v kapitole 7.2. Technické zajištění spočívá ve vysoké odolnosti OS proti korozi a dále v uložení OS do těsnících jílových bariér. Přírodní prostředí, tedy nejbližší k uměle vytvořené bariéře, by se mělo stát další bariérou.

7.4. Úložný obalový soubor

ÚOS je navrhován, tak aby snesl vysoké mechanické namáhání a byla i po tomto namáhání zaručena jeho těsnost.

V dnešní době se testují ÚOS z hlediska výhod a nevýhod daných materiálů, z nichž se vyrábí. Zkouší se i jejich vzájemná kombinace. Jedná se o materiály z niklu, mědi, titanu, železa. ČR zatím testuje kontejnery z nerezavé oceli a mědi. Tyto kontejnery by měly odolávat mechanickému namáhání a měli by mít dlouhodobě zvýšenou odolnost proti korozi. **Aktualizovaná koncepce z listopadu 2014 (Aktualizace koncepce nakládáním s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem - SÚRAO) a technická zpráva z července 2015 (Technická zpráva číslo 1/2015, Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřebné umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 – 2025 SÚRAO) nepředpokládá, že kontejnery se budou umisťovat do vyvrtaných otvorů ve vertikální poloze. Přestože navrženými stroji se zkouší vrtat horizontální otvory, z důvodu optimalizace technologie skladu VJP doporučuji pro ukládání a případné vyjímání důkladně prověřit možnost ukládat RAO a VJP do vertikálních otvorů.** Vertikálně vytvořené otvory pro ukládání RAO a VJP se budou snáze uzpůsobovat a opravovat v případě tektonických poruch v horninách se vyskytujících a tím i lépe se zajistí zatěsňování kolem ÚOS a tím dojde k lepší ochraně životního prostředí. Po uložení ÚOS a zatěsnění okolí ÚOS se v technických a koncepčních návrzích předpokládá zasypat a utěsnit celý prostor hlubinného úložiště méně kvalitním bentonitem. To znamená zasypat všechny prostory včetně přepravních cest. Zde také z důvodu optimalizace technologie skladu vyhořelého jaderného paliva navrhuji, ponechat tyto prostory nezasypané, tyto prostory monitorovat a případně ponechat možnost pro provedení oprav ventilace a zajištění odklonu spodních vod. Koncepce plánuje využívat sedimentárních hornin. Aktualizovaná koncepce z listopadu 2014 (Aktualizace koncepce nakládáním s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem - SÚRAO) a technická zpráva z července 2015 (Technická zpráva číslo 1/2015, Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřebné umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 – 2025 SÚRAO) je švédskou koncepcí označenou v překladu (Bezpečnost jaderného paliva - KBS-3H) a podobně navrhuje koncepci nakládání s radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem v ČR Správa úložišť radioaktivních odpadů.

Švédsko však již v současné době předpokládá i možnost ukládat ÚOS ve vertikální poloze od sebe vzdálených tak, aby se teplotně neovlivňovaly. Podle velikosti ÚOS, bude vyhlouben otvor do potřebné hloubky a o potřebném průměru prostoru pro ÚOS a těsnicí bariéru. Koncept nese označení v překladu (Bezpečnost jaderného paliva KBS-3V). Dnes se začínají zkoušet i lisované bentonitové bloky. Švédsko ověřuje způsob ukládání RAO v grafitických horninách.

7.5. Těsnicí bariéra

Tato bariéra má zabránit přístupu vody k uloženému ÚOS v hlubinném úložišti v podzemí a zamezit úniku RN do okolí v případě poškození ÚOS. Dále má těsnicí bariéra zabránit poškození ÚOS před mechanickým poškozením při sesuvech, pohybu horninového masivu a dalších aktivitách v zemi. Z tohoto důvodu je dobré, když bude mít těsnicí bariéra co největší objemovou hmotnost. Izolační schopnost těsnicího materiálu má nejen zabránit přístupu vody ke kontejneru, ale má i význam z hlediska zvýšené ochrany před porušováním ÚOS korozi. Dále musí mít těsnicí materiál schopnost odvádět teplo. Mezi další potřebnou vlastnost, kterou by těsnicí materiál měl mít, patří chemická stálost, inertnost vůči kontejneru, teplu, unikajícím plynům a RN. Dále by měla mít těsnicí bariéra co největší objemovou hmotnost, aby se nešířily RN v případě poškození kontejneru. Při poklesu objemové hmotnosti pod $1\ 800\ \text{kg/m}^3$ se zvyšuje možnost mikrobiální aktivity a tím následně zvýšení netěsnosti kontejneru způsobené snížením odolnosti proti korozi.

Z tohoto důvodu zatím dle studií a výsledků zkoušek vychází za nejvhodnější těsnicí bariéru používat z důvodu jeho vlastností kvalitní bentonit

7.6. Bentonit

7.6.1. Úvod

Bentonit obsahuje minerál montmorillonit ze skupiny tektitu. Tento minerál dává bentonitu bobtnací kapacitu, plasticitu, sorpční kapacitu a velkou schopnost vyměňovat ionty. Jedná se o jílovou horninu.

Tato hornina vznikla argilitizací křemičitých efuzí in situ z ryolit, dacitů. Argilizace proběhla následně po uložení ve vulkanickém popelu ve vodním prostředí. Teplo napomohlo ohřát vodu, která působila na tufy. Bentonit taktéž vznikl v alkalické vodě za působení teplých pramenů, nebo subaerickým

zvětráváním tufů. Monmorillonit vzniká vždy v alkalickém prostředí při zvolném vyluhování tufů za přítomnosti hořčíků. Při rychlém vyluhování vzniká kaolinit. Při velké koncentraci draslíku vzniká illit, nebo dochází ke smíšení struktur illitu a montmorillonitu.

Bentonit se skládá z minerálů patřící do skupiny smektitu. Mezi nejvíce známý je z této skupiny montmorillonit, který je spojen pomocí molekul kyslíku jednu oktaedrickou a dvě tetraedrické sítě. Do skupiny tektitu patří mimo montmorillonitu ještě beidellit, hektorit, nontronit, saponit, stevensit a volkonskoit, které dávají bentonitu chemicko fyzikální vlastnosti. Hořčík je centrálním kationem tetraedrů, někdy je také substituován hliníkem. Hliník se nachází v centrálních pozicích oktaedrů. V bentonitech se vyskytují i minerály detritického materiálu, jako je apatit, magnetit, nealterovaná skla a pyrit. Dále se v bentonitu vyskytují druhotné minerály, mezi něž řadíme cristobalit, illit, kaolinit, karbonáty, sádrovec, opál, zeolity. V bentonitu se vyskytují i minerály vulkanického původu biotit, illit, kaolinit, křemen, pyroxen, relikty, zirkon, živec.

Substitucí v oktaedrech, někdy i tetraedrech vzniká na vrstvách negativní náboj. Ten se nalézá v mezivrstvích. Pokud je vyměnitelným kationem Na^+ , pak se mluví o Na montmorillonitu mající velmi dobré bobtnací vlastnosti. Když je vyměnitelným kationem $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, pak bobtná bentonit méně. Nejméně bobtná bentonit s vyměnitelným kationem Ca^{2+} . V mezivrstvích montmorillonitu se nalézají i molekuly hydratačních obalů kationtů od vody. Dále je náboj kompenzován kationty jako je K^+ , Li^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+} . To vše umožňuje bentonitu si vyměňovat s okolím kationty. Tyto vlastnosti by měly zachytit případně unikající RN z kontejneru z hlubinného úložiště. To že bentonit dokáže přijímat vodu do mezivrstev mu dává schopnost bobtnat a tím se stává nepropustným a málo hydraulicky vodivým, a dokáže, jak je již zmíněno vyplnit poruchy od vyvíjejícího se tepla z RN z kontejneru v těsnícím materiálu kolem kontejneru. Těsnicí bariéra však v hlubinném úložišti bude vystavena vlivům nejen od tlaků, teplot, vlhkosti, RN ale i vlivům mikrobiálním.

7.6.2. Ložiska

Pro těsnicí a zásypové bariéry hlubinných úložišť je nejlepší sodný bentonit označeným MX80 těžený v USA v Jižní Dakotě, Montaně, Wyomingu. Dovoz do ČR je ekonomicky nereálný, a tak je třeba se připravit na používání bentonitu s

vyměnitelným kationtem Ca_{2+} , který nemá tak dobré vlastnosti jako má MX80, ale který se nalézá na území ČR.

Naleziště v ČR je v okolí Karlových Varů, Kadaně, Podbořan. Ovšem přestože tyto suroviny patří státu, těžbu a prodej dnes provádí vesměs zahraniční obchodní společnosti, které materiál pouze za náklady těžby vyvážejí mimo území ČR a vyrábí z tohoto materiálu drahé výrobky. Mimo to se na území ČR nachází velká ložiska monmorillonitických jíílů, které obsahují kaolinit a illit, křemen, živec, kalcit, ale tyto materiály nejsou z důvodu kvality použitelné pro těsnicí bariéru. Jedná se o naleziště v okolí Kaznějova, Chlumčan, Chebu na jihu Čech. Tento materiál by se však mohl použít na zásyp těsnicí bariery a zásyp chodeb.

7.6.3. Zásyp

Zásyp by měl být chemicky inertní s ostatními již uváděnými bariérami, jak materiálem těsnícím, tak i s ÚOS. Měl by napomoci k udržení RN v co nejdelší době v ÚOS a v uměle vytvořené těsnicí bariéře okolo ÚOS. Taktéž by měl pomoci při zabránění přístupu vody a pohybu RN. Při zkouškách neprošly z důvodu nehomogenity navrhované materiály vytvořené ze směsi písku, drceného granitu a bentonitu. Nejvhodnějším materiálem pro zásyp by byl čistý bentonit. Z důvodu ekonomických se uvažuje v ČR o zásypu montmorillonitickým jílem, který není zcela srovnatelný s bentonitem. Zásypový materiál zvláště používaný pro obklopení těsnicí bariéry je nutno vybírat z důvodu bobtnáním těsnicí bariéry a to z důvodu pronikání do zásypového materiálu v chodbách hlubinného úložiště. Proto se v dnešní době předpokládá, že by se mohl provádět zásyp i pomocí kompaktních peletů a bloků, kterými by se vyplnily z 98 % prostory v chodbách hlubinného úložiště kolem těsnicího materiálu. Zároveň materiál těchto kompaktních celků by měl mít hydraulickou vodivost menší jak 10^{10} m/s a bobtnací tlak by měl být u tohoto materiálu větší než 0,2 MPa.

7.6.4. Výzkumy chování bentonitu a zásypových materiálů

V současné době se ověřují možnosti hlubinného ukládání radioaktivního odpadu a VJP po dobu statisíců let. K tomuto napomáhají výzkumy prováděné v podzemních laboratořích v Belgii (Mol-Hades), Finsku (Olkiluoto), Francii (Bure), Kanadě (Whiteshell - AECL, Underground Research Laboratory), Německu (Asse a Gorleben), Švédsku (ÄSPÖ -SKB Hard Rock Laboratory),

Švýcarsku (Grimsel a Mont Terri -Nagra), USA Yucca Mountain. Od roku 1995 probíhá dosud mezinárodní projekt DECOVALEX. V ČR se zatím ověřují poznatky v uranovém dole Rožná a v Centru experimentální geotechniky na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického (CEG, FSv, ČVUT) probíhá projekt Mock-Up-CZ.

Schéma 7.6.4.1. Svislý řez experimentem Mock-Up-CZ

<http://ceg.fsv.cvut.cz/ceg-old/CZ/ceg-mock-up-cz/popis/schema.htm>

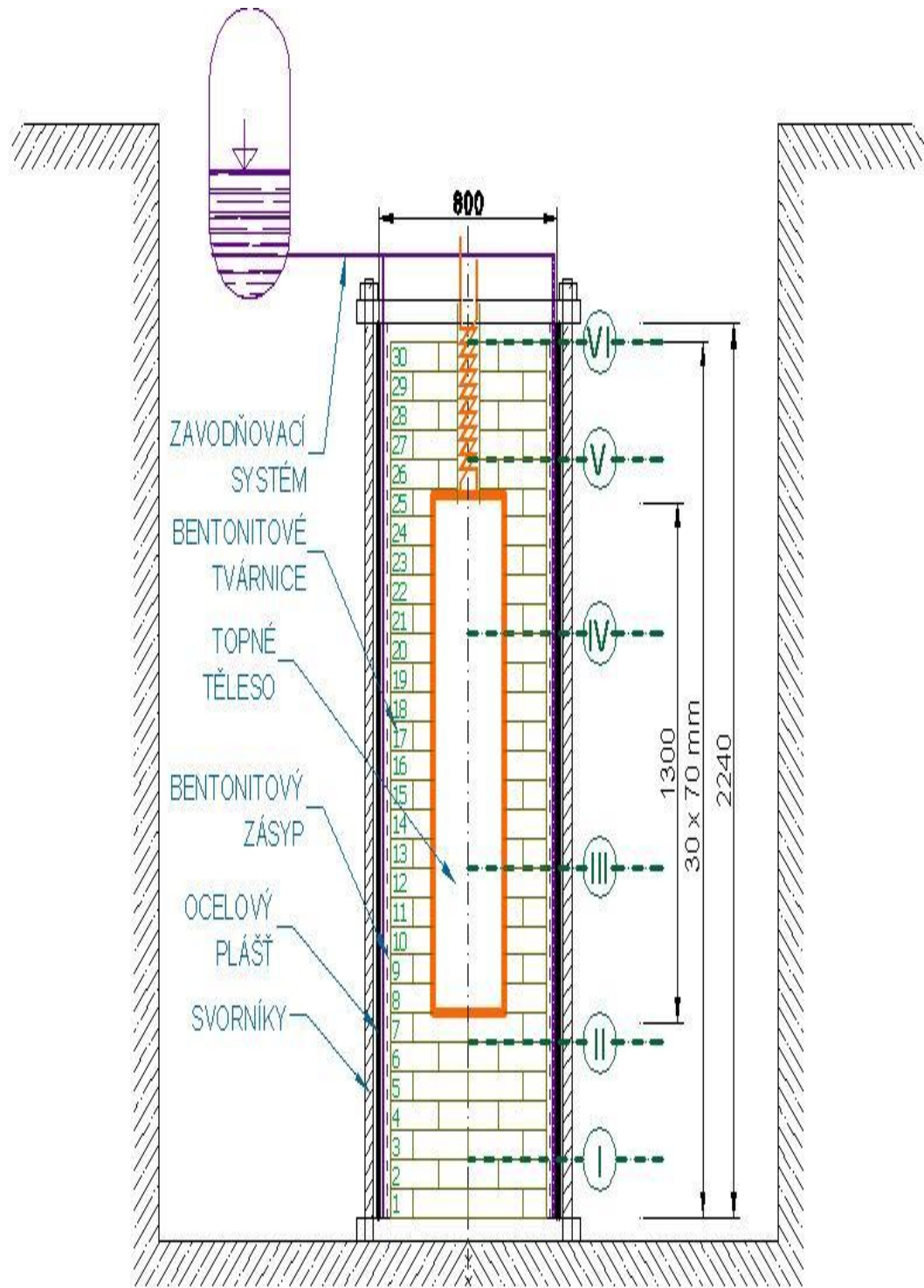
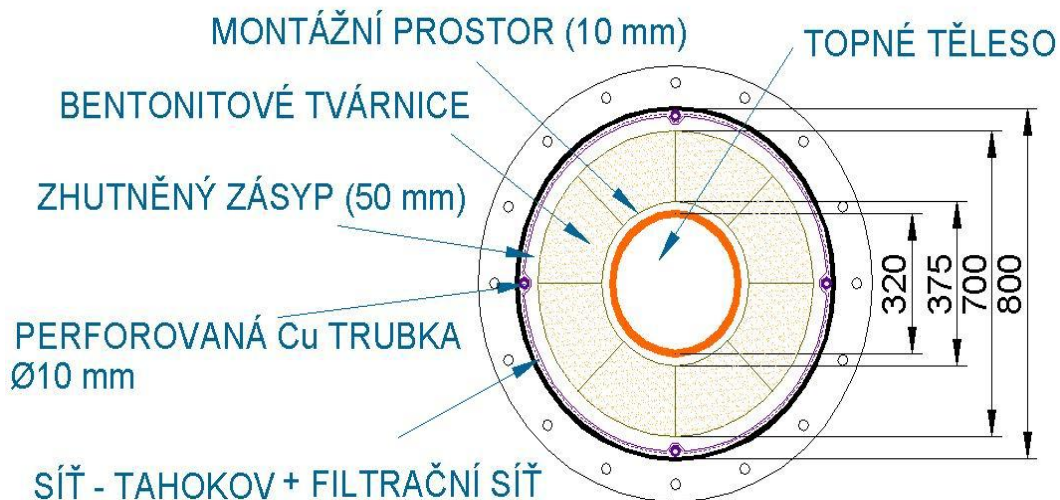


Schéma 7.6.4.2. Vodorovný řez experimentem Mock-Up-CZ

<http://ceg.fsv.cvut.cz/ceg-old/CZ/ceg-mock-up-cz/popis/schema.htm>



Obrázek 7.6.4.3. Topné těleso

<http://ceg.fsv.cvut.cz/ceg-old/CZ/ceg-mock-up-cz/popis/topidlo.htm>



Mock-Up-CZ simuluje vertikálně uložený ÚOS o tělese z 8 mm silné oceli o průměru 800 mm a výšce 2230 mm s umístěným uvnitř kontejneru topným olejovým tělesem a obložený 300 tvárnici vyrobených z 85 % bentonitu, 10 % křemenného písku a 5 % grafitu. Poslední dvě složky zde byly dány pro zlepšení tepelné vodivosti. Prostor mezi bentonitovými tvárnici a ocelovým pláštěm kontejneru byl zasypan materiálem v sypké formě o stejném složení z jakého byly vyrobeny tvárnice. U stěny ocelového pláště byl instalován rozvod vody. Dále se zde snímala čidly teplota, tlak, vlhkost, která má vliv na korozi. Toto zařízení bylo uloženo v prostoru 3 m x 3 m x 3 m. Po šestiměsíčním provozu byl systém zavodňován vodou a potom po třech letech provozu byl uzavřen přívod vody a bylo vypnuto otopné těleso. Následovalo rozebrání systému, odebrání a vyhodnocení vzorků. V žádném vyhodnoceném materiálu nedošlo ke změně počátečních minerálních fází. U zásypu však naopak došlo k mineralogickým změnám. Viditelných lidským zrakem byla vidět bílá jádra sádrovce, a šedé směsi illitu, sádrovce a tektitu. Toto zařízení simulovalo systém KBS-3V. Sádrovec se vyskytl i při provádění výzkumu pod označením FEBEX, kdy byl topný systém uložen horizontálně systém KBS-3H.

Schéma 7.6.4.4. Mock-Up-CZ FEBEX

<http://www.grimsel.com/images/stories/FEBEX/mockup.jpg>

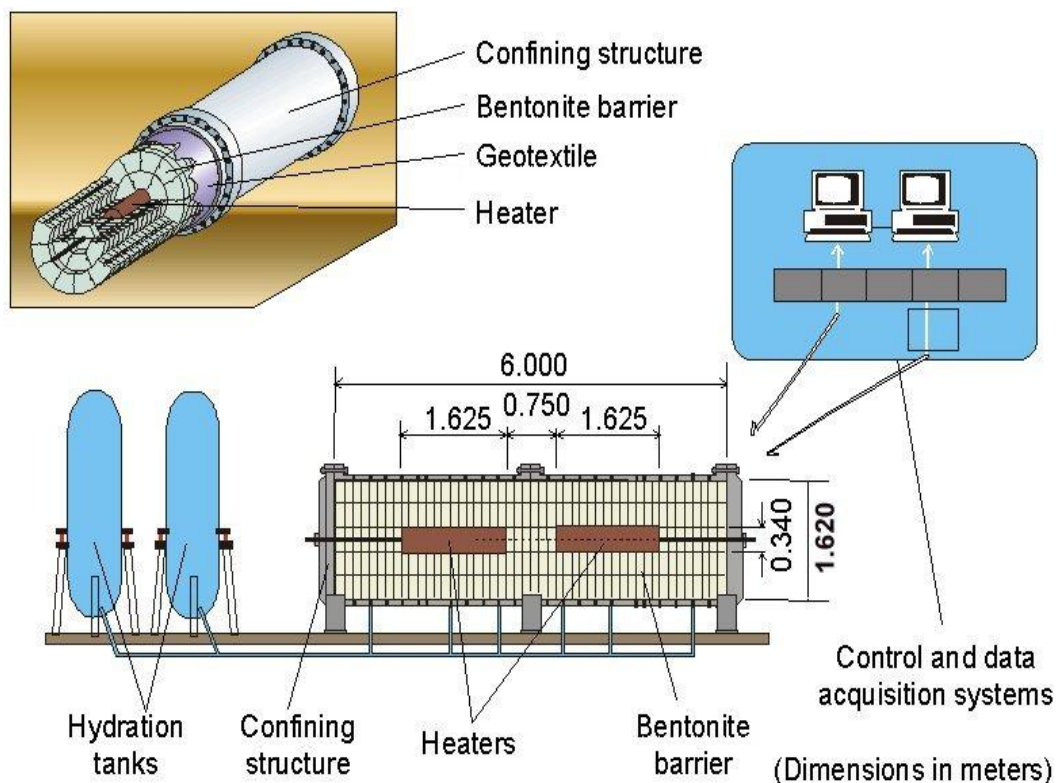
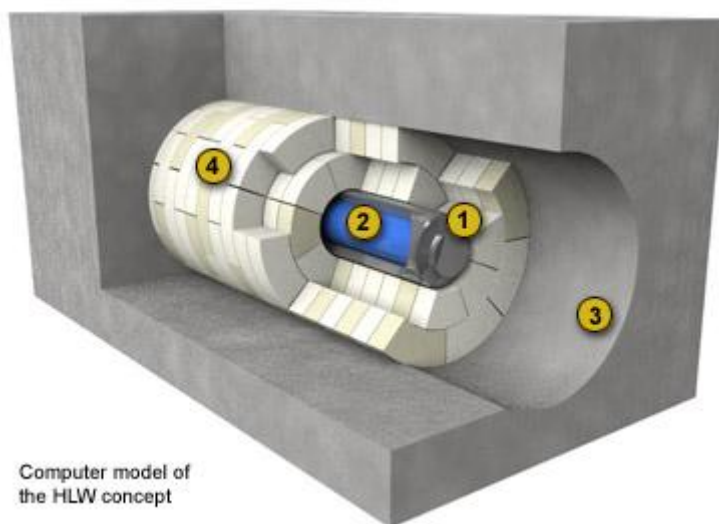


Schéma 7.6.4.5. Full-scale vysoce radioaktivního odpadu inženýrských bariér (FEBEX)

<http://www.grimself.com/gts-phase-v/febex/febex-i-introduction>



Typický vysoce radioaktivní odpad (HLW), nebo vyhořelého paliva (SF). Koncepce likvidace zahrnuje ocelové kontejnery (1) obsahující odpad (2) umístěné v horizontálních chodbách (3), odpad je obklopen bariérou vyrobenou z bloků (4) z vysoce zhutněného bentonitu.

Nové fáze se potvrdily i v letech 1997 až 2002 v belgickém mock-up experimentu označeném On-surface Preliminary Heating simulation Experimenting Later Instruments and Equipment (OPHELIE). Pro zajištění toho, aby neunikly v budoucnu RN musí být těsnící bariéra dlouhodobě minerálně stabilní. Z uvedeného je patrné že změna montmorillonitu na illitt tzv. illitizace, která vzniká nahrazením tektitových vrstev illitovými, nebo rozpouštěním tektitu a illittu má za následek zhoršení sorpčních vlastností a zhoršení bobtnání a tím zhoršení zábrany proti úniku RN. To vše je ovlivněno teplem, dobou, tlakem, nežádoucím přístupem draslíku, chemickými vlastnostmi jílového materiálu. Zabráněním přístupu draslíku by se mohla garantovat stálost bentonitu po statisíce let. Další problém je vznik chloritů z montmorillonitu podle výzkumu prováděných v zahraničí, což se v podmínkách provedeného výše uvedeného zkoumání v ČR nepotvrdilo.

Z důvodu, že se vybírají pro vybudování hlubinného úložiště lokality, v nichž nejsou suroviny, ani zásoby pitné vody předpokládá se, že i přes nedochování se

podkladů o hlubinném úložišti bude po zasypání, uzavření úložiště malé riziko porušení úložiště dalšími generacemi. Výběr hlubinného úložiště prostor ze zde uváděných důvodů má tedy zajistit vytvoření pasivní ochrany.

Vliv na hlubinné úložiště budou mít činnosti v rozmezí plnění až po uzavření hlubinného úložiště v řádu desítek let. Potom se předpokládá, že po 800 letech od uzavření úložiště dojde k porušení těsnosti ÚOS z důvodu koroze. V následném období bude docházet k difúzi RN přes těsnící a zásypové bariery do okolních hornin. Některé modelové nastíněné teorie předpokládají i zcela rozpadnutý ÚOS pro modelování difúze RN. Předpokládá se, že se bude hlubinné úložiště monitorovat 100 let. Za toto období by měla čtyřikrát klesnout teplota oproti teplotě při zavezení VJP a radioaktivním odpadem a měla desetinásobně klesnout radioaktivita. Z důvodu teplot na povrchu ÚOS dojde k poklesu vlhkosti těsnící bariéry z 10 % až na 1%. Tím dojde k popraskání těsnícího materiálu a k narušení těsnící bariéry. Naopak v prostoru styku těsnící bariéry a okolní horninou dojde ke zvýšení vlhkosti z 10% až na 20%. Tím dojde k rozrušení těsnícího materiálu. Materiál ÚOS při styku s vlhkostí (kyslíkem) začne korodovat. Teplota kontejneru klesne po 50 letech až na 20°C. Teoretické hypotézy předpokládají, že za 1000 let se dostane voda až k těsnící bariéře. To způsobí bobtnatost bentonitu a tím za 10 let dojde k vyplnění prasklin a mezer a kolem ÚOS vznikne jednolitá těsnící bariéra. Dojde k velkému tlaku od bobtnajícího těsnícího materiálu na kontejner a povrchové antikoroziční vrstvy se tlakem ještě více spojí s ocelovým pláštěm kontejneru, který by měl uvedenému tlaku odolat a ochránit obsah kontejneru před únikem RN. V dalším období do 10000 let po uzavření úložiště by nemělo docházet ke korozi kontejneru. V době po 100000 letech by teplota úložiště měla mít stejnou teplotu jako okolní materiál. Po 1000000 letech se předpokládá, že již úložiště nebude nebezpečné.

7.7. Přírodní bariéra

Přírodní bariéra musí být stabilní z hlediska geochemického, geologického a mechanického. Hornina musí mít co nejmenší narušení, to znamená být bez puklin, zlomů a musí být nepropustná. Měla by se v daném prostředí vyskytovat co nejméně podzemní vody. Nemělo by zde docházet ke styku podzemní vody s povrchovou vodou. Hornina by měla zabránit úniku RN, ale měla být z materiálu, který bude bezpečný z hlediska vybudování a provozování důlního díla. Vybírají se pro toto prostředí, která jsou stará stovky miliónů let s cílem, aby

zde nedocházelo ke změnám po další milióny let. Prostředí musí být takové, kde nedochází k erozi, zemětřesení, sopečné činnosti. Dále by prostředí nemělo obsahovat ložiska surovin z důvodu možné budoucí těžby těchto surovin.

7.8. Možnosti snižování objemů RAO a VJP

Nejlepší řešení pro snížení objemů RAO a VJP by bylo vyvinutí průmyslového zařízení na štěpení a transmutaci. To znamená přeměna RN obsažených v RAO a VJP na RN méně aktivní. Tím by se dosáhlo zmenšení objemů RAO a VJP. V praxi se předpokládá, že bude průmyslově možno tohoto být využíváno až za několik desítek let. Francie, Japonsko, Rusko, USA se touto problematikou velmi intenzivně zabývá.

Pro snižování objemů RAO jsou využívány již zmiňované metody cementace, bitumenace, vitrifikace používané desítky let. Dnes se zkouší využívat ukládat RAO i do syntetických polymerů, kopolymerů. V současné době se v rámci projektu Sustainable energy buduje laboratoř pro nakládání s kapalnými RAO, která by měla zlepšit technologii solidifikace RAO s cílem minimalizovat objemy odpadů. Ukládání bude zkoušeno do geopolymerních a polysiloxanových matic.

V ČR se bitumenace zkoušela již od roku 1960 v ÚJV Řež. Technologie se přizpůsobovala solidifikací RAO z přepracovaného VJP. Bitumenace se jeví lepší než cementace, u které dochází po uložení RAO cementací k následnému k zvětšování objemu. Bitumenace se používá převážně pro imobilizaci kapalných RAO, při teplotě 160 °C - 200 °C dochází k odpařování vody obsažené v RAO. Nevýhodou je nízká pevnost v tlaku a možnost samovolného vznícení a možnost upravovat RAO s gama aktivitou do 10^8 - 10^{10} Bq.kg⁻¹. Dále při zpracování se uvolňují karcinogenní prvky heterocyklické a polycyklické uhlovodíky.

Vitifikace, znamená solidifikace skleněnou maticí a využívá se pro zbytky RN z přepracovaného VJP využívaného ve Francii, Japonsku, Německu a Rusku. Na Slovensku v Jaslovských Bohunicích se této metody využívá i pro imobilizaci nízko a středně aktivních RAO. K vitrifikaci se především používá borosilikátové sklo, SiO₂, BrO₂. Tato vitrifikace využívající uvedený materiál má výhodu v malé vyluhovatelnosti, tato metoda je velmi energeticky náročná a tím drahá. Proces probíhá při teplotách 1200 °C až 1300 °C a vznikají při něm toxické a radioaktivní plyny.

Dnes se zkouší pro imobilizaci kapalných RAO fixace do geopolaymerů. Jedná se o materiály, jejichž výroba probíhá ve vodním prostředí kaolinických směsí

s alkalickými aktivátory. Polymery jsou vysoce pevné, hydraulicky odolné vůči agresivnímu prostředí a stabilní do 1400 °C. Dále mají dobrou záchytnou schopnost kationů těžkých kovů a radionuklidů. Solidifikace kalů touto metodou má velmi malou vyluhovatelnost a fixace je 60 %.

Dnes se zkouší pro solidifikaci anorganické matrice z polyetylenu, silikony (styrénové pryskyřice). Nevýhodou je radiační, tepelná a mikrobiologická degradace. Jsou do 500 °C nehořlavé. ÚJV Řež má patentovanou solidifikaci při pokojové teplotě polysiloxanovými matricemi, ale s maximálním 5 % nasycením vody.

Výzkum SUSEN je podpořen 95 miliony a je zaměřen také i na palivový cyklus. Na tomto se má podílet i ZCU Plzeň. Výzkum je zaměřen hlavně na zadní konec palivového jaderného cyklu, to je na přepracování VJP a úpravy kapalných RAO. Zařízení má pracovat se dvěma odpařovacími zařízeními. Má mít zásobník se zahuštěným koncentrátem, granulátem a s matričním louhem. Dále bude mít extruder a fixační zařízení. Dále jsou součástí zařízení zásobníky s polysiloxovanou směsí, aktivátorem polymerů, polymerami, ionexem, směsí bitumenu. Bude zde zásobník pro Molten salts oxidation technology a zásobník pro borosilikátové sklo pro technologii studeného kelímku. Mohou se tak na zařízení mající odpařovací zařízení, extruder a fixační zařízení porovnávat solidifikace s fixací polysiloxanovou maticí s granulátem a bitumenem. Bude možné porovnávat fixace a procesy při různých formách vložených koncentrátů. Výzkum je zaměřený na minimalizaci objemu RAO.

Vitrifikace metoda „Studený kelímek“ používaná pro vysoce aktivní RAO se liší podle různých druhů používaných skel. Rusko používá fosfátová skla, ostatní státy používají borosilikátová skla. I tyto metody by měly sloužit pro uzavření palivový cyklus s cílem snížení RAO při konečném uložení RAO.

Dle navržených koncepcí ČR zatím plánuje jen výstavbu hlubinného úložiště bez přepracování VJP, k tomuto se i ČR mezinárodně smluvně zavázala. Je to ovlivněno i cenou a současnou technickou náročností. ČR se rozhodla pro pasivní bezpečné hlubinné uložení, než menší hlubinné uložení a k tomu provozovat speciální reaktor a zařízení pro separaci izotopů, což znamená také možnost úniku RN do životního prostředí. Další nevýhodou by bylo ochránit štěpné materiály proti úniku nepovolaným osobám.

Zařízení nutné k přepracování musí mít zařízení na odstranění zirkonových obalů z palivových článků. VJP se musí rozpustit v kyselině dusičné a z roztoku

chemicky oddělit ^{238}U a štěpitelné izotopy ^{235}U a ^{239}Pu ze kterých se vytváří nové směsné palivo využívající uvedené štěpitelné izotopy Mixed Oxide Fuel. Další izotopy ^{60}Co se dá využít v lékařství či v ostatním průmyslu. Ostatní zbytek z přepracovaného VJP, pro které se zatím nenašlo využití a je vysoce radioaktivní se musí vitrifikovat a uložit. Nejvíce je používána metoda vitrifikace Plutonium and Uranium Extraction. Výhodou je více jak 90 % využití původního VJP. Práce musí být dálkově ovládané.

Uvedenou vitrifikaci, která minimalizuje vysoce aktivní odpady ukládáním při teplotách 1000 °C až 1200 °C do skelné matrice a je po vychladnutí uložená do úložišť RAO využívá Belgie, Japonsko, Francie, Německo, Velká Británie, USA. Vytavováním při teplotách 1500 °C se začínají některé RN odpařovat. Výhodou vitrifikace je, že po vitrifikování se stávají RN málo vyluhovatelnými a nehořlavými.

Rozlišujeme vitrifikaci jednostupňovou Joule heated ceramic melter se vstupem RAO v kapalném stavu a skleněný frit se přidává na hladinu taveniny, nebo po předchozím smíchání se přidává do pece. Toto zařízení bylo od roku 1985 do roku 1991 v Molu v Belgii a jednalo se o německé zařízení PAMELA. Problémy zde vznikaly s popraskáním skla, a proto se musely ocelové nerezavějící sudy, do nichž se vitrifikovaný materiál odléval ochlazovat. Tento způsob vitrifikace používá Indie, Japonsko, Jižní Korea, Německo, Rusko, USA.

Dvoustupňový systém Induction hot crucible má dva procesy. Proces zahuštění a proces kalcinace vodného roztoku RAO v rotačním kalcinátoru, který se zpracuje v tavící peci. Kalcinátor je vyhříváné zařízení na 600 °C otáčející se 30 otáčkami za minutu, v němž protéká vodný RAO, který je zahušťován až do práškovité formy. Potom kalcinát a skelný kompozitní materiál se přesune do pece, kde se při 1150 °C vytvoří skelná tekutina, která se vypustí do uzavíratelného kontejneru zavařeného plazmovým hořákem. Toto zařízení se využívá v Sellafieldu ve Velké Británii.

Výhodou vitrifikace je, že sklo odolává korozi ve vodě. Sklo je odolné vůči chemikáliím. Sklo je dále nehořlavé a nepodléhá biologické degradaci. Do skla lze vitrifikovat odpady pevné, kapalně o různém složení. Zařízení jsou známá a redukce RAO je zatím postačující. Nevýhodou je energetická náročnost, investice do zařízení a vznikající radioaktivní plyny při provozu.

Nevýhodou vitrifikačního zařízení je možné vojenské zneužití proti civilnímu obyvatelstvu. Bomba svržená na Nagasaki obsahovala RN ze zařízení Waste

Treatment and Immobilization Plant v USA, kde zařízení sloužilo k obohacování už během 2. světové války.

Čína má také zpracovatelský závod na přepracování VJP a snaží se o odkoupení technologií z Francie.

V Tarapuru je největší zpracovatelský závod na přepracování VJP v Indii, kde přepracovaný materiál se bude využívat v rychlých reaktorech. Mimo to v Indii pracují další menší zařízení na přepracování VJP. Indie připravuje k uvedení do provozu další závod na přepracování VJP.

Od roku 1995 u města Tokai v Japonsku pracuje jednostupňové zařízení, které dosud vyprodukovalo 100 tun vitrifikovaného materiálu. Další vylepšené zařízení na vitrifikaci na stejném principu má Japonsko u města Rokkasho.

Ve Francii v La Hague se používalo k přepracování VJP dvoustupňové vitrifikační zařízení. Ve spolupráci s AREVA Group bylo vybudováno vitrifikační zařízení typu Studený kelímek pro přepracování VJP s vysokým obsahem molybdenu, který způsobuje korozi a proto se ukládá do hlinito borosilikátového skla bohatého na vápník a zirkón a k tavení dochází při 1300 °C.

V Německu v Karlsruhe bylo v provozu jednostupňové vitrifikační zařízení, které přepracovalo 208 tun. Z 60 m³ se snížil objem na 20 m³. Dne 22. 6. 2010 byla vitrifikace v tomto závodě ukončena.

Na Slovensku mají vitrifikační linku VICHR, pracující na dvoustupňovém procesu přepracování Chrompiku používaném při chlazení uskladněného vyhořelého jaderného paliva v JE A-1.

Ve Velké Británii v Sellafieldu pracuje vitrifikační zařízení Windscale Vitrification Plant, které vyrobí ročně až 600 kontejnerů RAO.

Mezi dosud největší zařízení na vitrifikaci patří zařízení v USA v Defence Waste Processing Facility v Savannah River pracující při teplotách 2100 °C v tavicí nádobě pro 65 tun. Zde má být do roku 2019 vyprodukováno 6000 kontejnerů po 160 až 250 kg.

Vitrifikace Cold Crucible Melter je považována za novou generaci vitrifikačních zařízení, která by měla nahradit stávající zařízení. RAO je zde taven najednou se skleněnou matricí. Nevýhodou jsou vysoké finanční investiční a provozní náklady. Výhodou tohoto zařízení je zvýšená tavicí životnost nádoby pracující při vysokých teplotách. Další výhodou zařízení je vysoké objemovém snížení RAO.

Rusko bylo první, kdo SIA Radon u Moskvy v roce 1999 mělo zařízení Cold Crucible Melter. Dále pracuje v Rusku od roku 1987 zařízení Mayak, kde se vitrifikuje VJP. Dnes zde pracuje na principu vysokofrekvenčního zařízení (Studený kelímek) přepracovávající VJP.

Austrálie a Kanada přepracovává vysoce RAO na keramiku z refraktorních titanitů.

V budoucnu by se měly stát pro přepracování VJP základem transmutační technologie využívající při provozu nové jaderné reaktory IV. generace, které by lépe využívaly jaderného paliva k přeměně na elektrickou energii a umožňovaly by spálení všech transuranů a vznikaly by jen štěpné produkty a tím by se zmenšil RAO z VJP. Snaha je provozovat reaktory s velmi vysokou teplotou VHTR (Very-High-Temperature Reactors), nebo reaktory využívající vodu v superkritické fázi SCWR (SuperCritical Water Reactors). Oba uvedené typy reaktorů by měly být klasickými reaktory schopné vyrábět vodík a media pro výrobu energie. Dalšími předpokládanými reaktory používanými v budoucnu by měly být reaktory založené na roztavených solích MSR (Molten Salt Reactors). Ty by mohly pracovat jako klasické nebo i jako rychlé. Další předpokládané reaktory by měly být rychlé reaktory chlazené plynem GFR (Gas-Cooled Fast Reactors), rychlé reaktory chlazené sodíkem SFR (Sodium-Cooled Fast Reactors), rychlé reaktory chlazené olovem LFR (Lead-Cooled Fast Reactors).

Dnes se usilovně vědci zabývají transmutační technologií ADTT, známou jako urychlovačem řízenou transmutační technologií vycházející z podstaty známé od 50 let minulého staletí. Využívá se zde vlastností reaktorů a urychlovačů, aby se zajistila štěpná reakce. To by se mělo stát základem pro využití VJP a využití Thoria. Zařízení se skládá z protonů urychlovače částic, terčiku pro spalační tříštivou reakci, což je zdroj neutronů a podkritického reaktoru, urychlovače. V urychlovači částic se vytvoří svazek protonů o 1 GeV a proudu tisíce mA, který se zaměří na terčík z těžkého kovu umístěného v aktivní zóně jaderného reaktoru. Interakcí uvedeného se uvolní neutrony umožňující štěpnou řetězovou produkci v podkritickém reaktoru. Vhodným materiálem jsou materiály s vysokou hustotou a tepelnou vodivostí a s velkým počtem neutronů v jádře. Jedná se bismut, olovo, rtuť, tantal, thorium, zirkonium, ochuzený uran a wolfram. Využívá-li se ^{232}Th k uvedenému, mluvíme o thorio uranovém cyklu. Výhodou je využití VJP a tím i snížení RAO. Další výhodou je využití thoria, kterého je mnohonásobně v přírodě více jak uranu a je schopen štěpit všechny druhy štěpitelných materiálů. Dále je

zabezpečen bezpečný provoz podkritickým zabezpečením reaktoru a tím, že při přerušení dodávky energie urychlovači se reaktor hodně rychle zastaví. Nevýhodou je složitost zařízení. Dále je složité zabezpečení ochrany před případným odkloněním paprsku a ztráta bariér z důvodu rozpuštěného paliva, oproti palivu v uzavřeném kovovém obalu. Další nevýhodou je snížení účinnosti zařízení, protože urychlovač má velmi vysokou energetickou spotřebu.

Ve stádiu vývoje jsou dnes metody využívající k přepracování VJP chemickou cestou, za použití několikanásobné extrakce a nově se vyvíjejících činidel. Dnes známé jako partitioning – transmutation, nebo partitioning – conditioning. Tyto metody by měly více umožňovat separaci prvků s dlouhým poločasem rozpadu.

Z uvedeného bych doporučoval pro lepší manipulaci a možnost v budoucnu přepracovat VJP ukládat VJP do povrchových úložišť u jaderných elektráren (nulovou variantu) a v budoucnu by se mohlo VJP stát cenou surovinou.

Od poloviny minulého století se lidstvo zabývá myšlenkou řízení termojaderné fúze pro zajištění výroby energií. Jedná se o slučování nejlehčích prvků vodíku a hélia. Problémem zůstává zajistit po určitou dobu vysoké teplo až 150 miliónů °C a materiály, které by tuto teplotu snášely. Dále je nutné zajistit vysokou hustotu plazmatu po určitou dobu. Dále je k tomu zapotřebí výkonné lasery. Pokud by se podařilo využívat fúzi, pak by odpadly možné problémy s VJP.

7.9 Současný stav v práci na hlubinných úložištích v zahraničí

7.9.1. Finsko

Finsko v současné době je první zemí, kde se buduje hlubinné úložiště pro vysoko aktivní odpady, kde se má ukládat VJP. Finská vláda v roce 2000 schválila lokalitu vybranou v roce 1999. Tuto lokalitu schválil v roce 2001 i finský parlament. V roce 2004 byla zahájena výstavba podzemní laboratoře. Na výstavbu hlubinného úložiště bylo vydáno v roce 2012 stavební povolení a potom se začala realizovat výstavba. Ukončení výstavby by mělo být v roce 2020, kdy by mělo dostat hlubinné úložiště povolení k provozu a provoz by měl být zahájen o dva roky později.

7.9.2. Švédsko

Švédsko v současné době provozuje 3 jaderné elektrárny se 7 varnými reaktory typu BWR a 3 tlakovodními reaktory typu PWR. Ve Švédsku se zabývá ochranou obyvatel a životního prostředí SSM spadající pod Ministerstvo životního prostředí

a je obdobou SÚJB v ČR. Ve Švédsku je SKB společností, která má podobnou náplň jako v ČR SÚRAO a zajišťuje činnost spojenou s přepravou a ukládáním RAO.

Ve Švédsku byly vybírány lokality pro hlubinné úložiště 8 let, než byly v roce 1985 vybrány. Dále pak trvalo 26 let než byla vybrána v roce 2011 konečná lokalita Forsmark (Östhammar). Zatím se ve Švédsku pracuje v podzemní laboratoři a získávají se zde poznatky pro ukládání vysoce aktivních odpadů. Stavět by se mělo začít hlubinné úložiště ve Švédsku v roce 2019. Stavba by měla trvat deset let a plánuje se s ukončením provozu hlubinného úložiště v roce 2085.

7.9.3. Francie

Francie vyrábí 75 % elektrické energie v 58 tlakovodních 900 MW, 1300 MW a 1450 MW jaderných reaktorech provozovaných jednou společností EDF Francie v roce 2006 schválila zákon o udržitelném nakládání s radioaktivními materiály a odpady. Obdobně jako v ČR SÚJB se ve Francii radiační ochranou zabývá French Nuclear Safety Authority (ASN). Přepravou a ukládáním radioaktivních odpadů se zabývá ve Francii instituce spadající pod Ministerstvo průzkumu a Ministerstvo životního prostředí, energetiky a udržitelného rozvoje ANDRA, což je něco jako je v ČR SÚRAO.

Ve Francii bylo schváleno hlubinné úložiště na radioaktivní odpady v roce 2006. Hlubinné úložiště Cigéo se má budovat blízko Paříže v Bure. Ke schválení projektu hlubinného úložiště má dojít v roce 2017. Francie by měla začít stavět hlubinné úložiště v roce 2020 a začít toto úložiště provozovat od roku 2025.

7.9.4 Švýcarsko

Švýcarsko má v provozu 2 varné a 3 tlakovodní reaktory ve čtyřech jaderných elektrárnách. Ochranou obyvatel se zabývá ENSI obdoba v ČR SÚJB. Nakládání s RAO, to znamená výzkum, výstavbu, provoz a uzavření hlubinného úložiště má na starosti NAGRA vytvořená provozovateli jaderných zařízení.

Švýcaři rozhodli o možnosti výstavby hlubinného úložiště na svém území v roce 2006. Následně byly vytipovány tři lokality, na kterých probíhají projektové práce. Provozovat Švýcaři chtějí toto hlubinné, úložiště již v roce 2040.

7.9.5 Ukrajina

Dnes je v provozu na Ukrajině 15 reaktorů vyrábějící 50 % elektrické energie. V prostoru černobylské jaderné elektrárny byl určen pozemek o ploše 45 hektarů pro výstavbu Centrálního skladu VJP. V něm by mělo být uskladněno 16529 souborů VJP z reaktorů VVER 440 a VVER 1000. Do roku 2017 by měl být hotový projekt centrálního skladu VJP. Samotnou stavbu by měla řídit společnost Holtec International z USA. Má to být úložiště pro VJP z Chmelnické, Jižní Ukrajinské a Rivněnské elektrárny. Záporožská jaderná elektrárna má svůj sklad. Ukrajina ročně platí za přepracování VJP Rusku až 200 miliónů dolarů.

7.9.6. USA

V USA v Nevadě v oblasti Yucca Mountain se v roce 2010 po proinvestování 12 miliard dolarů se zastavila výstavba hlubinného úložiště na vysoce radioaktivní odpad. V současné době se vytipovává nové území pro hlubinné úložiště vysoce radioaktivních odpadů. Zatím USA skladují vysoce aktivní odpad z provozovaných jaderných elektráren a z jaderných zbraní v Novém Mexiku v solném prostředí.

7.9.7. Velká Británie, Německo, Belgie, Maďarsko

V těchto zemích zatím probíhají práce na vybrání území pro umístění hlubinného úložiště pro vysoce aktivní odpady.

8. SOUČASNÝ STAV V PŘÍPRAVÁCH NA BUDOVÁNÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ A VJP V ČR

Hlubinné úložiště v rámci budoucího nakládání s VJP se v ČR plánuje od roku 1975. Následně se provedl 700 metrů hluboký vrt na Temelíně. V roce 1988 bylo Geologickým ústavem vybráno 27 lokalit pro hlubinné uložení VJP. **V červnu 1989 v hlavních úkolech ústavu jaderného výzkumu ve výhledu do roku 2000 se konstatuje, že v ČSSR prozatím chybí koncepce zneškodňování nebezpečných odpadů, i když produkce těchto odpadů je podle dostupných pramenů hrozivá.** Teprve v roce 1989, kdy došlo ke zrušení smlouvy o bezplatném odvozu vyhořelého paliva do SSSR se začaly přijímat opatření a začalo se intenzivně uvažovat o hlubinném ukládání VJP v ČSFR. Úkol navázal na ÚSP RVT A 01-159-104 "Zneškodňování radioaktivních odpadů z provozu jaderně-energetických zařízení s lehkovodními reaktory. Na to navázal projekt řešený v letech 1981 – 1985 ÚSP RVT A 01-159-812 "Minimalizace tvorby, zpracování a trvalé uložení RAO", termínovaný na léta 1986 - 1989. V letech 1991 až 1992 se začíná řešit problém v „Optimalizace systému zneškodňování RAO“. Po vzniku samostatné ČR v roce 1993 začínají Ministerstvo hospodářství ČR, Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, Ministerstvo životního prostředí ČR, České energetické závody a. s., (které vznikly z ČEZ s. p. 6. 5. 1992), Státní ústav pro jadernou bezpečnost, Ústav jaderného výzkumu programově se zabývat hlubinným ukládáním v souvislosti s VJP v ČR. Uvedenou oblast řídil Ústav jaderného výzkumu, který byl zřízen jako Ústav jaderné fyziky již v roce 1956 a byl začleněn nejdříve do ČSAV. Od roku 1972 patřil pod Československou komisi pro atomovou energii. Počátky ČSKAE sahají do roku 1959, kdy bylo usnesením vlády č. 339/1959 zřízena Komise pro atomovou energii při Státním výboru pro rozvoj techniky. Výbor byl v roce 1962 zrušen a vznikla Státní komise pro rozvoj a koordinaci vědy a techniky. Z komise pro atomovou energii vznikla Československá komise pro atomovou energii (ČSKAE) se statutem stálého výboru Státní komise pro rozvoj a koordinaci vědy a techniky (SKVT) pro oblast mírového využívání jaderné energie. Státní úřad pro jadernou bezpečnost vznikl 1. 1. 1993 jako nástupce Československé komise pro atomovou energii – ČSKAE.

V současné době se předpokládá za nejvíce vhodné umístit na více jak statisíce let než se VJP přirozenou cestou rozpadne, do skladů vybudovaných ve stabilním prostředí minimálně 500 metrů pod zemí.

Budoucnost jaderných zařízení na území ČR je závislá nejen na výstavbě nových jaderných bloků, ale i na schopnostech uskladňování VJP. Pokaždé v blízké budoucnosti se nezajistí jiný zdroj energie, je třeba stále počítat s výrobou energie v jaderných elektrárnách. V cizině je za bezpečnou likvidaci RAO většinou odpovědný ten, kdo využívá RN.

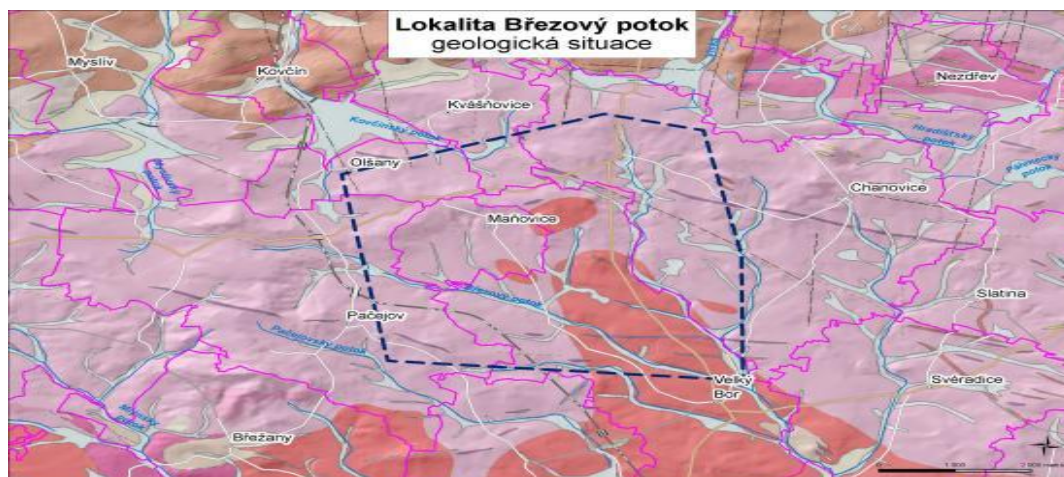
V roce 1991 bylo výtípováno 32 lokalit pro umístění hlubinného úložiště v ČR. V následujících letech se zúžil počet na 13 lokalit. V roce 2004 se zúžil počet na 11 možných lokalit. Byly to lokality: Lubenec - Blatno, Pačejov nádraží, Božejovice - Vlksice, Pluhův Ždár - Lodlěrov, Rozhodná - Růžená, Budišov, Borohrádek, Teplá, Zbytiny, Opatovice, Silvánka, Lodín - Mový Bydžov. Podle dalšího posouzení družicových snímků a pozemní geochemie byl počet lokalit zúžen na šest. Jedná se o Čertovku u Lubenec a Blatna v Ústeckém kraji, Březový potok u Pačejova, Chanovic v Plzeňském kraji, Magdaléna u Jistebnic, Vlksic v Jihočeském kraji, Čihadlo u Pluhova Žďáru, Lodhérova v Jihočeské kraji, Hrádku u Nového Rychnova, Rohozné v kraji Vysočina a Horka u Budišova, Oslavička v kraji Vysočina. Dále byly posouzeny nové lokality ve vojenských újezdech a tak došlo k vybrání vhodné lokality ve VÚ Boletice. Dnes se zvažuje i možnost umístit hlubinné úložiště v lokalitě v blízkosti uranového dolu v Dolní Rožánce - Kraví Hora.

Průzkum území pro hlubinné ukládání radioaktivního odpadu povolilo v roce 2015 Ministerstvo životního prostředí ČR na 5 lokalitách. Jedná se o lokalitu Březový potok, Čertovku, Čihadlo, Kraví Horu a Magdalénu.

8.1. Geologická situace lokality Březový potok

Obrázek 8.1. Geologická situace lokality Březový potok

<http://www.surao.cz/cze/Media/Images/KravihoraPUgeologie>

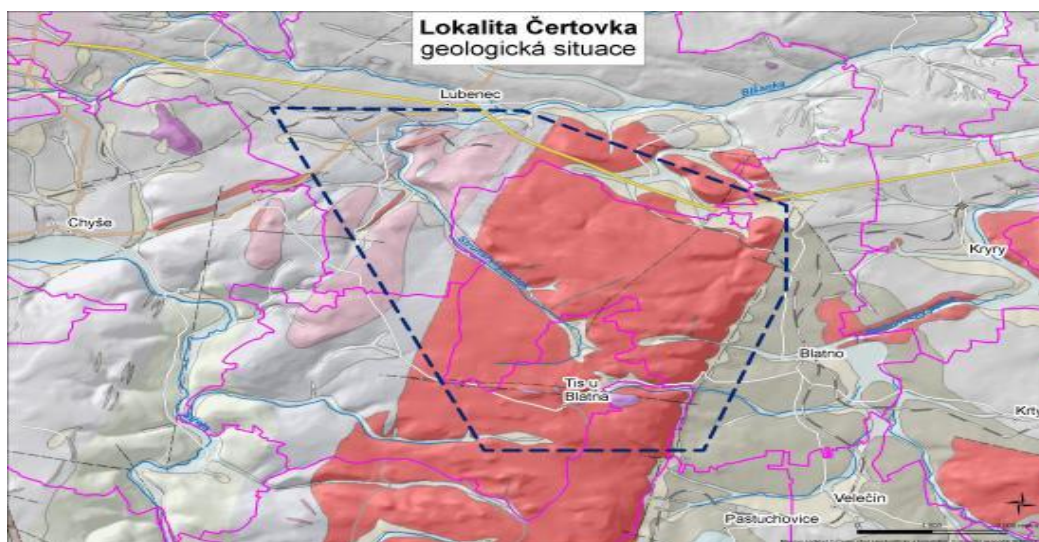


Chanovice, Kvášňovice, Maňovice, Olšany a Pačejov, leží v lokalitě (*Březový potok – Pačejov Nádraží*) a nachází se ve středočeské žulové oblasti v hornině blatenského granodioritu starém stovky miliónů let.

8.2. Geologická situace lokality Čertovka

Obrázek 8.2. Geologická situace lokality Čertovka

<http://www.surao.cz/cze/Media/Images/KravisihoraPUgeologie>

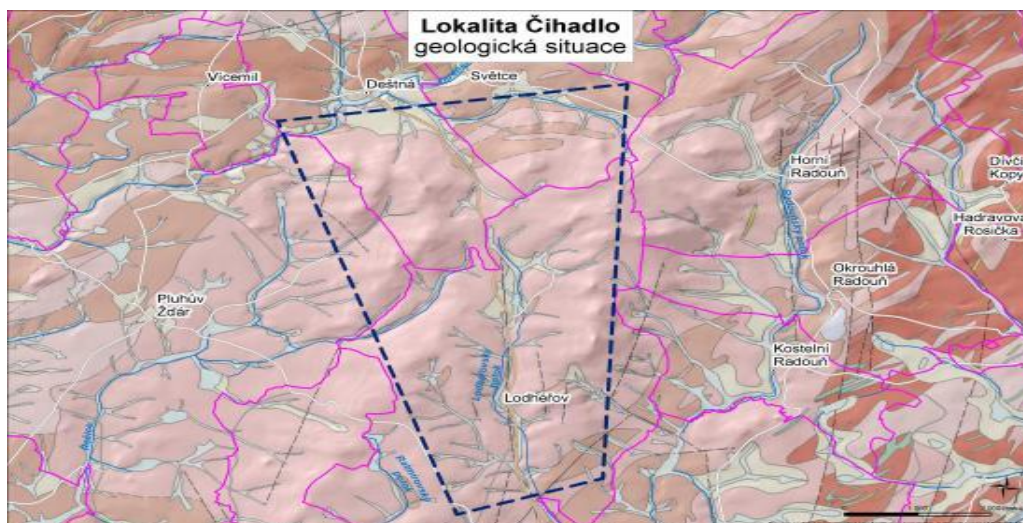


Blatná, Lubence, Tis u Blatna a Žihle leží v lokalitě nazývané (*Čertovka – Blatno*) na žulovém masivu starém stovky miliónů let.

8.3. Geologická situace lokality Čihadlo

Obrázek 8.3. Geologická situace lokality Čihadlo

<http://www.surao.cz/cze/Media/Images/KravisihoraPUgeologie>

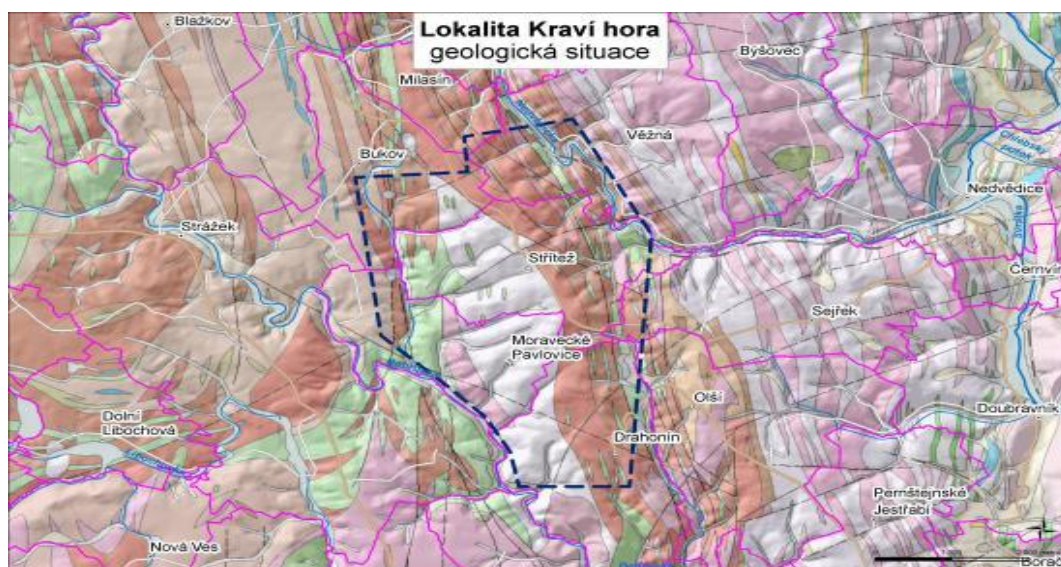


V klenovském žulovém masivu v lokalitě (*Čihadlo – Lodlěrov*) leží na žule Dešná, Lodlěrov, Pluhův Žďár a Světce. Tyto žuly jsou stovky miliónů let staré.

8.4. Geologická situace lokality Kraví hora

Obrázek 8.4. Geologická situace lokality Kraví hora

<http://www.surao.cz/cze/Media/Images/KravihoraPUgeologie>

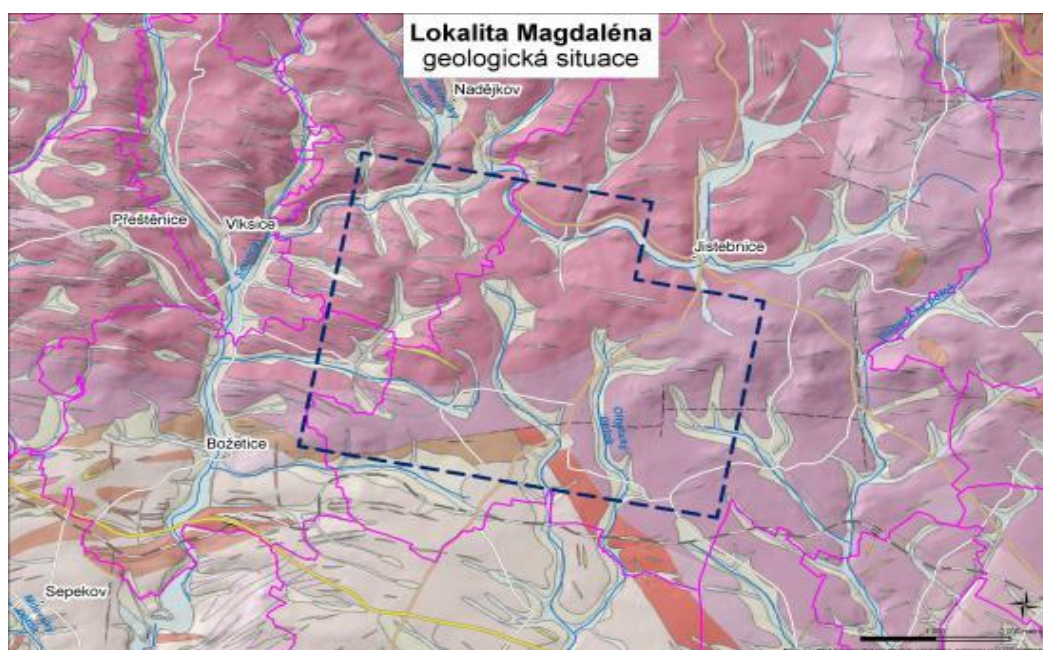


Bukov, Drahonín, Milasín, Moravské Pavlovice, Olší, Sejřek, Strítěž a Věžná leží v prostoru nazývaném (*Kraví Hora* - uranový důl Dolní Rožinka) na hornině granulitu majícím podobné složení, jako má žula a obsahující uranová ruda.

8.5. Geologická situace lokality Magdaléna

Obrázek 8.5. Geologická situace lokality Magdaléna

<http://www.surao.cz/cze/Media/Images/MagdalenaPUgeologie>

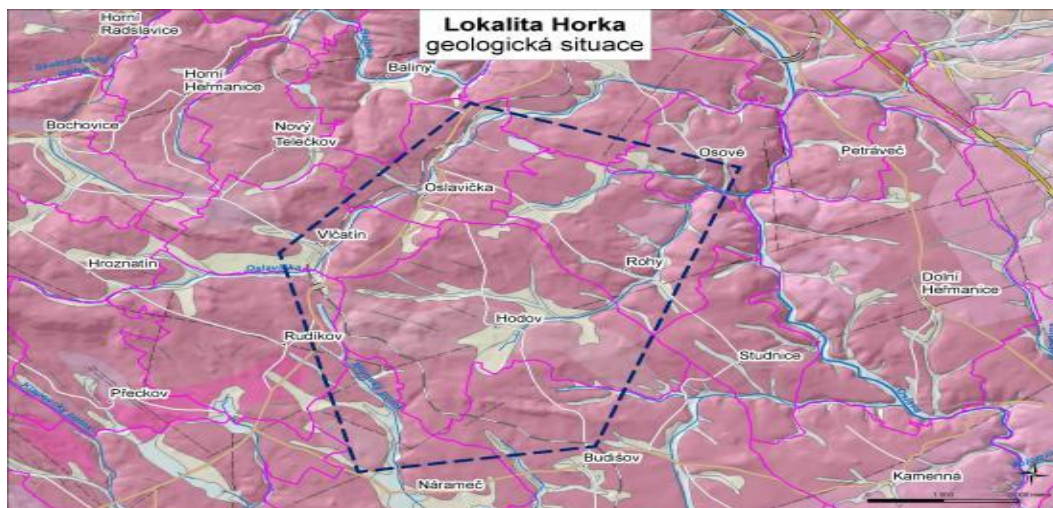


Na žulové hornině durbachit leží obce Božetice, Jistebnice a Nadějkov v lokalitě (*Magdaléna* – Božejovice).

8.6. Geologická situace lokality Horka

Obrázek 8.6. Geologická situace lokality Horka

<http://www.surao.cz/cze/Media/Images/HorkaPUgeologie>



Průzkum území pro hlubinné ukládání radioaktivního odpadu zatím nepovolilo Ministerstvo životního prostředí ČR na lokalitě Horka.

Na třebíčském žulovém masívu bohatém na granitoidní horninu v lokalitě (*Horka* – Budišov) leží obec Budišov, Hodov, Nárameč, Oslavice, Oslavička, Osová, Rohy, Rudíkov, Včatín.

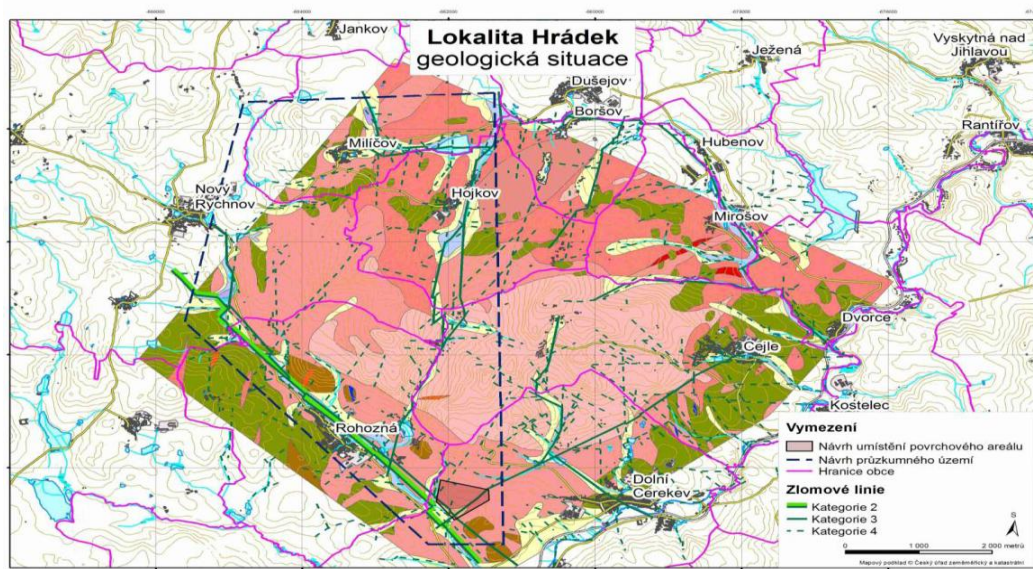
8.7. Geologická situace lokality Hrádek

Obrázek 8.7. Geologická situace lokality Hrádek

[ÚJV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA, stavba akce SÚRAO](#)

[Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště](#)

[radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012- str. 112](#)



Průzkum území pro hlubinné ukládání radioaktivního odpadu zatím nepovolilo Ministerstvo životního prostředí ČR na lokalitě Hrádek.

Na centrální žulové oblasti Českého masívu zvaném moldanubický pluton leží Cejle, Dolní Cerekev, Hojkov, Milíčov, Nový Rychnov a Rohozná. Žulové horniny jsou stovky miliónů let staré. Jedná se o lokalitu (*Hrádek – Rohozná*).

Dnes se zvažuje posoudit i lokalita vojenského újezd Boletice.

9. OPTIMÁLNÍ TECHNOLOGIE TRVALÉHO SKLADOVÁNÍ VJP

9.1 Úvod

Ročně vzniká na území ČR 36 miliónů tun odpadů, z toho je 3,3 miliónů tun komunálního odpadu. Dále v ČR vznikne ročně 1300 tun nízko a středně radioaktivních odpadů z JE a 200 tun těchto odpadů vznikne mimo JE převážně ze zdravotnického prostředí. Dále vzniká ročně 95 tun VJP.

RAO přechodné, nízko a středně aktivní krátkodobé odpady z nemocnic ^{137}Cs a chladicí vodu z jaderných reaktorů s poločasem přeměny do 30 let, lze ukládat do povrchových úložišť. Dále RAO středně aktivní dlouhodobé například zářiče z výzkumu a nemocnic, které by se měly ukládat do hlubinných úložišť RAO. RAO vysoce aktivní dlouhodobé a VJP, které se zatím sice neřadí legislativně mezi RAO, by se měly ukládat do hlubinných úložišť.

RAO někdy rozděluje podle doby, po kterou je nutné RAO izolovat podle poločasu rozpadu na přechodné uvolnitelné do životního prostředí ihned nebo po krátké době skladování do 5 let, krátkodobé s nutností izolace až 500 let u prvků s poločasem rozpadu 30 - 50 let a dlouhodobé až s nutnou izolací statisíců let.

Problémem je, že i radioaktivita s nízkou koncentrací, která je nesnadno detekovatelná způsobuje radiotoxicitu.

V předešlých kapitolách jsem uvedl možné fixace nízko a středně aktivních RAO cementací, bitumenací a vitrifikací. Pro vysokoaktivní RAO se mimo cementace, vitrifikace používá fixace tohoto RAO do speciálních keramických materiálů SINROC (syntetické horniny).

VJP se zatím nepokládá za RAO, protože obsahuje štěpitelný materiál a dá se přepracovat na směsné palivo, ale skladovat se musí stejným způsobem jako vysoce aktivní RAO, protože se z něho mimo již uvedené uvolňuje teplo při rozpadech RN (radionuklidů).

VJP se navrhuje trvale ukládat do speciálních ÚOS (úložný obalový soubor). Tyto UOS vyvíjí ŠKODA JS a.s, podle požadavku SÚRAO. ÚOS by se pak měly ukládat do hlubinných úložišť RAO.

Hlavní bariéru, hermetičnost před únikem uloženého VJP do okolního prostředí, by měl zajistit ÚOS po dobu až 100000 let. Dále musí ÚOS zajistit podkritičnost uloženého VJP. **Je nutné zařadit do výzkumu požadavek na možnost manipulovatelnosti a přeložitelnosti ÚOS i minimálně po 1000 letech.**

Těsnicí materiál okolo ÚOS by měl mít životnost až 20000 let. Měl by být stálý v prostředí ÚOS. V ČR se počítá s materiálem na těsnicí systém nacházejícím se na území ČR v kaolínovém prostředí. **Tato kaolínová ložiska okolo Karlových Varů jsou však intenzivně dolovány zahraničními obchodními společnostmi a proto nepředpokládám možnost v budoucnu tyto materiály použít pro těsnicí materiály spojené s ukládáním VJP v hlubinných úložištích.** Jedná se obzvláště o kaolínové doly v prostorách kolem Karlových Varů. Dále z důvodu možného využití v budoucnu VJP, jako energeticky možný zdroj, musíme již dnes orientovat výzkum a hledat nová řešení pro ukládání VJP pod povrchem nebo v povrchových stávajících vylepšených úložištích.

Hlubinné úložiště musí být po 100000 let ve stabilním horninovém systému.

Hlubinné úložiště musí plnit funkci nejen izolační, ale i mít schopnost odolávat otřesům. Horniny se musí skládat z materiálů, které splňují výše uvedené. Lokalita hlubinného úložiště musí splňovat požadavky **vyhlášky č. 215/1997 Sb. SÚJB**. Na lokalitě se nesmí vyskytovat nebo v budoucnu očekávat možný vznik krasu ohrožujícího stabilitu horninového masivu jak v nadloží, tak i v podloží. Na lokalitách pro hlubinné úložiště se nesmí vyskytovat postvulkanické činnosti ani termální voda, mineralizovaná voda, agresivní vody, a ani zde nesmí docházet k výronům plynů. Dále prostředí hlubinného úložiště nesmí obsahovat možné nerosty, které by se daly v budoucnu využívat. Pozemky nesmí být ohroženy zemětřesením mezi 7 a 8 stupněm Medveděvovy-Sponheuerovy-Kárníkovy stupnice - **MSK-64**, podle vyhlášky 215/1997 Sb. SÚJB. **Dnes se již používá v EU stupnice EMS-98**, vytvořená **Evropskou seismologickou komisí**. ČR nadále používá v právních předpisech stupnici MSK-64. Seismická a tektonická stabilita musí být zajištěna i v okolí hlubinného úložiště po dobu 100000 let. Přírodní bariéra musí mít omezený přístup vody k RAO (VJP), aby se snížila možnost migrace radionuklidů. Prostředí lokality pro hlubinné úložiště musí mít hydrogeologické, chemické, mechanické požadované vlastnosti a musí zajistit izolaci RAO (VJP). Prostředí musí zajistit horninový masiv i pro dalších 100000 let. Horniny musí být v daném území homogenní, bez porušení. Musí umožnit budování tunelových staveb v 1. stupni razitelnosti. Musí mít příznivé teplotní podmínky a splňovat nízké migrační parametry horniny. Prostředí musí být neagresivní ke všem inženýrským bariérám s co možná nejmenší rychlostí proudění vody.

Ideální technologie skladu VJP musí umožnit trvalé uložení VJP, nebo separovaných částí vysoce aktivních RAO z VJP. To znamená, že je nutné zajistit uložení RAO a VJP od biosféry a zabránit tím ozáření obyvatel. Z uvedeného a z právních předpisů vyplývá, že toto se musí zabezpečit uložením vysoce aktivních RAO z VJP a VJP do hlubinných úložišť. V přípravě výběru definitivního určení lokality hlubinného úložiště je bráněno zatím nedostatečným množstvím ověřených informací podrobným geologickým průzkumem. K optimalizaci výběru lokality pro umístění hlubinného skladu, pro vysoce aktivní RAO z VJP a VJP lze využít informace získané a posouzené ve vzájemných souvislostech z této práce, tak aby splňovalo uložení vysoce aktivních RAO z VJP a VJP právní předpisy ČR, EU. Stávající navrhovanou koncepci pro ukládání RAO v hlubinném úložišti navrženou SÚRAO nelze považovat jako pevně danou a neměnnou a referenční projekt hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě ze 4/2012 se kterým SÚRAO k dnešnímu dni počítá, doporučuji i nadále průběžně aktualizovat. Je nutno zadat výzkumné práce vědcům z výzkumných ústavů, technikům v obchodních společnostech a vědeckopedagogickým pracovníkům na vysokých školách s cílem navrhnout vertikálního ukládání ÚOS v hlubinných úložištích RAO. S tím souvisí i návrh ÚOS a návrh manipulace ÚOS. Dále je nutné domluvit možnost pozměnit zaměření výzkumů a zadání návrhů ÚOS s cílem možnosti i po uložení ÚOS v budoucnu s ÚOS manipulovat a zajistit tak ÚOS vyjmout a vyvézt z hlubinného úložiště.

Dále doporučuji upravit legislativu, jak je v této práci uvedeno v několika příkladech a i zde v této kapitole podle vyhlášky 215/1997 Sb. SÚJB se pracuje se stupnicemi MSK-64, zatímco v EU, se používá již stupnice EMS-98. Taktéž stojí za uvážení změna legislativy, tak aby sklady s RAO a VJP se kterým se musí již po uložení do OS po vyjmutí z jaderného reaktoru a uložení do OS zacházet jako s RAO spravoval ten, kdo spravuje sklady s RAO.

Tabulka 9.1. Periodická tabulka prvků nebo těž periodická soustava prvků

<http://www.jarjurek.cz/archiv/index10.htm>

elektronová konfigurace
pořadí slupek: K L M N O P Q

protonové číslo

hmotnostní číslo

značka (symbol)

elektronegativita

český název

latinský název

f LANTHANOIDY

aktinoidy

9.2. Ukládání vysoce aktivních RAO, RAO z VJP a VJP do země

Pro trvalé uložení RAO, RAO z VJP a VJP je nutné využít přírodní a inženýrské (umělé) bariéry. Práce na projektu ukládání do země byla zahájena v roce 1990.

V roce 2004 to bylo vybráno 11 lokalit. Potom bylo vybráno z nich 6 lokalit (Březový potok, Čertovka, Čihadlo, Magdaléna, Horka, Hrádek), ke kterým přibýly 3 nové lokality (2 vojenské újezdy a Kraví Hora).

Z 32 navržených lokalit v roce 1991 je povolen geologický povrchový průzkum na 4 lokalitách (Březový potok, Čertovka, Čihadlo, Magdaléna) na 1 nové lokalitě Kraví Hora. O povolení provádět povrchový geologický průzkum na dalších 2 lokalitách navržených v roce 1991 v lokalitách Horka a Hrádek se vede v dnešní době řízení. V dnešní době se dále pro jistotu a z důvodu nesouhlasu obyvatel zvažuje jako možná lokalita pro hlubinné ukládání RAO Vojenský újezd Boletice.

Pro zajištění izolace RAO a VJP jsou od té doby projekty zpracovávány do hlubinných geologických formací do hloubek několik stovek metrů. V ČR se předpokládá ukládání do žulového (granitového) masivu. Uložení uvedeného materiálu se předpokládá na 100000 let. Snahou je znemožnit přístup dalším generacím. Předpoklad, že se bude jednat o časově, finančně a vývojově náročné práce spojené s vybudováním hlubinného úložiště pro RAO, RAO z VJP a VJP se naplňují. Životnost inženýrských bariér se předpokládá minimálně 300 let, s tím že se předpokládá znehybnění RN v izolační hmotě a v přírodních bariérách po miliony let. Zatím se v ČR v koncepcích ukládání VJP v hlubinných úložištích nepracovalo s možností ukládání přepracovaného VJP, ale jen z VJP, které se z OS přemístí do UOS.

Pod pojmem hlubinné úložiště jaderného odpadu se myslí především úložiště pro ukládání VJP, nebo zbytků z přepracovaného VJP. Měl by to být v zemi vybudovaný upravený podzemní prostor v hlubokých geologických masívech. Zde by se mělo zabránit pohybu RN do doby než přestanou být nebezpečnými.

V hlubinném úložišti by se měl uskladnit nejen již zmíněný vysoce aktivní RAO v případě přepracování VJP, VJP, ale i středně aktivní odpad s dlouhou dobou rozpadu. Bariérou by měla být geologická seismicky stabilní formace.

Ve VJP zůstávají štěpné produkty a probíhá v něm přirozený radioaktivní rozpad. Proto se musí počítat s vývinem a také s odvodem tepla produkovaným VJP, případně produkty z přepracovaného VJP. V nepřepracovaném VJP mimo 95 % ^{238}U , zůstává dosud 1 % ^{235}U a 3 % štěpných produktů. V přepracované VJP se podílí na radioaktivitě nejvíce ^{137}Cs a ^{90}Sr , který se vitrifikuje nejčastěji do skla.

Cílem hlubinného úložiště je zajistit multibariérový systém pro dlouhodobě bezpečné uložení RAO, RAO z VJP a VJP. Přesto je nejlepší přepracovat VJP a zbylé nepoužitelné produkty z přepracování následně zafixovat a přeložit do vhodného ÚOS.

Pro již zmíněnou změnu legislativy a označení VJP po přeložení do OS navrhuji, aby se VJP považovalo za odpad, pokud není hned smluvně podloženo jeho přepracování. V dnešních podmínkách ČR může zajistit jen stát budoucí trvalé uložení RAO. Obchodní společnosti řídící se dnes ekonomickými ukazateli nejsou ochotni věnovat větší část zisku na přepracování VJP. U státem řízených výzkumných ústavů, se nakonec zajistilo přepracování radioaktivních materiálů z výzkumných jaderných reaktorů. Převedením VJP na stát a na SÚRAO by byla

větší záruka na zajištění prací směřujících k případné možnosti přepracování VJP. Jestliže se bude čekat podle současné legislativy na to, až obchodní společnost prohlásí VJP za odpad, potom se už zase tak jednoduše z legislativního hlediska nebude moci prohlásit za strategickou surovinu, či ho prohlásit za VJP určené k přepracování. Dále je problém, že organizace SÚRAO zřízená a řízená státem, která vlastní jen RAO nemůže bez složitých zásahů do právních předpisů vynakládat finanční prostředky na výzkum a další práce zaměřené na činnosti souvisejícími s přepracováním VJP, když VJP není ve vlastnictví státu.

9.3. Návrh optimální konstrukce skladu vysoce aktivních RAO z VJP a VJP

v hlubinném úložišti

Životní prostředí musí být ochráněno před únikem radioaktivních materiálů z VJP. K tomu má sloužit uložení, vysoce aktivních RAO z VJP a VJP v hlubinném úložišti a prováděná kontrola do uzavření hlubinného úložiště. Velice důležité je, aby hlubinné úložiště bylo projektováno, postaveno a provozováno tak, aby v uvedených fázích a i po uzavření hlubinného úložiště se zabránilo styku zejména s radionuklidů s vodou. Hlubinné úložiště by mělo toto zajistit dokud uložený RAO z VJP nebo VJP se nezbaví radioaktivity.

Konstrukce hlubinného úložiště počítá s hlavní přírodní bariérou, což má být geologická formace. Konstrukce dále počítá s bariérou ÚOS v němž je hermeticky vysokoaktivní RAO, RAO z VJP nebo VJP uložen. Zde se musí zajistit odvod tepla do okolí z uloženého RAO, RAO z VJP a VJP a zajistit, aby ÚOS nezvyšoval svoji teplotu. Konstrukce ÚOS je řešena v kapitolech ÚOS.

Prostot mezi ÚOS se plánuje utěsnit přírodním materiálem, který dokáže odvádět teplo a případně unikajícímu RN zabránit v migraci mimo těsnící materiál. Předpokládá se v koncepcích utěsněním bentonit.

Zde bych chtěl upozornit, že navrhovaná konstrukce styku těsnícího materiálu s ÚOS by měla počítat s možností vyjmutí ÚOS v případě potřeb, třeba už jen z důvodu pozdějšího možného využití RAO, RAO z VJP či VJP. Asi nepřijatelnější by bylo UOS ukládat do dalšího ÚOS, který by umožnil vyjmutí ÚOS.

Referenční projekt hlubinného úložiště, byl aktualizován v roce 2012. Tento projekt není připravován pro konkrétní lokalitu. Slouží k dalšímu technickému posuzování a k naplánování plnění úkolů spojených s výstavbou, ukládáním a provozováním. Počítá se zatím s uložením objemu 10000 m³.

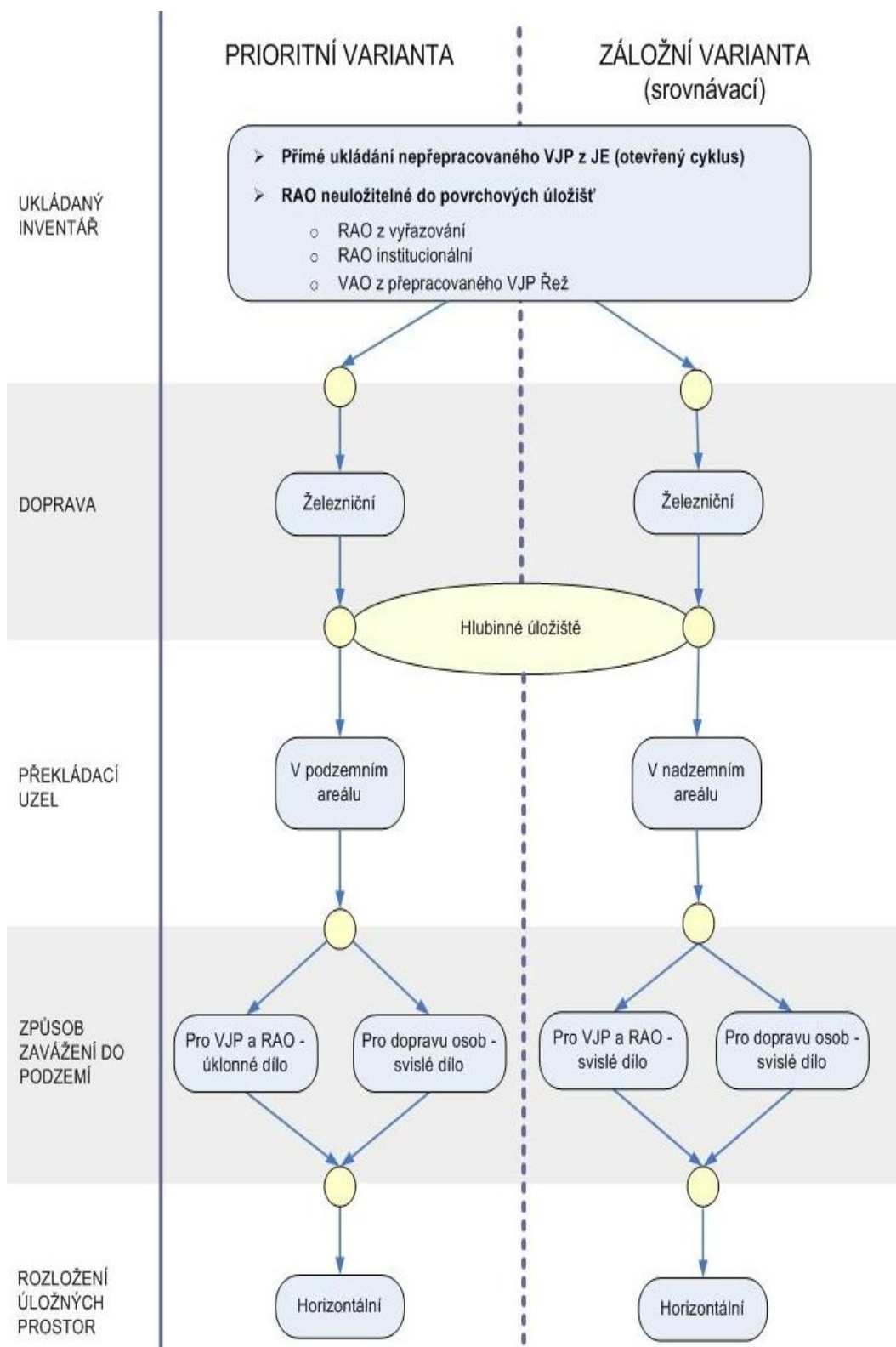
Projekt počítá s nadzemní částí areálu, který bude zpočátku využíván nejvíce pro těžbu a budování podzemních prostor pro ukládání RAO, RAO z VJP a VJP. Po vybudování hlubinného úložiště by měl nadzemní prostor zajistit možnou překládku všech typů OS do všech typů ÚOS v takzvané záložní variantě. Jinak se dosud počítá s překládkou v podzemí RAO, RAO z VJP a VJP. Podzemní část by se měla skládat z hlavních přístupových chodeb a z rozsáhlé sítě chodeb pro ukládání.

9.4. Projekt hlubinného úložiště

Aktualizovaný referenční projekt z února 2012 počítá s nadzemní částí areálu, který bude zpočátku využíván nejvíce pro těžbu a budování podzemních prostor pro ukládání RAO, RAO z VJP a VJP. Po vybudování hlubinného úložiště by měl nadzemní prostor zajistit možnou překládku všech typů přepravních OS do všech typů ÚOS jen v případě, že bude využit zálohový projekt z důvodu nemožnosti provádět a vybudovat prostory v podzemní části hlubinného úložiště. Podzemní část by se měla skládat z hlavních přístupových chodeb a z rozsáhlé sítě chodeb pro ukládání.

Schéma 9.4. 1. Konceptního řešení referenčního projektu hlubinného úložiště

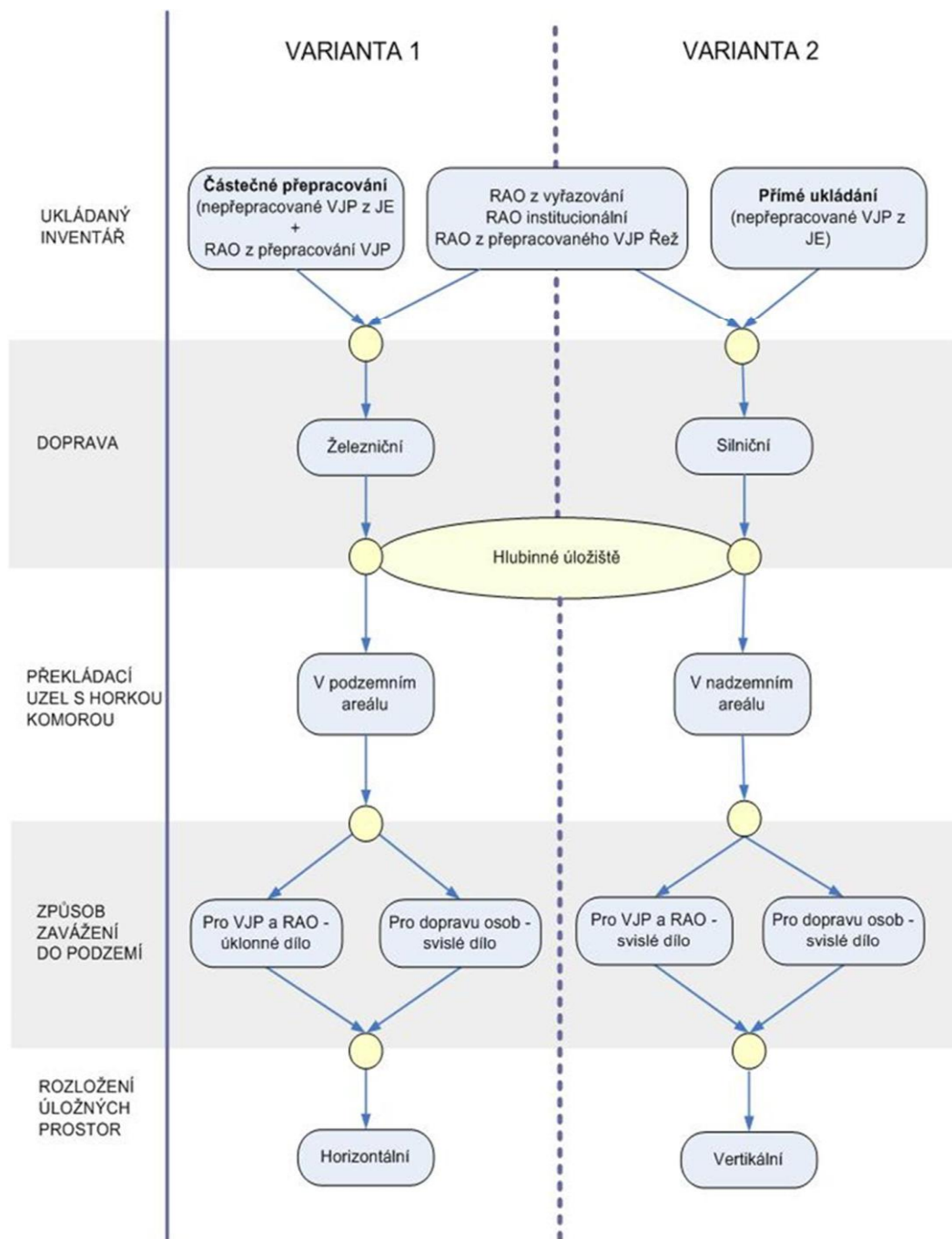
[ÚJV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA \(duben 2014\). Stavba akce SÚRAO Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012, str. 22](#)



Z uvedeného schéma je patrný rozdíl v umístění překládacího uzlu. U prioritního návrhu je překládka RAO, RAO z VJP a VJP zajištěna v podzemí a u záložní varianty je překládací uzel v nadzemní části. Veškerá doprava do podzemní části je u záložní varianty řešena svislým dílem. U Prioritního návrhu se navrhuje doprava pro RAO, RAO z VJP a VJP úklonným dílem. Obě varianty zde počítají s horizontálním ukládáním RAO z VJP a VJP. Pracovníkům zabývajícím se projektováním jsem sdělil, že je to nepřirozený způsob ukládání a že doporučuji znova prověřit přirozený způsob ukládání RAO z VJP a VJP ve vertikální poloze.

Schéma 9.4. 2. Koncepční řešení referenčního projektu hlubinného úložiště připravovaný pro Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění ubinného úložiště v ČR 2015 - 2025

<http://www.surao.cz>



V dnešní době SÚRAO připravuje rozpracování dvou variant technického řešení. Připravuje se aktualizace referenčního projektu pro vertikální ukládání

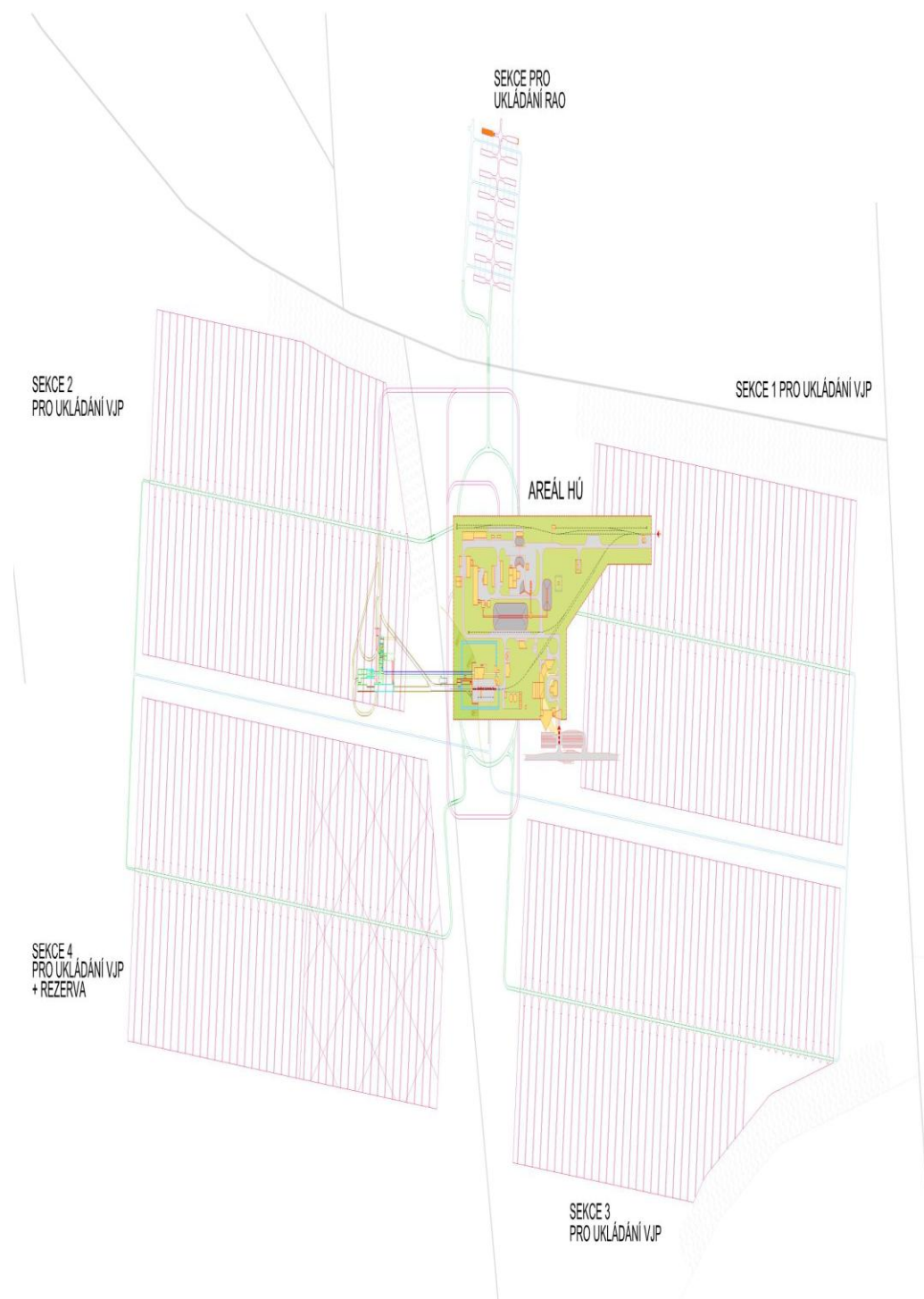
RAO z VJP. Toto bude prováděno již s ohledem na získávané poznatky z geologických průzkumů.

9.5. Projekt nadzemní části úložiště

V objektu v nadzemní části se plánuje v současné době v případě nemožnosti z důvodu vybrané lokality umístit překládací prostor do nadzemní části. S tím souvisí i případná nemožnost úklonného díla pro přepravu RAO, RAO z VJP či VJP a tím přepravu svislou všech materiálů a osob pomocí těžní věže. Je to jakási dodnes záložní varianta platná k červnu 2015 z roku 2012. Potom v nadzemní části musí být prostor pro přivezený dopravní prostředek s OS s obsahujícími RAO, RAO z VJP a VJP. Dále zde musí být vybudovány horké komory pro jednotlivé přeložení RAO, RAO z VJP a VJP z přepravních souborů do úložných prostor pomocí manipulačních zařízení. Původně pilotní projekt počítal s překládkou pod zemí u varianty I a ve variantě II se počítalo s překládkou nad zemí. V roce 1999 projekt a optimalizační projekt z roku 2003 počítal s překládkou nad zemní částí. V roce 2011 se počítalo s překládkou v podzemní části a k červnu 2015 platí upravený projekt, který počítá s překládkou v podzemní části a jen v případě nemožnosti uložení překládky v podzemí umístit překládku do nadzemní části. Navržený projekt počítá jen s překládkami a ne s pracemi souvisejícími s případnou demontáží palivových kazet. Zatím pro VJP z JDU je navrhován ÚOS pro 7 palivových kazet a pro VJP z JTE je navrhován ÚOS pro 3 palivové kazety.

Schéma 9.5. Propojení nadzemní a pozemní části hlubinného úložiště

[ÚJV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA \(duben 2014\). Stavba akce SÚRAO Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012, str. 38](#)

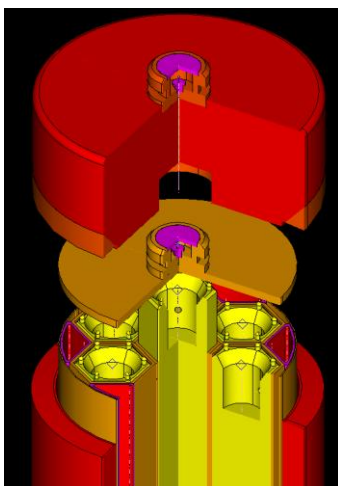


9.6. ÚOS

9.6.1 ÚOS pro VJP z EDU

Schéma 9.6.1 ÚOS pro VJP z EDU, má mít 7 palivových kazet

[ÚJV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA \(duben 2014\). Stavba akce SÚRAO Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012, str. 29](#)

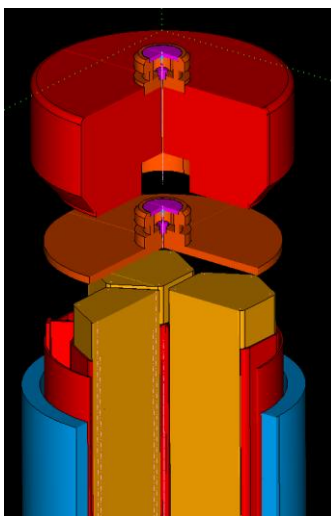


ÚOS pro VJP z EDU, má mít 7 palivových kazet

9.6.2 ÚOS pro VJP z ETE

Schéma 9.6.2 ÚOS pro VJP z ETE, má mít 3 palivové kazety

[ÚJV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA \(duben 2014\). Stavba akce SÚRAO Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012, str. 30](#)



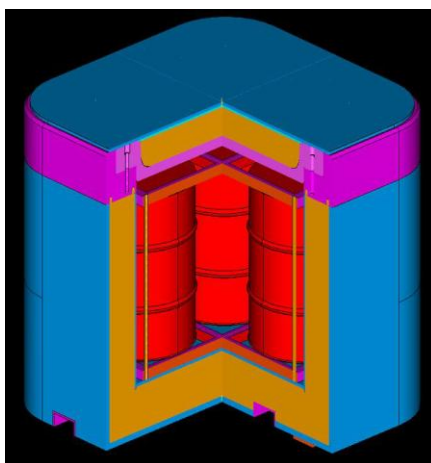
ÚOS pro VJP z ETE má mít 3 palivové kazety

Materiál stěn vnitřní části ÚOS je zatím navrhován z nerezavějící oceli, která je uložena v silnostěnném obalu z uhlíkaté oceli. Vnější část ÚOS se navrhuje opatřit antikoročním povlakem. Životnost ÚOS by měla dosahovat 1000 let.

9.6.3 ÚOS Betonkontejner pro RAO

Schéma 9.6.3. Betonkontejneru pro uložení sudů s RAO.

[ÚJV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA \(duben 2014\). Stavba akce SÚRAO Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012, str. 33](#)



V hlubinném úložišti by měl být prostor pro uložení sudů s RAO v betonkontejnerech o rozměrech 1,7 x 1,7 x 1,7 m. Vnitřní a vnější plášť betokontejneru by měl být z ocelových plechů o síle 10 mm. K plášti by mělo být přivařeno plechové víko a dno o tloušťce 15 mm. Meziprostor OS by se měl zaplnit betonem. Ve dně betokontejneru jsou otvory pro uložení OS (sudů), které by měly být opatřeny antikoročním nástřikem.

9.6.4 Další bariéra ÚOS

V roce 1999 byly navrženy pouzdra z čedičových segmentů, do kterých se měly ÚOS ukládat. Tyto pouzdra mají být podle návrhů z roku 2011 nahrazeny superkontejnerem.

9.6.5 Superkontejner

V projektu z roku 2011 se uvažovalo, že se bude zasouvat ÚOS v horizontální poloze do superkontejneru. Podle představ se superkontejner měl vyrábět z oceli opatřené otvory a vněm by měl být prostor mezi ÚOS a stěnami superkontejneru vyplněn bentonitovými prefabrikáty.

9.7. Projekt podzemní části úložiště

RAO z VJP a VJP by mělo být ukládáno v hloubce 500 metrů pod zemí.

Pro dopravu RAO, RAO z VJP, VJP se v pilotní variantě I uvažovalo o úklonném díle se zajištěním do podzemí. Osoby měly se dopravovat svisle pomocí výtahů. Druhá varianta pracovala s možností dopravy všeho pomocí těžních věží. V roce 1999 a optimalizovaný projekt z roku 2003 počítal s úpadnicí a projekt v roce 2011 počítal s dopravou RAO, RAO z VJP, VJP úklonem. V roce 2012 projekt počítá s dopravou RAO, RAO z VJP, VJP úpadnicí a jen v případě nemožnosti vybudování úpadnice ve vybrané lokalitě s dopravou RAO, RAO z VJP, VJP svisle těžními věžemi. Tento projekt platí i k červnu 2015.

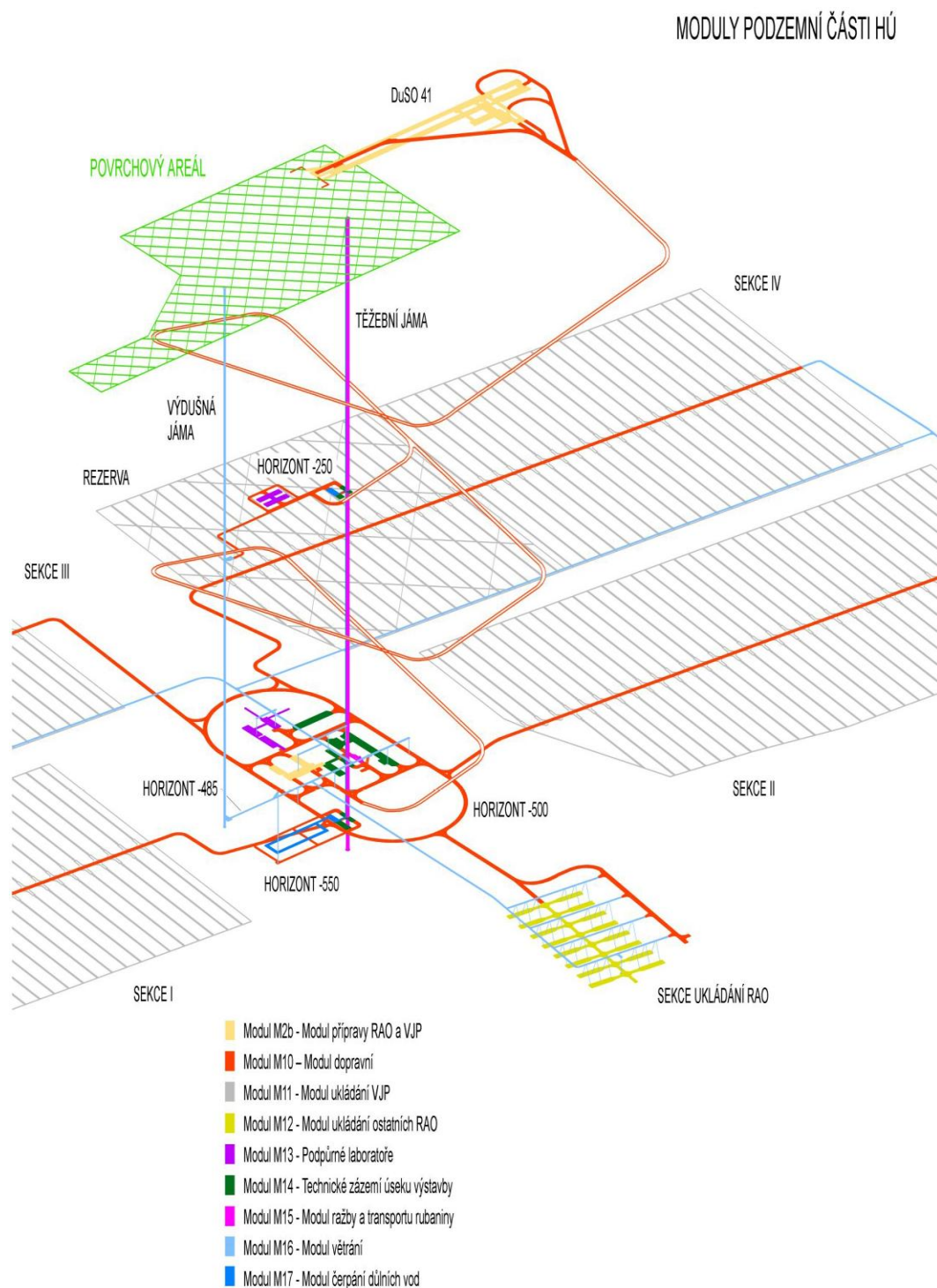
Podzemní prostory se budou skládat z přístupových chodeb a z navazujících ukládacích chodeb.

V ukládacích chodbách se ve variantě pilotního projektu I předpokládalo horizontální ukládání ÚOS a ve variantě II se předpokládalo vertikální ukládání ÚOS. V roce 1999 a po optimalizaci v roce 2003 se předpokládalo ukládání ÚOS v poloze vertikální a v roce 2011 projekt počítá s ukládáním ÚOS v poloze horizontálním. S ukládáním ÚOS v poloze horizontální počítají projekty upravené v roce 2012 i pro případ, že se RAO a VJP bude překládat a dávat do podzemních prostor těžními věžemi.

ÚOS se budou pod zemí převážet vozíky s elektropohonem. Pro manipulaci jsou navrhovány vozíky vybavené manipulační technikou s hydraulickým pohonem.

Schéma 9.7. Moduly podzemní části hlubinného úložiště

[ÚJV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA \(duben 2014\). Stavba akce SÚRAO Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012, str. 53](#)



9.8. Uzavření úložiště

Po naplnění úložiště by měly být dle projektu podzemní prostory zaplněny jílovým materiálem. Zařízení by se mělo v hlubinném úložišti demontovat, vyvézt a dezaktivovat a následně by se měly demontovat nadzemní objekty. Potom by se krajina měla uvést do původního stavu. I po tom by se uvedená lokalita měla monitorovat, ale činnost na povrchu země by neměla být nikterak omezována.

9.9. Současný stav přípravy prací

Z uvedeného je patrné, že již 25 let se připravuje budování hlubinného úložiště. Výzkumné ústavy a i obchodní společnosti zkoumají, vyvíjí a ověřují potřebné získané informace a poznatky.

Nelehkým problémem je výběr lokality pro hlubinné úložiště. Nejde jen o to vybrat lokalitu, ale je nutné hlavně prokázat, že uvedená lokalita bude splňovat všechny požadované vlastnosti na bezpečné a dlouhodobě funkční uložení RAO, RAO z VJP a VJP. Musí se nejen dodržet všechny právní předpisy, ale zvážit sociální a ekonomická hlediska. Zatím je v současné době schváleno 5 lokalit pro pozemní geologický průzkum a u 2 lokalit probíhá povolovací řízení na pozemní geologický průzkum. Potom průzkumu by mělo dojít k vybrání 2 lokalit pro geologický průzkum, který se bude již provádět hloubkovými vrty. V roce 2030 by již měla ve vybrané lokalitě pracovat podzemní laboratoř, která musí prokázat během dalších dvaceti let vhodnost pro bezpečné ukládání RAO, RAO z VJP a VJP.

Nejdéle v roce 2050 by měla být zahájena výstavba manipulačních chodeb a ukládacích prostor v hlubinném úložišti pro ukládání ÚOS obsahujících RAO, RAO z VJP a VJP. Provoz hlubinného úložiště by měl být zahájen v roce 2065. VJP by se mělo vejít do 120 ÚOS a za celou dobu provozu hlubinného úložiště by se z JE, mělo uskutečnit jen 40 převozů RAO, RAO z VJP a VJP do vybudovaného hlubinného úložiště. Převavní OS pro přepravu RAO, RAO z VJP a VJP nesmí ztratit těsnost i v případě požáru či velkého nárazu a nesmí ani ohrozit osoby, které se přiblíží k uvedeným OS.

Uvedené hlubinné úložiště by mělo zabezpečit trvalé uložení vysoko aktivních materiálů, které jsou do vybudování hlubinného úložiště uloženy v prostorách JE. Nelze zapomenout, že se z uvedeného vysoce aktivního materiálu může být v budoucnu energeticky zajímavý materiál, ale vždycky bude zapotřebí vybudovat hlubinné úložiště pro nebezpečné radionuklidy.

Koncepce ukládání RAO, RAO a VJP v ČR by měla v budoucnu vyřešit trvalé zneškodnění vysoce aktivních odpadů. Podle cen platných v roce 1999 by náklady měly činit 47 miliard Kč. T toho je určeno 5,3 miliardy na vývoj a výzkum. Na přípravu stavby 18,3 miliard a na provoz 23,1 miliard. Na uzavření hlubinného úložiště a uvedení území do původního stavu by měly postačit dle projektu v penězích pro rok 1999 jen 0,3 miliardy.

Realizace stavby hlubinné úložiště v ČR nezáleží jen na zvládnutí technického řešení bezpečného uložení RAO, RAO z VJP a VJP. Bude také záležet, zda se skutečně nalezne vhodná lokalita splňující náročné požadavky pro ukládání, RAO, RAO z VJP a VJP pro vybudování hlubinného úložiště.

9.10. Optimalizace technologie skladu vyhořelého jaderného paliva.

Pro optimalizaci technologii skladu vyhořelého paliva je třeba zvážit to, že jsou dnes země, jako je Ukrajina, která má po havárii Černobylské jaderné elektrárny 1 miliardu m³ kontaminovaného materiálu RN. Proto již dnes se musí optimalizovat technologie skladu VJP s možností, aby z VJP se stalo co nejmenší množství RAO a tím, aby byl v ČR zapotřebí co nejmenší sklad pro ukládání RAO. Tedy nepodílet se na hromadění materiálů obsahující RN.

Všechny závody na přepracování VJP ve světě stačí přepracovat 25 % vyprodukovaného VJP. Z 1000 kg přepracovaného VJP zůstane v průměru 114.67 kg vysoce aktivního radioaktivního odpadu, 10 kg plutonia nahradí 10 000 000 kg ropy. Pomocí přepracování získáme plutonium a to nám umožňuje vyrobit (přepracovaný uran) reprocessed uranium, směs plutonia a oxidu uranu, mixed oxide palivo. Uran obohacený plutoniem lze použít na nové palivo. Zatím se nejvíce používá k přepracování VJP technologie chemického oddělení složek po vyjmutí VJP z obalu zirkonu a rozpuštění v kyselině dusičné. Oddělené štěpné produkty se po zatavení do skla uskladní jako vysoce radioaktivní odpad.

Recyklací VJP se sníží ze 100 % vysoce aktivního odpadu odpad na maximálně 20%, když k tomu připočteme objem obalu skla fixující vitrifikací štěpný vysoce aktivní odpad. Dále dojde ke snížení toxicity odpadu ze 100 % na 10 %. Ušetří se minimálně 20 % přírodního uranu ²³⁵U. Zlepší se zajištění nešíření radionuklidů ze skladů vysoce radioaktivního odpadu. Zlepší se názor u veřejnosti na strategii využívání jaderné energie.

VJP po vyjmutí z jaderného reaktoru obsahuje 1 % ²³⁵U, a 1 % ²³⁹Pu, 95 % ²³⁸U a štěpné produkty ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, které mají největší podíl radioaktivity ze zbylých 3 % štěpných produktů ve VJP. ¹³⁷Cs rychle ztrácí radioaktivitu, protože

jeho poločas rozpadu je 30 let. Totéž se dá říci o ^{90}Sr . ^{135}Cs má však poločas rozpadu 3×10^6 a vysokou hodnotu gama záření 0,6 – 0,8 MeV. Proto v počátku navrhuji skladováním snižovat obsah Cs.

Zkoušky prováděné v červenci 2014 v Rusku mi potvrdily, že lze laboratorně bez větších problémů snižovat vysokou aktivitu VJP. Náš vzorek byl z VJP, které bylo 30 let uskladněno v betonovém OS v povrchovém skladu u JE. My jsme pro zkoušku získali VJP vážící 15 g. Uvedený vzorek jsme rozdrtily a při teplotě 740°C jsme po dobu 120 minut prováděli oxidaci přiváděním kyslíku na U_3O_8 . Následně jsme ve vodíkové prostředí při 640°C přiváděli vodík po dobu 120 minut a tak jsme zpět získávali redukci UO_2 . Tím jsme docílili 3,9 % vodíku v rozdrčené směsi VJP. Následně jsme žíhali UO_2 při teplotě 1150°C . Toto jsme 3 krát opakovali. Po páté oxidaci při stejné teplotě jsme na drčený vzorek UO_2 přiváděli nejen vodík, ale i argon a helium při teplotě 630°C po dobu 115 minut. Potom následovalo opět žíhání UO_2 při teplotě 1150°C . Teplotu jsme měřili termočlánky. Toto jsme opakovali také ještě 3 krát. Drcením VJP s následným oxidačně redukčním procesem jsme na zvětšené ploše povrchu žíháním Cs odstraňovali a tím separovali štěpné produkty. Změnou UO_2 na U_3O_8 docházelo ke změně krystalické mřížky a hustota se změnila vždy 25 x. Lepšího výsledku by se dalo dosáhnout prováděním broušením vzorku VJP. Toto zařízení jsme však neměli. Měření rozdrčených částic jsme zjistili, že některé rozdrčené částice měly velikost i $0,75 \mu\text{m}$. Většina částic však nepřekročila $0,25 \mu\text{m}$. Tyto částice jsme se snažily tavit a pohlcovat Cs v uhlíkových filtrech. Problémem je, že v ČR nejen je složité získat povolení nejen k uvedeným zkouškám, dále i získat povolení na opatření zkoušeného materiálu a zařízení. Navíc v ČR náplň velké lahve argonu pro představu stojí skoro 4000 Kč. Tato metoda neodstraní asi úplně CS, ale měření jsme zjistili 31 x snížení gama záření ve výsledném vzorku. Dnes již existují v laboratorních podmínkách lepší možnosti odstraňování Cs s VJP, jako je proces tepelného cyklování fázové přeměny oxidu uranu UO , kdy skoro podobným postupem s následnou vakuovou destilací sloučenin oxidu Cs se ještě více snížit vysokou aktivitu RAO.

Země vlastníci závody na přepracování VJP zdokonalují urychlovačem řízené transmutační technologie, které dokážou zajistit kromě lepšího využití jaderného paliva i změnu převážné části radionuklidů na jiné radionuklidy, které mají kratší poločas rozpadu a tím je zkrácena nebezpečnost zbytků z VJP. Další výhodou je možnost tuto technologii využít pro jaderné palivo více se v přírodě vyskytující

thorium. 1kg thoria dokáže nahradit 2500000 kg fosilního paliva. Využití této technologie brání vysoká cena a složitost technologie přeměny neutronů na protony v urychlovači.

V dnešní době se nejvíce pro výrobu elektrické energie využívají lehkovodní tlakové reaktory, ke kterým patří i reaktory provozované v ČR. V dnešní době jsou již projektované reaktory s pasivní bezpečností, kdy bez aktivního zařízení se reaktor uvede do bezpečného stavu. Toto by měl v Evropské unii splňovat evropský tlakovodní reaktor EPR vyvíjený firmou AREVA využívající plutonium z přepracovaného VJP, tedy mixed oxide palivo.

Mixed oxid palivo je produkt jaderného reaktoru, nebo se dá získat likvidací jaderných zbraní. Zatím s touto výrobou paliva má zkušenost Velká Británie a Francie, Rusko, které používají technologii přepracování VJP odstraňování minoritních aktinidů známou pod označením PUREX. Tohoto paliva od roku 1980 využívá Belgie, Francie, Japonsko, Německo, Švýcarsko, USA. V reaktoru z uvedeného paliva obsahující nejvíce ^{238}U se mění tento uran na štěpitelné produkty ^{239}Pu , ^{241}Pu , které se podílí 1/3 na uvolněné energii při provozu jaderného reaktoru. Dále se ^{238}U mění na neštěpitelný ^{240}Pu , ^{242}Pu . Problémem zůstává rozpad krátkodobých izotopů plutonia. Musí se tedy při manipulaci s tímto více aktivním čerstvým palivem zacházet opatrněji nejen při provozu, ale i před uložením paliva do jaderného reaktoru. Používáním mixed oxid paliva se sníží množství vitrifikovaných vysoce aktivních odpadů. I toto použité mixed oxid palivo se dá omezeně přepracovat, protože se zvětšuje množství neštěpitelných sudých izotopů ^{240}Pu , ^{242}Pu . Zatím se však také nepočítá s jeho dalším trvalým vyřazením bez přepracování a ukládá se vyhořelé mixed oxid palivo pro možné budoucí využití v reaktorech 4. generace rychlých reaktorů.

Problém využívání recyklovaného uranu je dán tím, že jeho výroba je 2,8 x dražší a obsahuje i ^{236}U , který je absorbérem, tedy pohlcovačem neutronů a obsahuje i ^{232}U , který při rozpadu na další produkty zvyšuje záření, které pak vyžaduje další opatření pro zajištění bezpečnosti zaměstnanců jaderných elektráren, když se používá recyklovaný uran.

Z uvedeného vyplývá, že optimalizace skladu VJP se neobejde bez zajištění přepracování VJP nejen z důvodu technického, ale i z důvodu příznivého nazírání obyvatel pro další zajištění rozvoje jaderné energie. Zvláště pokud si chce ČR uchovat neprolomením limitů těžby hnědého uhlí zásoby na lepší využití

uhlí pro další generace. Zde je třeba dnes nejen zajistit možnost přepracovat uložené VJP, ale i zvážit využití v budoucnu jaderných zařízeních využívajících lepší využitelnost jaderného paliva. Zda pozdržet výstavbu nových jaderných reaktorů v ČR je nutné posoudit nejen ze zde zmiňovaných v budoucnu účinnějších zařízení, ale i z hlediska zajištění potřebných energetických zdrojů.

Podle současné koncepce SÚRAO počítá s vyprodukovaní za 40 let 3490000 kg VJP. Při dostavbě dvou bloků ETE a jednoho bloku EDU, se počítá s vyprodukovaním 9910000 kg VJP. **Musí se počítat navíc s uložením do hlubinného úložiště s materiály, které budou převyšovat hodnoty limitních aktivit. Jedná se o konstrukce, nerez návary tlakových nádob reaktorů, vnitřní částí reaktoru, supertinitové betony a dalšího materiál. Předpokládá se, že těchto vysoce aktivních odpadů bude minimálně po končení provozu 4200000 kg.** To znamená vyrobit nejméně 6 000 ÚOS, které jsou konstruovány pro menší počet kazet VJP, než jsou konstruovány OS (obalové soubory) pro povrchové ukládání VJP a je nutné počítat v hlubinném úložišti i s prostory pro skladování vysoceradioaktivních materiálů, které nejsou VJP. Dnes je již jeden suchý sklad na VJP na EDU zaplněn 60 OS a druhý s možností uložení 133 OS se plní. Taktéž se plní sklad na VJP v ETE. Stávající skladovací kapacita na VJP na EDU je dostatečná na provoz trvající 45 let. Do této doby se musí započítat již to, že EDU je provozovaná 30 let od roku 1985. Současná skladovací kapacita na ETE postačí na 30 let. Pro předpokládanou dobu provozu 40 let se bude muset vybudovat na ETE další suchý sklad. Totéž platí pro EDU, jestliže provoz bude delší než 45 let. V případě provozu 60 let EDU a ETE bude nutné vybudovat skladovací kapacitu pro 1580000 kg VJP. Počítá se s rozšířením kapacity suchých skladů pro VJP již s případnou stavbou dalšího 5. bloku na EDU a 3. a 4. bloku na ETE. Celkem bude potřeba uskladnit přibližně 5010000 kgy VJP z nových bloků. Referenční projekt z roku 2014 počítá již s uskladněním VJP v hlubinném úložišti i z nově budovaných zmíněných jaderných reaktorů na EDU a ETE.

Tabulka 9.10. Bilance VJP určeného k uložení do hlubinného úložiště

[SÚRAO Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012, str. 34](#)

Doba provozu	EDU 1 – 4 (t TK)	ETE 1, 2 (t TK)	NJZ (2 + 1) (t TK)	Celkem (t TK)
40 roků	1740	1750		3490
60 roků	2430	2470	5010	9910

Množství VJP uváděné v tabulce se bude muset usklalnit, když se nebude VJP přepracovávat z EDU a ETE. ČEZ a. s. počítá, že by VJP přepracovával, pokud mu umožní nově vybudované rychlé reaktory využívat energie z plutonia, nebo pokud by moci využívat palivo ve formě MOX v nových blocích či upravených blocích na EDU a ETE. Zatím dle dokladované koncepce nakládáním VJP z listopadu 2014 ČEZ předpokládá přímé uložení VJP do hlubinného úložiště. Zde je třeba si uvědomit, že od roku 2018 bude moci nechat přepracovat VJP palivo jenom v Japonsku, Francii a Rusku.

I v případě využívání nových technologií v jaderné energetice a činnostech potřebných pro zajištění potřeb občanů ČR bude vznikat velké množství vysoce aktivních odpadů nutných izolovat od životního prostředí. Je tedy v zájmu občanů vybudovat hlubinné úložiště, pro zajištění vysoce aktivních odpadů, kde lze trvale uložit v nejbližších desetiletí vysoce aktivní odpady. Tyto vysoce aktivní odpady budou vznikat i v případě přepracování VJP. Jaderné elektrárny v ČR jsou a ČR počítá s jadernými elektrárnami i v budoucnu. **Tomu však musí ČR optimálně přizpůsobovat nakládání a uskladňování VJP. Je si však třeba uvědomit že ani jedna technologie transmutace v dnešní době neodstraňuje tolik potřebné hlubinné úložiště.** Dále je třeba si uvědomit, že zatím je v současné době z mnoha důvodů lepší v případě rozhodnutí přepracovávat VJP v zařízeních v zemích mající s přepracováváním VJP dlouhodobé zkušenosti a v zemích, která provozují tyto zařízení, než se snažit stavět průmyslová zařízení na transmutační technologie v ČR.

Jak je z práce patrné pro optimální technologii skladu VJP navrhuji, pokud lze využívat přepracování, i za cenu finančních nákladů, tak se snažit VJP přepracovávat. Pokud by se mělo nepřepracované VJP trvale uložit do hlubinných úložišť, potom zvážit návržení ÚOS, ze kterých se bude moci po velmi dlouhé době po uskladnění VJP, vyjmout VJP a přepravit VJP k přepracování. **Dále upozorňuji na usnesení vlády ČR z 3. 6. 2015, kde je právním dokumentem dokladováno, že ČR bude přepracovávat VJP.** Z hlediska přirozenosti se domnívám, že se VJP bude ukládat v hlubinném úložišti ve vertikální poloze. Z hlediska optimalizace technologie skladování VJP je nejdůležitější v dnešní době pečlivý výběr pro plánovanou výstavbu hlubinného úložiště. Z hlediska bezpečnosti však má každé řešení své výhody a nevýhody, které dnes lze jen těžko předvídat. Přesto bude nutné podporovat výzkum separace a transmutace radionuklidů, který by mohl hodně napomoci při zmírnění množství RAO. To

10. PRÁVNÍ LEGISLATIVA ENERGIE DO ROKU 1990 NA ÚZEMÍ ČR, SLOVENSKÉ REPUBLIKY (SR)

Zákon č. 20/1966 Sb., o péči o zdraví lidu.

Vyhláška č. 76/1971 Sb., Českého úřadu bezpečnosti práce se zabývá ochranou zdraví před vnitřním ozářením při vdechování radonu a dalších produktů z ovzduší objektů a dále před vnějším ozářením z radionuklidů obsažených ve stavebních materiálech. Tato vyhláška se nevztahovala na léčbu pacientů ozařováním.

Vyhláška č. 59/1972 Sb., Ministerstva zdravotnictví České socialistické republiky o ochraně před ionizujícím zářením vydané Ministerstvem zdravotnictví Československé socialistické republiky ve spolupráci s Československou komisí pro atomovou energii.

Vyhláška č. 65/1972 Sb., Ministerstva zdravotnictví Slovenské socialistické republiky využívání jaderné energie pro Slovenskou republiku.

Jednalo se o vyhlášku obsahující ochranění lidí před účinky ionizujícího záření. Dále zde byly dány povinnosti pro uživatele, využívající zdrojů záření a tím radioaktivních látek tak, aby zabránil ozářením lidí při jejich činnosti. V prvním paragrafu se upravovaly přípustné dávky ozářením lidí, ze zkušebních důvodů pouze se souhlasem těchto lidí a souhlasem ministerstva zdravotnictví.

Tyto zdroje záření směly organizace používat jen za zcela velmi přísných bezpečnostních a ochranných opatření, ve vymezených prostorách a za použití monitorovacích zařízení.

S uvedenými zdroji směli pracovat jen lidé, kteří jsou starší osmnácti let za použití ochranných pomůcek. Pracovat s uvedenými zářiči směli vyškolení, způsobilí a zcela duševně zdraví lidé tak, aby splňovali požadavky §6 a § 7 vyhlášky.

Pracoviště, která využívají záření, podléhají přísným hygienickým podmínkám. To platilo i pro projektovou dokumentaci staveb jaderných zařízení. Opatření měla směřovat k zamezení nekontrolovatelné řetězové reakce a zabránění úniku radioaktivity a ionizujícího záření mimo žádoucí místa. Tato vyhláška se vztahuje na radioaktivní produkty, vznikající z činnosti nejaderných zařízení.

Vyhláška č. 83/1973 Sb., Federálního ministerstva pro technický a investiční rozvoj o obecných technických požadavcích na výstavbu uvádí, jak se do krajiny a sídelních útvarů, mají stavět jaderná zařízení. Dále jsou stanoveny podmínky

pro ochranná pásma a dozor Státního úřadu pro jadernou bezpečnost před, při výstavbě a i při provozu jaderného zařízení.

Zákon č. 50/1975 Sb., o územním plánování a stavebním řádu ukládal v § 126 zajistit souhlas Československé komise pro atomovou energii před vydáním rozhodnutí o stavebním povolení, kolaudačním rozhodnutí, ochranném pásmu stavby obsahující jaderné zařízení.

Vyhláška č. 85/1976 Sb., Federálního ministerstva pro technický a investiční rozvoj se zabývá stavbami, na které se vztahují zvláštní předpisy. Není-li zcela jasné, zda se jedná o stavbu s jaderným zařízením, pak je rozhodující názor SÚJB (Státní úřad pro jadernou bezpečnost).

Vyhláška č. 28/1977 Sb., Československé komise pro atomovou energii řešila evidenci jaderných materiálů a odpovědnost organizací a zaměstnanců.

Výnos č. 4, Československé komise pro atomovou energii z roku 1979, o obecných kritériích zajištění jaderné bezpečnosti při umístování staveb s jaderně energetickým zařízením. Vztahuje se na veškerou přenesenou státní správu, na úřady, zabývajícími se projektováním, územním plánováním, prováděním, schvalováním a uváděním staveb do provozu, dozorem staveb, jejichž součástími jsou jaderně energetická zařízení. Jsou zde uvedeny dva stupně pro umístování jaderně energetických zařízení. Kritéria 1. stupně vylučují uváděná zařízení stavět na uvedeném území a kritéria **2. stupně naopak pojmenovávají podmínky pro vhodné území pro umístění staveb s jaderně energetickým zařízením. Tyto podmínky jsou nastaveny i s ohledem na dané priority, včetně hospodaření daného území.**

Výnos č. 6, Československé komise pro atomovou energii z roku 1980, o zajištění jaderné bezpečnosti při spouštění a provozu jaderně energetických zařízení ukládá povinnosti pro úřady, organizace a zaměstnance při přípravě spouštění a provozu jaderně energetického zařízení.

Zákon č. 28/1984 Sb., o státním dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení určuje, že jaderné zařízení je zařízení využívající štěpnou reakci k výrobě elektrické energie. Dále sem patří zpracování, skladování, doprava a ukládání jaderných materiálů, vznikajících při jaderné reakci. Stát toto dozoruje inspektorkami, pověřenými předsedou komise SÚJB od projektové přípravy přes provoz až po ukončení a likvidaci zařízení, která používala jaderné reaktory. Předseda komise může nařídít z důvodu nebezpečí obecného ohrožení snížit nebo zastavit provoz jaderného zařízení.

Vyhláška č. 67/1987 Sb., Československé komise pro atomovou energii o zajištění jaderné bezpečnosti při zacházení s radioaktivními odpady se zabývá technickým a organizačním zabezpečením při práci s radioaktivními látkami a produkty, vzniklými při provozu jaderných zařízení, aby se zabránilo úniku radioaktivity do nežádoucího prostoru. Zavádí se zde pojem „radioaktivní odpad“ pro předměty a látky, které nelze pro zvýšený obsah radionuklidů a pro neodstranitelnou kontaminaci dále bez omezení užívat v běžné lidské činnosti. Vyhláška se zabývá odpady z jaderných zařízení, jejich evidencí, soustředěním, tříděním, ukládáním, přepracováním, přepravou a ukládáním.

Vyhláška č. 76/1989 Sb., Českého úřadu bezpečnosti práce určuje zařízení v jaderné energetice (parní generátory, tlakové nádoby, chladicí systémy, zavážení reaktoru, havarijní systémy).

Vyhláška č. 100/1989 Sb., Československé komise pro atomovou energii je prováděcím předpisem zákona č. 28/1984 Sb., ukládá povinnosti odpovědným institucím provádějícím zabezpečení výstavby, výstavbu, provoz a likvidaci zařízení pro zabezpečení a ochranu jaderných zařízení a jaderných materiálů. Tato vyhláška roztrídí jaderná zařízení a materiály do třech skupin podle návrhu odpovědné organizace. V příloze jsou uvedeny kategorie jaderných materiálů, na které se tato vyhláška vztahuje. Jedná se o kategorie od třídy 3. včetně.

Vyhláška Úřadu bezpečnosti práce České a Slovenské Federativní Republika (ČSFR) č. 76/89 Sb., zavádí termín „zařízení jaderné energetiky, který je odlišný od pojmu jaderné zařízení. Jsou zde podrobně specifikována nařízení pro zajištění bezpečnosti od dokumentace projektové přípravy, stavby, uvádění do provozu, provoz a vyřazení z provozu.

Vyhláška č. 191/1989 Sb., Československé komise pro atomovou energii stanovuje pracovní činnosti, funkce, teoretický, praktický, ústní zkoušky, a tím vytvořených podmínek pro zvláštní odbornou způsobilost znalostí, a schopností pracovníků jaderných zařízení, jejichž činnost má vliv na jadernou bezpečnost. Dále řešila způsob ověření zvláštní odborné způsobilosti před Státní zkušební komisí SÚJB. Platnost tohoto oprávnění se vystavovala na dva roky a mohla být kdykoliv zrušena.

Vyhláška č. 436/1990 Sb., Československé komise pro atomovou energii o zajištění jakosti vybraných zařízení nahrazuje výnos č. 5 Československé komise pro atomovou energii z roku 1979. Jsou zde uvedeny podmínky pro provoz

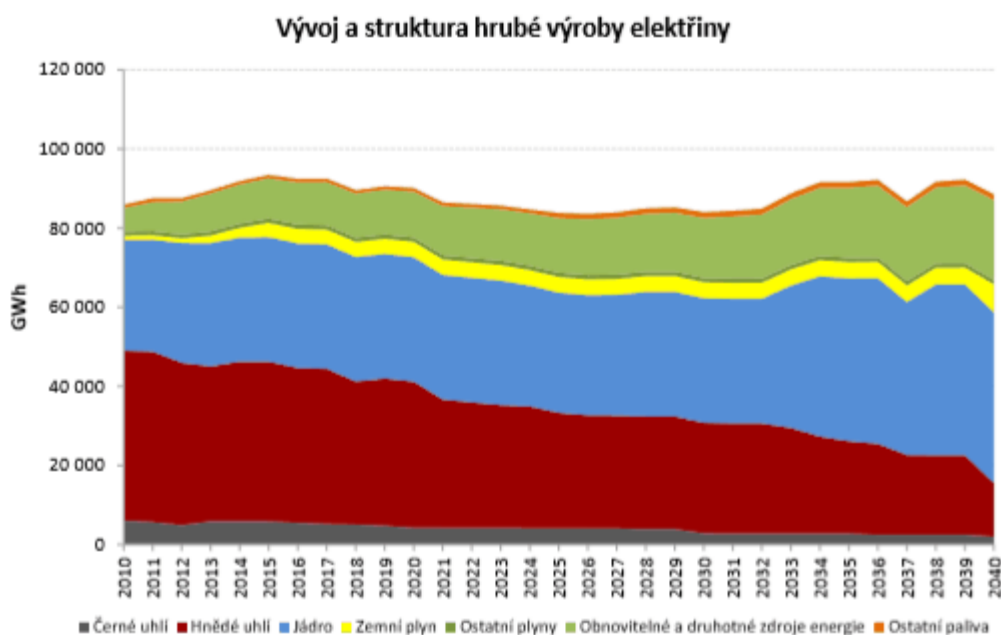
zařízení s ohledem na zajištění jakosti a provádění změn. Zařízení se zde člení do čtyř bezpečnostních tříd.

Státní energetická koncepce ČR. Tato koncepce vypracovaná v listopadu 2014 byla publikovaná 19. 5. 2015. Tato koncepce předpokládá v roce 2040 vyrábět 50 % elektrické energie v jaderných elektrárnách v ČR. S tímto souvisí podpora výzkumu jaderných technologií III + a IV. generace a řešení nakládání s RAO a VJP. To znamená podpora státu vědě, výzkumu a výchově expertů. Podpora školství a zajištění generač zlepšení kvality technické inteligence v oblasti energetiky. Koncepce počítá s rozvojem jaderné energetiky. Je to Koncepce energetiky ČR do roku 2040 stanovuje roční podíl výroby elektřiny z domácích zdrojů ve výši 80 %. v hrubé výrobě z jaderného paliva ve výši 46 až 58 %.

V letech 2014 až 2019 zajistit 18000 absolventů. Zajistit 1000 učňů ročně v energetice. Zapojit střední a vysoké školy do výzkumných projektů.

Graf 10. Vývoj a struktura hrubé výroby elektřiny od roku 2010 do roku 2040

[Státní energetická koncepce strana 111](#)



„Skok ve výrobě elektřiny patrný v roce 2037 je způsoben předpokladem, že nové jaderné zdroje budou mít jistou náběhovou křivku a nebudou spuštěny s plným výkonem. Při současném prognózovaném decommissioningu JEDU bude patrný jistý skok ve struktuře hrubé výroby elektřiny“.(Státní energetická koncepce strana 111)

NAP JE (Národní akční plán jaderné energetiky). Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR a Ministerstvo financí ČR předložilo vládě na zasedání 3. 6. 2015 dokument, který počítá s dostavbou EDU a ETE. Ukládá zajistit v první řadě

výstavbu po jednom bloku na EDU a ETE do roku 2037s možností rozšíření o další jaderný reaktor na EDU a ETE. V první fázi se má pokračovat v pracích potřebných pro zajištění staveb nových jaderných reaktorů. V druhé fázi se má do roku 2025 rozhodnout, zda se bude realizovat výstavba z čistě komerčních zdrojů stávajícího majitele a provozovatele ČEZ a. s., či 100% vlastněnou dceřinou společností. Další možná uváděná výstavba nových bloků bx byla na základě sdružení investorů odběratelů energií a dodavatelů staveb. V tomto dokumentu je i uváděná možnost výstavby založením nového státního podniku ČR. Do konce roku 2016 by měla Vláda ČR mít k dispozici studii pro možnosti a způsoby výstavby nových jaderných reaktorů v ČR.

11. PRÁVNÍ LEGISLATIVA JADERNÉ ENERGIE OD ROKU 1992 V ČR

Právní legislativa jaderné energie do té doby než začala probíhat liberalizace a zapojení se do globalizace energetického hospodářství byla založena na vyhláškách (legis generalit) a dalších sekundárních právních předpisech a zákony nahrazovaly a působily (legis speciális). Další nevýhodou bylo velké množství právních předpisů, z toho vyplývajících právních norem, včetně jejich velkého množství a nenávaznosti.

Legislativa ČSSR z určitých důvodů, snad i z případné obrany státu, nezakazovala využívat jadernou energii jen k mírovým účelům. Taktéž náhrada škody provozem jaderných zařízení nebyla právními předpisy v ČSSR upravena.

Zákon č.21/1993 Sb., změna názvu na Státní úřad pro jadernou bezpečnost.

Zákon č.222/1994 Sb., byl základem pro podnikání v energetice a stanovil výkon státní správy v energetice a nahradil zákon č. 79/1957 Sb., z roku 1957 a tím došlo k liberalizaci v energetice.

Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) upravuje a komplexně řeší využívání jaderné energie a ionizujícího záření. Zabývá se podmínkami radiační ochrany, havarijními zabezpečeními a jadernou bezpečností. Tímto zákonem přejímá stát odpovědnost za bezpečné ukládání radioaktivních produktů z jaderných zařízení a dalších zařízení využívajících ionizujícího záření. Taktéž je zde řešena případná odpovědnost za škody způsobené z uváděných činností. Jsou zde odkazy na provedení podrobných řešení v prováděcích předpisech.

Zákon je členěn do 5 částí.

Část 1. – Mírové využívání jaderné energie a ionizujícího záření.

V hlavě 1. až 6. této části je úvodní ustanovení. Dále jsou zde obecné podmínky a podmínky pro využívání a pro práci s jadernou energií. Je zde řešena ochrana před ozářením. Dále se zde zákon zabývá radioaktivními odpady, občanskoprávní odpovědností za jaderné škody a výkonem státního dozoru.

Část 2. až 4. – se zabývá souvisejícími právními předpisy.

Část 5. – Ustanovení společná, přechodná a závěrečná.

Jaderná bezpečnost je zajištěna:

- radiační ochranou,
- fyzickou ochranou,
- havarijní připraveností v případě vzniku radiační nehody (události, kdy dojde k nedovolenému uvolnění radioaktivních látek) a radiační havárie (vyžadující

zvláštní ochranu osob a životního prostředí). K zabránění poškození zdraví lidí a životního prostředí slouží vypracované a vyzkoušené havarijní plány.

Zákon č. 83/1998 Sb., o Státní energetické inspekci.

Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření s energií se stal Národním programem pro hospodárné nakládání s energií a využívání obnovitelných a druhotných zdrojů. Tento zákon se týká i ostatních paliv, včetně plynu. Snahou bylo nahradit zařízení s malou účinností modernějšími. Tento zákon je podkladem i pro Státní energetickou koncepci a energetickou koncepci vyšších samosprávných celků (krajů) a hlavního města Prahy. Stal se podkladem pro územní plánování a pro energetickou koncepci na dalších 20 let. Za obnovitelné zdroje považujeme v tomto právním předpisu obnovitelné zdroje energie: vítr, půdu, biomasu, slunce, geotermální zdroje země, vzduch, vodu, kalového hospodářství, bioplyn a skládkový plyn, pro které byly dány podmínky ve vyhlášce č. 383/2001 SB., o nakládání s odpady, plynem vyvíjejícím se z uloženého odpadu ve skládce biologickými a rozkladnými postupy. Problémem u solární a větrné energie je vliv počasí. Tento program vyhodnocuje resort průmyslu a obchodu spolu s resortem životního prostředí a na podporu tohoto programu lze získávat dotace na úsporná opatření a zvyšování účinnosti zařízení, kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla, modernizaci výrobních a rozvodných zařízení, užití obnovitelných a druhotných zdrojů energie, vzdělávání, výchovu, poradenství, vědu, výzkum, vývoj v oblasti s nakládání s energií a na zpracování energetických koncepcí.

Dalšími opatřeními pro zvyšování hospodárnosti se staly administrativní prostředky, mezi něž patří povinnost označovat účinnost zařízení v %. Dále musí být spotřebiče limitovány maximálními ztrátami. To platí i pro zařízení plynová. Zde jsou již platné směrnice EU. Dále výrobci a dovozci musí zařízení označovat energetickými štítky.

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla je závazná jen pro výrobce tepla s výkonem zdroje nad 5 MW_{tep} a pro výrobce elektřiny se zdrojem vyšším než 10 MW_{el}.

Každá fyzická či právnická osoba, nebo státní organizace, taktéž samosprávné celky mimo některé příspěvkové organizace žádající o dotaci z národního programu hospodárného nakládání s energií a využívání obnovitelných a druhotných zdrojů musí doložit energetický audit od energetického auditora, zapsaného v seznamu energetických auditorů, majících vysokou technickou nebo

přírodovědnou školu s tříletou praxí v oboru. Kontrola energetických ztrát se provádí v souladu s již uvedeným zákonem č. 83/1998 Sb. a zákon č.222/1994 Sb.

Dotace pro podporu uvedeného stanovuje vláda a Energetický regulační úřad stanovuje minimální výkupní ceny elektřiny, vyrobené z uvedených zdrojů.

Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetickém odvětví, tzv. energetický zákon.

K alternativním zdrojům nepatří ropa, zemní plyn, uhlí a paliva používaná v jaderné energetice. Naopak sem patří energie, využívající přílivu a odlivu vody, tepelných čerpadel, slunečního záření, biomasy, vody, větru a geotermální energie. Zatím se tyto zdroje dostatečně nevyužívají. Tyto zdroje měly krýt v roce 2000 8 % vyrobené energie podle Směrnice 20001/77/ES. Proto byl přijat zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie.

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech je obecný a atomový zákon č. 18/1997 Sb., je zákonem lex specialit vůči tomuto zákonu. Je to dáno hlavně dlouhým poločasem rozpadu radionuklidů, nebo jsou to zařízení, která jsou těmito látkami kontaminována. Radionuklid podléhá samovolné změně stavu atomových jader. Převést vlastnictví těchto látek lze jen písemnou formou. Za bezpečné ukládání a po uzavření úložiště je zodpovědný stát. Ministerstvo průmyslu a obchodu zřizuje Správu úložišť radioaktivních odpadů, které je povinno převzít radioaktivní odpad od původce za určitých daných podmínek, nutných k jejich uložení. V tomto okamžiku dochází převzetím zároveň k přechodu vlastnictví na stát. Česká národní banka (ČNB) vede účet, na který původci radioaktivních odpadů odvádějí peníze na činnosti spojené s uložením radioaktivních odpadů.

12. PRÁVNÍ LEGISLATIVA ENERGETICKÉ POLITIKY EVROPSKÉHO SPOLEČENSTVÍ

Společná energetická politika se zabývá produkcí energií a regulaci její spotřeby. Na základě energetické politiky se začalo tvořit evropské společenství, které bylo společenstvím energetiky.

Prvním bylo společenství Evropské společenství uhlí a oceli (ESUO) zabývající se energií z uhlí.

Druhým společenstvím byl Evropské společenství pro atomovou energii (Euratom), který má napomáhat budování zařízení pro výrobu energie v jaderných reaktorech.

Když vzniklo Evropské hospodářské společenství (EHS), nedošlo do Smlouvy o EHS k zařazení energetické politiky, jak tomu bylo u zemědělské politiky. Energetická politika byla považována za oblast, kterou je nutno jen ovlivňovat a nechat její řízení a kontrolu jednotlivým státům.

Ve smlouvě o EU je pouze v článku 130 Smlouvy o Evropské společenství (ES). Komise EU se snažila v rámci stability trhu a v případě krize v energetickém odvětví toto začlenit do smlouvy o EU neúspěšně. Článek 3 ES, kde komunitární energetická politika stanovuje cíle pro zajištění energie a konkurenceschopnost energetiky.

12.1. EUROATOM

Evropské společenství jaderné energie (European Atomic Energy Community) pro podporu privátních jaderných elektráren bylo založeno roku 1957. Přestože sdružení má za úkol podporovat právnické a fyzické osoby, ve kterých nemá majoritní podíl na rozhodování, stát má na toto společenství velký vliv, jakož i na veškeré projednávané věci v oblastech jaderných zařízení v orgánech EU.

12.2. Energetická charta

Po změnách ve střední a východní Evropě se začaly měnit vztahy i v energetické spolupráci a v roce 1991 vznikla Energetická charta. V zemích střední a východní Evropy a v Ruské republice se nalézalo velké množství energetických surovin. Přijetím Energetické charty došlo k vyjádření ochoty a snahy spolupracovat v oblasti energetiky s cílem zajištění efektivnější výroby, přepravy energie a minimalizace dopadů na životní prostředí. Tento dokument se stal závazný až v roce 1998, po podepsání protokolu Energetické charty i Českou republikou. Jednalo se zde o ochranu zahraničních investic do energetiky. Dále je

zde zakotven volný obchod s energetickými produkty, zařízeními, volný tranzit elektrickými sítěmi s cílem snižování negativního vlivu na životní prostředí při výrobě energií. V roce 2003 se směrnicí 2003/55/ES novelizovala směrnice 96/92/ES. Vyšlo nařízení 1228/2003 Evropského parlamentu a Rady o podmínkách přístupu k sítím pro příhraniční dodávky elektrické energie s účinností k 1. 7. 2004. S tím souvisí i směrnice 2003/54/ES, která definuje subjekty, provozující distribuční síť. Touto sítí se v roce 2006 zabývá i Zelená kniha.

12.3. Bílá kniha

Evropská komise o energetické politice konstatuje ponechání využití jaderné energetiky otevřené a váže ji na rozhodnutí vázané na přijatelnosti veřejností.

Bílou knihu vydala Evropská komise v roce 2000, ale vznikala od roku 1995. Z uvedených důvodů upozorňuje na nutnost zajistit jadernou bezpečnost nejen při provozování jaderných reaktorů, ale i bezpečnost během dopravy a ukládání jaderných odpadů.

Z toho vyplývá, že zemím, které chtějí využívat jadernou energetiku, bude Evropská komise napomáhat v řešení jejich problémů a prosazovat využívání jaderné energetiky.

Právní nástroje Společenství jsou zaměřeny na:

- na zdraví, bezpečnost a ochranu před ozářením,
- bezpečnost jaderných zařízení,
- **řízení odpadového hospodářství z produktů z výroby v jaderných zařízeních,**
- EUROATOM,
- podporu: výzkumu, trhu, dodávek, bezpečnostních opatření a mezinárodní spolupráce.

V bílé knize jsou uvedeny prostředky jaderné energetiky.

Bílá kniha ukládá členským zemím:

- členské státy, které provozují jaderné elektrárny, musejí zajistit a poskytnout bezpečnostní záruky a zajistit provozování těchto zařízení s určitou mezí daných podmínek v souladu s technickými poznatky,
- spolupracovat s ostatními zeměmi, které nejsou členy evropského společenství, aby zapracovaly Mezinárodní úmluvy o jaderné bezpečnosti do právní legislativy svých zemí,

- zabezpečit rozvoj modernějších jaderných reaktorů s cílem zvýšit bezpečnost těchto zařízení,
- založit útvary, které se budou zabývat a řešit bezpečné ukládání jaderných odpadů,
- zapojit se a aktivně přistupovat k mezinárodní spolupráci v Mezinárodním experimentálním programu termonukleárních reaktorů (ITER), který má za cíl výzkum jaderné fúze,
- zajišťovat pomocí technické a vědecké spolupráce větší bezpečnost jaderných zařízení v zemích střední a východní Evropy,
- **zajistit ukládání produktů z provozu jaderných elektráren s cílem možného budoucího přepracování těchto produktů,**
- rychle prosazovat a realizovat poznatky o nakládání s jadernými odpady v souladu s Úmluvou o bezpečném ukládání a nakládání s jadernými odpady. Podporovat zajištění realizace nakládání s jadernými odpady v souladu s uznávanými standardy,
- zajistit zvýšení bezpečnosti při přepravě radioaktivních materiálů spoluprací s Mezinárodní agentura pro atomovou energii (MAAE), anglicky: International Atomic Energy Agency, (IAEA) na přípravě a při realizaci mezinárodních nařízení,
- spolupracovat se zeměmi Společenství nezávislých států s cílem vytvoření programů zaměřených na odstranění nelegálního přepracování jaderných materiálů,
- vést aktivní činnost k utváření legislativy v zemích využívajících jaderné reaktory s cílem zvýšení bezpečnosti těchto zařízení,
- uplatňovat a uzavírat dohody o jaderném obchodu (Nuclear Trade Agreements), výzkumu a rozvoji (Nuclear E&D cooperation programmes) se třetími zeměmi a mezinárodními organizacemi.

12.4. Zelená kniha

V roce 2000 vznikla Zelená kniha, zabývající se zabezpečením zásobování energií. V roce 2006 byla přepracována Zelená kniha formulující Evropskou strategii pro udržitelnou, konkurenceschopnou a bezpečnou energii. Bylo to dáno nárůstem poptávky po energiích. Cílem bylo vytvořit vnitřní evropský trh s elektřinou a plynem s možností nakupovat elektřinu a plyn od kohokoliv z dodavatelů EU. Snahou je zaručit spolupráci a solidaritu mezi členskými státy

EU. Snaha o obdobu autonomní mezinárodní organizace IEA, založené roku 1974, která je součástí Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj anglicky Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Sídlem organizace OECD je Paříž. Česká republika se stala členem IEA v roce 2001 Dohodou o Mezinárodním energetickém programu, zákonem č. 46/2001 SB. Z důvodu propojení energetických systémů je nutná spolupráce EU s tranzitními zeměmi a producenty. Za tímto účelem vzniklo Evropské sdružení podnikatelů v energetice (EFET). Má zajistit obchodování s energiemi.

12.5. Sekundární legislativa

Sekundární legislativa zabývající se evropským energetickým trhem je zaměřena na: elektřinu, ceny, tranzit plynu, tranzit elektřiny, tranzit uhlovodíků, licenční činnost, jadernou energetiku a environmentální pravidla (acquis communautaire obsahuje desítky směrnic a nařízení pro oblast životního prostředí, z nichž je polovina uvedena v Bílé knize).

Acquis spojené s jadernou energií je utvářena v právních dokumentech a mezinárodních smlouvách, zabývajících se bezpečností a ochranou zdraví, ochranou před ozářením, bezpečností provozu jaderných zařízení, nakládání s jadernými odpady, společným trhem, výzkumem a mezinárodními vztahy.

Vznikla organizace Technical Assistance Information Exchange Office, která chce podávat acquis informace v rámci celého společenství.

Byly vydány směrnice i na odpady, paliva, ovzduší, uhelný průmysl, těžbu paliv, transevropské energetické sítě.

Nařízení EU dneska jsou vydávána i pro krizová opatření, například povinné zásoby v souladu IEA.

Mnoho nařízení zajišťuje sledování trhu a tvorbu cen energií s cílem volného obchodu.

Evropská komise zavedla jednotné energetické standardy a smlouvy obsahující obchody: s plynem, uhlovodíky, elektřinou.

V roce 1951 vznikla organizace Union for the coordination of production and transmission of electricity (UCPTE), která sdružuje státy z bývalé západní Evropy a Velké Británie a státy propojené energetickou soustavou (CENTREL).

CENTREL vznikla v roce 1992 z důvodu zlepšení spolupráce Maďarska, Polska, ČR a Slovenské republiky pro zajištění převzetí standardů z důvodu připojení se k síti UCPTE.

Tato legislativa se dotýká a má vliv i na jadernou energetiku.

12.6. Programy obsahující energetiku

12.6.1. ALTENER

Byl zaměřen od roku 1993 na obnovitelné zdroje.

12.6.2. CARNOT

Tento program se od roku 1998 zabýval využíváním příznivějších technologií při výrobě energie z pevných paliv.

12.6.3. SAVE

Zaměření programu bylo na zlepšení účinnosti při spotřebě energie.

12.6.4. SYNERGY

International Energy Cooperation Programme se zaměřoval na mezinárodní spolupráci a na prosazování zájmů společenství spolu s prosazováním vlivu evropského společenství v celosvětové energetické oblasti.

Hlavní zaměření na :

- pomoc regionům a zemím při v prognózách a plánování jejich energetických potřeb,
- pomoc se začleňováním energetické politiky společenství, se spoluvytvářením energetických center, podílejících se na středně a dlouhodobé energetické politice.

Další pomoc je v přidělení finančních prostředků do projektů THERMIE Europae. a PHARE zemím střední a východní Evropy pro zajištění:

- utvoření center podílejících na začleňování evropské energetické politiky ve středně a dlouhodobých energetických plánech,
- vytváření energetické legislativy v daných zemích,
- společné příhraniční projekty (nepokrytých ostatními projekty):
 - zaškolování pracovníků, kteří se podílejí na vytváření plánování v oblasti energetiky,
 - poskytování informací a školení o obnovitelných a alternativních zdrojích energie,
 - technické zabezpečení ministerstev zaměřených na energetiku jednotlivých zemí střední a východní Evropy.

12.6.5. PHARE

Evropský parlament a Rada EU dle rozpočtových pravidel stanovila rozpočet PHARE. Evropská komise pak rozhodovala o přidělení prostředků jednotlivým státům. Vlády zemí po projednání s Evropskou komisí podepisovaly indikativní programy a potom připravovaly finanční rozpracované návrhy, které byly předkládány Řídícímu výboru PHARE. Každá země, která chtěla spolupracovat a čerpat podporu z programu PHARE, měla národního koordinátora PHARE, který dohlížel na činnost řídicích jednotek PHARE Management Units (PMU) na jednotlivých resortech, odpovídajících za prováděné projekty.

V roce 1990 vznikl program PHARE s cílem napomoci rozvojem zemím, a to hlavně Polsku a Maďarsku. Tento program byl rozšířen i na další země střední a východní Evropy mimo země bývalého Svazu sovětských socialistických republik, kterým byl určen program TACIS.

V roce 1990 se do programu PHARE zapojilo i Československo. Program byl velmi náročný (z důvodu dosavadní nezkušenosti pracovníků ze strany žadatelů a z důvodu složitého procesu schvalování).

Jednalo se o regionální a národní programy. Programy, kterých se zúčastnilo více zemí s programy příhraniční spolupráce.

Zaměření těchto programů bylo i na jadernou energetiku a životní prostředí (odsíření uhelných elektráren, modernizaci jaderných elektráren s možností prodloužení jejich provozování s cílem zabezpečení požadovaných standardů).

Pomoc byla zaměřena na:

- metodiku, konzultace, studie, zaškolování (know-how),
- finanční dotace, pomoc při získání úvěrů (investiční nástroje).

13. PRÁVNÍ PŘEDPISY O BEZPEČNÉM NAKLÁDÁNÍ S RAO, RAO Z VJP A VJP KE VZTAHU K MEZINÁRODNÍMU A EVROPSKÉMU PRÁVU.

Česká republika se zavázala vstupem do Evropské unie plnit směrnici Rady 2011/70/EUROATOM zajistit ukládání produktům z jaderných elektráren s cílem možného budoucího přepracování těchto produktů. Dále se zavázala skoro pěti sty dvoustrannými dohodami mezi státy a třemi sty mezinárodními (vícestrannými) smlouvami na principu rovného zacházení ve vztahu k využívání jaderné energie pro mírové účely. Dále Česká republika se dohodla se subjekty mezinárodního práva nejčastěji používaným pramenem mezinárodního práva dokumentem s mezinárodními účinky: - smlouvami, - úmluvami, - dohodami, - protokoly, - konvencemi, - statuty, - pakty, - chartami. Název nemá žádný vliv na mezinárodně právních účinky. Nepatří sem však dohody, někdy nazývané džentlmenské, které uzavírá představitel státu pouze jako vlastní fyzická osoba a ne osoba uzavírající dohodu za stát a potom stát tato dohoda nezavazuje. Taktéž podobně nezavazují politická ujednání, kdy státy se dohodly jim mezinárodně právní účinky nepřiznat (Postupimská dohoda, Jaltská dohoda ...). Mezinárodní smlouvy v písemné formě mohou být v jednom dokumentu, nebo v několika dokumentech. V okamžiku podpisu mají mezinárodní platnost, ale mezinárodní účinnost mají až po ratifikaci schválení státním parlamentem. V mezinárodním dokumentu může mít výhradu některé ze stran, že určitá část daného dokumentu vůči ní neplatí. Mírové smlouvy z roku 1648 (Vestfálský mír) je založen na stejných obsahových dokumentech předtím válčících stran., 1918 (mírové smlouvy podepsané ve Versailles u Paříže ve Francii) je založen na dvoustranných dokumentech ne zcela obsahově stejných. Do Vídeňské úmluvy o smluvním právu byly v roce 1969 doplněny mezinárodní obyčeje, které však platí jen pro písemné formy smluv. Jiná forma mezinárodních smluv se nadále řídí mezinárodním obyčejovým právem.

13.1. Vztah k mezinárodnímu právu

K mezinárodním smlouvám, které se vztahují k právním předpisům o bezpečném nakládání s vyhořelým palivem a radioaktivním odpadem Česká republika přistoupila prostřednictvím legislativy obsahující jadernou problematiku (zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon), nebo přímo řadou mezinárodních smluv a dvoustranných smluv. Státní úřad pro jadernou bezpečnost má všechny tyto smlouvy na stránkách www.sujb.cz.

Kontrola plnění smluv ze strany České republiky ohledně úmluv o bezpečnosti při nakládání s vyhořelým palivem a radioaktivními odpady a hodnocení na mezinárodní úrovni probíhá opakujícími se pravidelnými zasedáními na základě předložených dokumentů smluvními stranami.

Hlavním dokumentem vztahující se k bezpečnosti při nakládání s vyhořelým palivem a radioaktivními odpady je Vídeňská úmluva a odpovědnost za jaderné škody. Česká republika, Bulharsko, Estonsko, Litva, Maďarsko, Polsko a Slovensko podepsaly a ratifikovaly Vídeňské úmluvy z r. 1963 a Společného protokolu, týkajícího se uplatňování Vídeňské úmluvy a Pařížské úmluvy z r. 1988. Česká republika, Litva, Maďarsko, Polsko v roce 1997 podepsaly, ale neratifikovaly protokol, v němž se doplňuje Vídeňské smlouva. Úmluvu o dodatečné kompenzaci za jaderné škody z roku 1997, která ovšem nebyla legislativou těchto států doposud ratifikována, podepsala Česká republika a Litva. Lotyšsko a Rumunsko podepsalo a ratifikovalo Vídeňskou úmluvu ze 70. let, Společný protokol, týkajícího se uplatňování Vídeňské úmluvy a Pařížské úmluvy z roku 1988 a Úmluvu o dodatečné kompenzaci za jaderné škody z roku 1997 podepsalo a ratifikovalo jen Rumunsko. Nutno poznamenat, že Úmluva o dodatečné kompenzaci doposud nenabyla účinnosti.

Pařížskou úmluvu z r. 1960, Bruselskou úmluvu z roku 1963, Protokol, kterým se mění Pařížská úmluva (2004) a Protokol, kterým se mění Bruselská úmluva (2004); podepsaly: **Belgie, Dánsko, Finsko, Francie, Itálie, Německo, Nizozemí, Slovinsko, Švédsko a Spojené království Velké Británie a Severního Irsku**. Protokoly z let 2004 však tyto státy neratifikovaly. Dánsko, Finsko, Itálie, Německo, Nizozemí, Slovinsko a Švédsko ratifikovaly Společný protokol, týkající se uplatňování Vídeňské úmluvy a Pařížské úmluvy z r. 1988. Belgie, Francie, Španělsko a Spojené království Velké Británie a Severního Irsku podepsaly Společný protokol, týkající se uplatňování Vídeňské úmluvy a Pařížské úmluvy z r. 1988, ale neratifikovaly. Portugalsko podepsalo Pařížskou úmluvu z roku 1960, Společný protokol týkající se uplatňování Vídeňské úmluvy a Pařížské úmluvy z r. 1988 a protokol, kterým se v roce 2004 měnila Pařížská úmluva. Uvedené úmluvy však **Portugalsko** neratifikovalo. Řecko podepsalo Pařížskou úmluvu v roce 1960, a Protokolu, kterým se měnila v roce 2004 Pařížská úmluva. Protokol, kterým se doplnila v roce 2004 Pařížská úmluva, **Řecko** neratifikovalo. Řecko podepsalo a ratifikovalo Společný protokol, uplatňování Vídeňské úmluvy a Pařížské úmluvy z r. 1988. Španělsko podepsalo

v roce 1960 Pařížskou úmluvu a v roce 1963 Bruselskou úmluvu a dále podepsalo Protokol, kterým se mění Pařížská úmluva (2004) a podepsalo Protokol, kterým se mění Bruselská úmluva (2004). Ratifikovalo však jen Protokol, kterým se měnila Bruselská úmluva.

Irsko, Kypr a Malta nepodepsaly dosud žádnou z uvedených v této kapitole smlouvu.

Lucembursko a Rakousko podepsalo v roce 1960 Pařížskou úmluvu a v roce 1963 Bruselskou úmluvu, ale ani jednu úmluvu neratifikovalo. Rakousko si vytvořilo vlastní právní předpisy pro odpovědnost za jaderné škody, které jsou neslučitelné se zásadami mezinárodních smluv.

13.2. Vztah k evropskému právu

Úmluva o dodatečné kompenzaci za jaderné škody z roku 1997, by měla docílit lepší právní jistoty při případném odškodnění v případě jaderné havárie. Snahou je zavázat státy k odpovědnosti bez ohledu na dosud závazné právní závazky z ostatních právních aktů a uložit finanční prostředky minimálně v částce 450000000 USD, což představuje 300000000 SDR (Speciál Drawing Rights – Zvláštní Práva Čerpání – Měnová jednotka pro mezinárodníreverzní aktiva sloužící jako účtovací jednotka pro členské státy Mezinárodního měnového fondu a Světovou banku. Je tvořena z USD, EURO, JPY, GBP. Přepočít se pohybuje kolem 1 SDR = 1,5 USD). Finanční prostředky by měly být okamžitě v případě jaderné havárie k náhradám za škody z jaderné havárie. Tato úmluva je podmíněna ratifikací minimálně pěti státy, mající ve státě na území umístěná jaderná zařízení o určitém minimálním instalovaném výkonu. Tato podmínka ratifikace uvedenými státy zatím nebyla splněna.

Protokol měnící Vídeňskou úmluvu z roku 1997 tak významně zvýšil dolní limit odpovědnosti provozovatele za škodu minimálně na 225000000 USD, což představuje 150000000 SDR¹, v případě že do částky 450000000 USD, což představuje 300000000 SDR, že se zaručí stát poskytnout náhradu z veřejných prostředků. Protokol vstoupil v platnost 3. října 2003. Doposud ho však Česká republika a ani žádný další stát provozující na svém území jadernou elektrárnu neratifikoval.

Uvedená Úmluva o dodatečné kompenzaci za jaderné škody z roku 1997 a Protokol měnící Vídeňskou úmluvu z roku 1997 limity zajišťující odškodnění jaderné havárie zpřísňují a proto je dosud žádné státy mající na svém území jaderná zařízení neratifikovaly. V případě ratifikace by muselo dojít ke změně v

zákoně č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon).

13.3. Soulad zákona č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomovém zákonu) s právem EU

Nejvýznamnější smlouvou je smlouva EURATOM a sekundární předpisy. Pravidly pro zajištění sjednocení úrovně ochrany před zářeními a bezpečností přepravy štěpných materiálů a radioaktivních látek se zabývá oblast: - bezpečností a ochrana zdraví pracovníků a obyvatel, - zásobováním jaderným materiálem, - systém záruk.

Oblastí jaderné bezpečnosti a oblastí radioaktivních odpadů byly sjednocovány nezávaznými předpisy.

V roce 2003 Evropská komise připravila dvě směrnice. Je to směrnice Rady určující povinnosti a obecné principy jaderné bezpečnosti jaderných zařízení. Druhou je směrnice Rady o bezpečném nakládání s vyhořelým jaderným palivem a radioaktivními odpady. V rámci legislativního procesu byl návrh směrnic Evropskou komisí předložen Sekretariátu Rady. Většina členských států s navrženým textem směrnic nesouhlasila, přesto Evropská komise upravené návrhy směrnic nestáhla. V roce 2004 Rada přijala k uvedené problematice Závěry, které se probíraly v Pracovní skupině pro jaderné otázky ustavené při Radě Evropské Unie.

13.3.1. Oblast ochrany zdraví a bezpečnosti pracovníků a obyvatelstva

Právní předpisy uvedené byly kompletně transponovány předpisy ES/EUROATOM novelizováním prováděcích předpisů zákona č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon). Nedostatky byly později odstraněny novelizací zákona č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) zákonem č. 13/2002 Sb., Dotčení se týkalo převážně směrnice 96/29/Euratom, kterou se stanovily základní bezpečnostní standardy na ochranu zdraví pracovníků a obyvatelstva před riziky vyplývajícími z ionizujícího záření a směrnice 97/43/Euratom o ochraně zdraví osob před riziky vyplývajícími z ionizujícího záření v souvislosti s lékařským ozářením.

13.3.1.1. Standardizace radiační ochrany

Základní principy radiační ochrany jsou ve směrnici Rady 96/29/Euratom, která stanovuje základní bezpečnostní standardy na ochranu pracovníků a obyvatel před riziky vyplývajícími z ionizujícího záření. Ochranou jednotlivců před riziky ionizujícího záření v souvislosti s lékařským ozářením se zabývá směrnice Rady 97/43/Euratom. Monitorováním úrovně radioaktivity v prostředí pro účely hodnocení expozice jako celku se zabývá doporučení Komise 2000/473/Euratom. Ochranou před ozářením radonem v budovách se zabývá Doporučení Komise 90/143/Euratom.

13.3.1.2. Radiační průkazy a ochrana smluvních pracovníků

Operativní ochranou smluvních pracovníků vystavených riziku ionizujícího záření při jejich činnostech v kontrolovaných pásmech se zabývá směrnice Rady 90/641/Euratom.

13.3.1.3. Přeprava radioaktivních odpadů a radioaktivních látek

Dozorem nad přepravou radioaktivního odpadu mezi členskými státy a do Společenství a ze Společenství a o její kontrole se zabývá Směrnice Rady 92/3/Euratom. Zásilkami radioaktivních látek mezi členskými státy se zabývá Nařízení Rady č. 1493/93 (Euratom). Na základě Sdělení Komise, COM (98)778 a podle implementační plán nařízení rady č. 1493/93 (euratom) o přepravě radioaktivních látek mezi členskými státy vydal SÚJB České republiky bezpečnostní návod bn-jb-1.13 k přepravě radioaktivních látek.

13.3.1.4. Poskytování informací o mimořádné radiační situaci

O opatření zaměřených na včasnou výměnu informací v případě radiační situace se zabývá rozhodnutí Rady č. 87/600 (EURATOM). Směrnice Rady 89/618 (EURATOM) se zabývá o informování veřejnosti o opatřeních k ochraně zdraví a o krocích, které je potřeba podniknout v případě radiační havárie Směrnice Rady 85/337/EHS se zabývá posuzováním vlivů některých veřejných a soukromých záměrů na životní prostředí.

13.3.1.5. Maximální povolené úrovně radioaktivní kontaminace potravin, krmiv a pitné vody

Nařízení Rady č. 3954/87 (EURATOM), kterým se stanovují nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace pro potraviny a krmiva následně po

jaderné nehodě nebo jiném případě radiační mimořádné situace. Nařízení komise (EURATOM), kterým se stanoví nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace méně významných potravin po jaderné havárii nebo jiném případě radiační mimořádné situace. Nařízení Rady EHS (Evropské hospodářské společenství) č. 2219/89 se zabývá zvláštními podmínkami pro vývoz potravin a krmiv po jaderné havárii nebo jiném případě radiační mimořádné situace. Nařízení Rady (EHS) č. 737/90 se zabývá podmínkami dovozu zemědělských produktů pocházejících ze třetích zemí po havárii jaderné elektrárny v Černobyli. Nařízení Rady č. 686/95(EG) rozšiřující nařízení Rady (EHS) č. 737/90 se zabývá podmínkami, kterými se řídí dovoz zemědělských produktů s původem ve třetích zemích po havárii jaderné elektrárny v Černobyli. Směrnice Rady 98/83 ES o jakosti vody určené k lidské spotřebě.

13.3.2. Zásobování jadernými materiály

Ve statusu Zásobovací Agentury Euratom jsou dána pravidla pro nabídky a poptávky rud, výchozích materiálů a zvláštních štěpných materiálů.

Hodnocení současného stavu.

Nařízením vlády ze dne 1. 1. 2001 se odstranil nesoulad vyplývající ze Smlouvy EUROATOM a zrušilo se tak omezení dovozu uranu, kdy předtím se k výrobě jaderného paliva omezovala Česká republika na trh s přírodním uranem z České republiky.

13.3.3. Systém záruk

Dohoda 78/164/Euratom obsahuje zvláštní závazek přijatý Společenstvím, který se týká uplatňování záruk na výchozí a zvláštní štěpné materiály v členských státech, které nedisponují vlastními jadernými zbraněmi, a které jsou smluvními stranami Smlouvy o nešíření jaderných zbraní. Postupy stanovené dohodou 78/164/Euratom jsou výsledkem rozsáhlých mezinárodních jednání s Mezinárodní agenturou pro atomovou energii o provádění čl. III odst. 1 a 4 Smlouvy o nešíření jaderných zbraní. Tyto postupy schválila Rada guvernérů agentury. Nařízení komise (Euratom) č. 220/90, kterým se mění nařízení Komise (Euratom) č. 3227/76 ze dne 19. října 1976 o uplatňování ustanovení o systému záruk Euratomu

Hodnocení současného stavu

Vstupem České republiky do Evropské unie se záruky České republiky nahradily zárukami platnými v režimu Evropské unie upravenými přímo

aplikovatelnými právními akty. Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) nevyžadoval v této oblasti žádnou změnu.

13.3.4. Jaderná bezpečnost

Navržená směrnice Rady (EURATOM) a úmluva nemá specifikované standardy jaderné bezpečnosti. Snahou je v Evropské unii kontrolovat vylepšování technických bezpečnostních zařízení určované MAAE¹ v rámci programu NUSS³. Směrnice však ukládá vytvořit legislativu v souladu s úmluvou podle, které mají členské státy odpovědnost za jadernou bezpečnost a zajistit tak radiační ochranu provozovaného jaderného zařízení i po skončení provozu a zajistit potom i bezpečnou likvidaci jaderného zařízení. Směrnice musí obsahovat kontrolu a dohled nad celou činností související s přípravou, provozem a likvidací nezávislými orgány.

Hodnocení současného stavu

Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) obsahuje závazky z úmluv o jaderné bezpečnosti. Nově připravovaná směrnice musí stanovit nová pravidla z důvodu rozšíření působnosti směrnice na všechna jaderná zařízení a také musí stanovit oprávnění pro kontrolní a dozorné činnosti související se specializovanými zřízenými orgány.

13.3.5. Radioaktivní odpady

Nově navržená směrnice Rady (EURATOM) ukládá členským státům vypracovat Dlouhodobé národní programy nakládání s radioaktivními odpady a nevylučuje při tom vzájemnou kooperaci mezi členskými státy. Lze tedy podle návrhu radioaktivní odpady převážet ke zpracování i konečnému ukládání ve státech, které k tomu mají podmínky.

Hodnocení současného stavu

Současné znění zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) neodporuje zásadám bezpečnosti požadované úmluvou. Nová směrnice si však vyžádá novelu zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) danou případně možnou spoluprací Evropské unie a dalším států. Uvedený atomový zákon dovoz

¹ MAAE - Mezinárodní agentura pro atomovou energii nezávislou mezivládní organizací v systému OSN pro vědu a technologii v oblasti mírového využívání jaderné energie.

³ NUSS - Nuclear Safety Standards.

radioaktivních odpadů na území České republiky zakazuje (§ 5 odst. 3) a vývoz do států Evropské unie nevylučuje (§ 5 odst. 6).

14. DOPORUČENÍ PRO OPTIMALIZOVANÝ POSTUP V ČR

Zadat, sledovat, vyhodnocovat získané informace s cílem co nejdříve vybrat 2 vhodné lokality a doložit následně vhodnost jedné lokality pro umístění hlubinného úložiště. Do rozhodování zapojit informovanou, motivovanou veřejnost. Zajistit přípravu, vzdělávání, informovanost všech občanů. Do oblasti přepracování a skladování RAO a VJP zapojit výzkumné pracovníky, vysokoškolských odborníky, obchodní a inženýrské společnosti. Podporovat zahraniční spolupráci. Sledovat a zkoušet možnosti přepracování VJP v zahraničí. Sledovat možnosti uložení v hlubinných úložištích v nerizikových zemích. Sledovat licence, trendy přebírat zkušenosti ze zahraničí. Snažit se získávat finanční prostředky a uložené prostředky dobře zhodnocovat.

Zahájit prověřování možností redukce VJP.

Prověřit možnost zadání na přepravní, obalové a úložné soubory s cílem unifikace i pro nové potřeby případně postavených nových bloků.

Připravit se na možnost budování nových skladovacích suchých skladů v prostorách EDU a ETE s pojených s připravovanou výstavbou nových jaderných reaktorů.

Snažit se minimalizovat a trvale zneškodňovat RAO a VJP bez zbytečného prodlužování skladováním v suchých skladech.

Připravit dokumentaci pro výstavbu podzemní laboratoře pro ověření a doložení bezpečnosti hlubinného úložiště do roku 2030.

Zahájit výstavbu hlubinného úložiště do roku 2050.

Zahájit provoz hlubinného úložiště v roce 2065.

Upravit zadání na výzkumné a vývojové práce na úložné obalové soubory s cílem možného vynětí trvale uložených obalových souborů z trvalého hlubinného úložiště s možností další přepravy k přepracování VJP po dobu minimálně 1000 let.

Zajistit vybraná kaolínová ložiska okolo Karlových Varů a v dalších lokalitách pro zajištění těsnících materiálů spojených s ukládáním VJP v hlubinných úložištích.

Provést změna legislativy, tak aby sklady s RAO a VJP se kterým se musí již po uložení do OS po vyjmutí z jaderného reaktoru a uložení do OS zacházet jako s RAO spravoval ten, kdo spravuje sklady s RAO. Nečekat podle současné legislativy na to, až obchodní společnost prohlásí VJP za odpad, protože potom se už zase tak jednoduše z legislativního hlediska nebude moci prohlásit RAO za

15. ZÁVĚR

Práce shromažďuje a hodnotí podstatné informace, pro stanovení požadavků na výzkum a vývoj s cílem perspektivně optimalizovat technologii skladu vyhořelého paliva.

Jsou zde rozebrané činnosti spojené s palivovými cykly jaderných elektráren. To znamená od výroby jaderného paliva, až po případné trvalé uskladnění RAO, RAO z VJP a VJP.

Žádná lidská činnost se neobejde bez vlivů na životní prostředí a lidi a proto práce posuzuje účinky činnosti spojené s výrobou jaderné energie a podstatné důležité parametry jsou zde posouzeny s cílem ochránit osoby od radiačního vlivu úložišť RAO a VJP.

Předchozí kapitoly jsou rozděleny do 13 částí. První 4 kapitoly se zabývají palivovými cykly jaderných elektráren, chladicími bazény VJP, suchými mezisklady VJP a skladováním VJP VVER. Další dvě kapitoly posuzují možný vliv z provozu jaderných elektráren na životní prostředí a případně možné biologické účinky záření. Kapitola 7. až 9. se zabývá nakládáním s RAO z VJP a VJP, dále se zabývá současným stavem příprav budování hlubinného úložiště RAO, RAO z VJP a VJP a optimální technologií trvalého skladu VJP.

Každá činnost je svázána s mnoha právními předpisy od nejvyšší právní síly, jako jsou ústavní zákony, zákony, nařízení vlády vyhlášky ministerstev a ústředních státních orgánů až po právní předpisy norem, se kterými musí být všechna činnost v souladu. Protože se práce zabývá možnostmi ukládání RAO, RAO z VJP a VJP je tato činnost jak dokládá práce spojena s velkým množstvím právních předpisů uvedených v posledních 4 kapitolách. Ty se zabývají právní legislativou energie do roku 1990 na území ČR, SR a právní legislativou jaderné energie od roku 1992 v ČR. Dále je zde kapitola zabývající se legislativou energetické politiky evropského společenství a právní legislativa zabývající se bezpečným nakládáním s RAO, RAO z VJP a VJP ke vztahu k mezinárodnímu a evropskému právu.

Trvalé uložení RAO, RAO z VJP a VJP a případná bezpečná likvidace jaderné elektrárny po ukončení provozu jaderné elektrárny představuje sice poslední etapu, ale z hlediska radiační bezpečnosti sebou přinese vysoké nároky na technická řešení. Zatím neexistuje ověřený mezinárodně porovnatelný systém řešení trvalého uložení vysoce aktivních odpadů vzniklých z VJP. EU způsob řešení ponechává v kompetenci státu, ale ukládá jim zajistit přepracování případně

ukládaného VJP. Volnost států zůstává v tom, že členské státy mohou využívat i závody na přepracování mimo svoje území a taktéž pro ukládání RAO z VJP mohou budovat společná zařízení na území jednoho státu, který musí zaručit nakládání s VJP v souladu s právními předpisy EU. Je zde řešena problematika ukládání vysoce aktivních odpadů spojená s financováním této činnosti. V ČR je zřízen jen jeden účet pro budoucí zajištění ukládání vysoce aktivních odpadů, který je pod kontrolou státu. Je nutné však zajistit kontrolu nad vytvářením rezerv pro uskladnění materiálu po uzavření JE.

Jsou zde popsány možné alternativy dlouhodobého skladování VJP v suchých skladech na EDU a ETE, nebo je zde popsána možnost nechat přepracovat VJP v zahraničí a uložit zbylý RAO v hlubinném úložišti v ČR. Dále je zde uvedena alternativa uložení VJP a RAO do mezinárodního úložiště a také jsou zde posány možné způsoby přímého uložení VJP do hlubinného úložiště na území ČR v ÚOS v horizontální a vertikální poloze. Uvádí se zde možnosti snížení množství VJP před uložení. Dizertace navrhuje legislativní cestu, která by pomohla technicky řešitelný problém využívat i za současných ekonomických podmínek včetně činností, kde stát převzal odpovědnost za bezpečné ukládání radioaktivních produktů z jaderných zařízení a z dalších zařízení, využívajících ionizující záření.

V Bílé knize, kterou vydala Evropská komise v roce 2000, je uloženo členským zemím Evropské unie zajistit ukládání produktů z provozu jaderných elektráren s cílem možného budoucího přepracování těchto produktů. K tomuto nabádá směrnice Rady 2011/70/EURATOM. Z tohoto důvodu práce obsahuje technická a legislativní řešení s cílem zabezpečit přepracování VJP v případě nulové varianty ukládáním v povrchových skladech JE. Při uložení nepřepřacovaného VJP do hlubinných úložišť se navrhuje řešení s možností následného vynětí a vyvezení VJP z hlubinného úložiště k přepracování.

Zajištění ochrany životního prostředí je dokumentováno jak možnostmi technickými, tak i upozorněními na povinnost dodržovat právní předpisy nejen technické, ale i legislativní, které musí být v souladu s Ústavním zákonem č. 1/1993 Sb., Ústavou ČR („Stát dbá o šetrné využívání přírodních zdrojů a ochranu přírodního bohatství“) a Ústavním zákonem č. 2/1993 Sb., Listinou základních práv a svobod (...nesmí být životní prostředí ohroženo, poškozeno).

Práce dokladuje, že současná koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem bez změny právní legislativy jen obtížně zabezpečují vytvoření ukládání VJP v hlubinných úložištích. Důkazem toho je, že

nebyla nalezena hlavní a ani záložní zájmová oblast do roku 2015 pro územní plány pro hlubinné úložiště v souladu s výsledky pro nalezení lokality s nejlepšími geologickými podmínkami z důvodu negativních stanovisek obcí k umístění hlubinného úložiště, které následně na pět let zastavily průzkumné práce na vybraných lokalitách.

16. CONCLUSION

Work collects and evaluates relevant information to determine requirements for research and development in order to optimize the technology perspective spent fuel storage facility.

There are dismantled activities associated with the fuel cycle of nuclear power plants. This means the production of nuclear fuel, to a possible permanent storage of radioactive waste, spent nuclear fuel and radioactive waste from spent nuclear fuel.

No human activity is not without impact on the environment and humans, and therefore work assesses the effects of the activities linked to the production of nuclear energy and relevant important parameters are assessed in order to protect people from radiation impact of radioactive waste and spent nuclear fuel storage.

Previous chapters are divided into 13 parts. The first four chapters deal with the fuel cycle of nuclear power, cooling pools of spent nuclear fuel, interim storage of spent nuclear fuel dry storage of spent nuclear fuel and reactors. The next two chapters assess the possible influence of nuclear plants on the environment and, where appropriate, possible biological effects of radiation. Chapter 7 to 9 deals with the management of spent nuclear fuel and radioactive waste from spent nuclear fuel, discusses the current state of preparations for building a radioactive waste repository, spent nuclear fuel and radioactive waste from spent nuclear fuel and technology optimum permanent storage of spent nuclear fuel.

Each activity is tied to a number of laws from the highest legal force, such as constitutional law, statutes, regulations, government decrees ministries and central government bodies to legislation standards with which all must work in harmony. As the work deals with possibilities of storing radioactive waste, spent nuclear fuel and radioactive waste from spent nuclear fuel this activity as evidenced by the work associated with a large amount of legislation mentioned in the last 4 chapters. These deal with the legal regulations of energy by the year 1990, the Czech Republic, Slovakia and legal regulations of nuclear energy since 1992 in the Czech Republic. Then there is a chapter dealing with legislation in the energy policy of the European community legislation and legislation dealing with the safe handling of radioactive waste, spent nuclear fuel and radioactive waste from spent nuclear fuel to the respect of international and European law.

Permanent storage of radioactive waste, spent nuclear fuel and radioactive waste from spent nuclear fuel and eventual safe disposal of nuclear power after the closure of the nuclear power plant poses while the last stage, but in terms of radiological safety will bring high demands on technical solutions. Meanwhile, there is an internationally proven system solutions of permanent disposal of high level waste arising from spent nuclear fuel. EU way of solving retains the responsibility of the state, but obliges them to ensure that the reprocessing of spent nuclear fuel possibly saved. Freedom of states remains that Member States can use and reprocessing plants outside their territory, and also for storage of radioactive waste from spent nuclear fuel can build communal facilities on the territory of a state which must guarantee the disposal of spent nuclear fuel in accordance with EU legislation. There is solved the problems of storing highly radioactive waste associated with the financing of this activity. The Czech Republic is set up only one account for future secure storage of highly radioactive waste, which is under state control. It is necessary, however, to ensure control over the creation of reserves for material storage after the conclusion of the NPP.

It also described a possible alternative long-term storage of spent nuclear fuel in dry storage at EDU and ETE, or described herein opportunity to revise the SNF abroad and store the remaining radioactive waste in deep geological repository in the Czech Republic. There is indicated alternative to storing spent nuclear fuel and radioactive waste into an international repository and are described below in possible ways of direct storage of spent nuclear fuel in a deep geological repository in the Czech Republic in the UOS in horizontal and vertical position. It shows the possibility of reducing the amount of spent nuclear fuel before storing. Dissertation proposes a legislative path that would help exploit technically solvable problem even under current economic conditions, including activities where the state assumed responsibility for the safe disposal of radioactive products of nuclear facilities and other facilities using ionizing radiation.

The White Paper published by the European Commission in 2000, is saved to EU member states to ensure the storage of products from nuclear power plants with a view to possible future revision of these products. This encourages the Council Directive 2011/70 / Euratom. For this reason, the work includes technical and legislative solutions in order to ensure reprocessing in case of no-action alternative storage in surface storage NPP. When nepřeracovaného storing spent

nuclear fuel in deep geological repositories are proposing a solution with subsequent deletion and removal of spent nuclear fuel repository for revision.

Ensure environmental protection is documented as technical capabilities, as well as warnings to the obligation to follow the law, not only technical, but also the legislative, which must be in accordance with the Constitutional Law no. 1/1993 Coll., Constitution of the Czech Republic ("The State shall attend to a prudent utilization natural resources and protection of natural assets ") and the Constitutional Act no. 2/1993 Coll., Charter of Fundamental Rights and Freedoms (... should not be threatened by the environment, damage).

Labour declares that the current concept of radioactive waste and spent nuclear fuel without changing the effective legislation is difficult to create a secure storage of spent nuclear fuel in hlubiných repositories. Proof of this is that it was found the main nor the backup area of interest in 2015 for zoning plans for a deep repository in accordance with the results to find the locations with the best geological conditions due to the negative opinions municipalities for a deep repository that followed for five years, halted exploration Work at selected locations.

17. ZUSAMMENFASSUNG

Arbeit sammelt und auswertet relevanten Informationen, Anforderungen für Forschung und Entwicklung, um die Technik zu optimieren Perspektive bestimmen Lager für abgebrannte Brennelemente.

Es zerlegt Aktivitäten mit dem Brennstoffkreislauf von Kernkraftwerken verbunden. Das bedeutet, die Produktion von Kernbrennstoff, auf eine mögliche dauerhafte Lagerung radioaktiver Abfälle, abgebrannte Brennelemente und radioaktiver Abfälle aus abgebrannten Kernbrennstoffen.

Keine menschliche Tätigkeit ist nicht ohne Auswirkungen auf die Umwelt und den Menschen, und damit der Arbeit beurteilt die Auswirkungen der Aktivitäten auf die Erzeugung von Kernenergie und relevante wichtigen Parametern verknüpft sind, um die Menschen vor Strahlung Auswirkungen radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente der Lagerung zu schützen bewertet.

Zurück Kapitel sind in 13 Teile geteilt. Die ersten vier Kapitel befassen sich mit dem Brennstoffkreislauf von Kernkraft, Kühlbecken für abgebrannte Brennstoffe, Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente Trockenlagerung abgebrannter Brennelemente und Reaktoren. Die nächsten beiden Kapitel Beurteilung des möglichen Einflusses von Kernkraftwerken auf die Umwelt und gegebenenfalls mögliche biologische Wirkung der Strahlung. Kapitel 7 bis 9 befasst sich mit der Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle aus abgebrannten Kernbrennstoffen, diskutiert den aktuellen Stand der Vorbereitungen für den Bau eines Endlagers für radioaktive Abfälle, abgebrannte Brennelemente und radioaktiver Abfälle aus abgebrannten Kernbrennstoffen und Technologie eine optimale dauerhafte Lagerung abgebrannter Brennelemente.

Jede Aktivität ist mit einer Reihe von Gesetzen aus der höchsten Rechtskraft wie Verfassungsrecht, Statuten, Reglemente, Regierungserlasse Ministerien und Stellen der Zentralregierung zu Recht Standards, mit dem alle in Harmonie arbeiten gebunden. Da die Arbeit beschäftigt sich mit Möglichkeiten der Lagerung radioaktiver Abfälle, abgebrannte Brennelemente und radioaktiver Abfälle aus abgebrannten Kernbrennstoffen diese Aktivität, wie durch die Arbeit mit einer großen Menge von Rechtsvorschriften in den letzten 4 Kapiteln erwähnt verbunden sind belegt. Diese befassen sich mit den gesetzlichen Bestimmungen des Energie im Jahr 1990 in der Tschechischen Republik, der Slowakei und gesetzlichen Bestimmungen der Kernenergie seit 1992 in der Tschechischen Republik. Dann gibt es ein Kapitel über die Gesetzgebung im Bereich der

Energiepolitik der Europäischen Gemeinschaft Rechtsvorschriften und Rechtsvorschriften über den sicheren Umgang mit radioaktiven Abfällen, abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle aus abgebrannten Kernbrennstoffen auf die Einhaltung der internationalen und europäischen Recht.

Permanente Lagerung radioaktiver Abfälle, nach der Schließung des Kernkraftwerks abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle aus abgebrannten Kernbrennstoffen und schließlich die sichere Entsorgung von Kernkraft stellt während der letzten Phase, aber in Bezug auf die radiologische Sicherheit werden hohe Anforderungen an technische Lösungen zu bringen. Inzwischen gibt es ein international bewährten Systemlösungen der Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle aus abgebrannten Kernbrennstoffen. EU Weg zur Lösung behält die Verantwortung des Staates, sondern verpflichtet sie, um sicherzustellen, dass die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente möglicherweise gespeichert. Die Freiheit der Staaten bleibt, dass die Mitgliedstaaten für die Lagerung radioaktiver Abfälle aus abgebrannten Kernbrennstoffen nutzen können und Wiederaufarbeitungsanlagen außerhalb ihres Hoheitsgebiets, und auch Gemeinschaftseinrichtungen auf dem Territorium eines Staates, der die Entsorgung abgebrannter Brennelemente in Übereinstimmung mit EU-Vorschriften zu gewährleisten, müssen zu bauen. Es ist das Problem der Speicherung von hochradioaktive Abfälle mit der Finanzierung dieser Aktivität verbunden gelöst. Die Tschechische Republik wird nur ein Konto für die zukünftige sichere Lagerung hochradioaktiver Abfälle, die unter staatlicher Kontrolle ist eingestellt. Es ist jedoch notwendig, um die Kontrolle über die Bildung von Rückstellungen für Materialspeicher nach Abschluss des KKW zu gewährleisten.

Er beschrieb auch eine mögliche Alternative langfristige Lagerung abgebrannter Brennelemente in trockener Lagerung bei EDU und ETE oder hier beschriebenen Möglichkeit, die SNF im Ausland zu überarbeiten und speichern Sie die restlichen radioaktiver Abfälle in geologischen Tiefenlagers in der Tschechischen Republik. Es gibt angegebene Alternative zum Speichern abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle zu einem internationalen Repository und sind in der folgenden Möglichkeiten der direkten Lagerung abgebrannter Brennelemente in ein geologisches Tiefenlager in der Tschechischen Republik in der UOS in horizontale und vertikale Position beschrieben. Es zeigt die Möglichkeit der Verringerung der Menge an verbrauchtem Kernbrennstoff vor

dem Speichern. Dissertation schlägt eine legislative Weg, die Ihnen helfen zu nutzen technisch lösbares Problem auch unter den gegenwärtigen wirtschaftlichen Bedingungen, einschließlich der Tätigkeiten, bei denen der Staat die Verantwortung für die sichere Entsorgung von radioaktiven Produkte von kerntechnischen Anlagen und andere Einrichtungen mit ionisierender Strahlung würde.

Das Weißbuch der Europäischen Kommission im Jahr 2000 veröffentlicht wurde, ist mit EU-Mitgliedstaaten gespeichert, um die Lagerung von Produkten aus Kernkraftwerken im Hinblick auf mögliche künftige Überarbeitung dieser Produkte zu gewährleisten. Dies fördert die Richtlinie 2011/70 / Euratom. Aus diesem Grund enthält das Werk technischen und gesetzgeberischen Lösungen, um die Wiederaufbereitung in einem der vorhandenen Maßnahmen alternative Lagerung in Oberflächenspeicher KKW zu gewährleisten. Wenn nepřepřacovaného Speichern abgebrannter Brennelemente in geologischen Tiefenlagern schlagen eine Lösung mit anschließendem Löschen und Entfernen von verbrauchtem Kernbrennstoff-Repository für die Revision.

Achten Sie darauf, den Umweltschutz ist als technischen Fähigkeiten sowie Warnungen an die Verpflichtung dokumentiert, das Gesetz, nicht nur technische, sondern auch die Legislative, die in Übereinstimmung mit dem Verfassungsrecht sein muss folgen Nr. 1/1993 Slg., Verfassung der Tschechischen Republik ("Der Staat ist auf ein vorsichtiges Nutzung teilnehmen natürlichen Ressourcen und der Schutz der natürlichen Ressourcen ") und das Verfassungsgesetz Nr. 2/1993 Slg., Charta der Grundrechte und Grundfreiheiten (... sollten nicht von der Umwelt Schaden) bedroht.

Labour erklärt, dass das aktuelle Konzept der Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente, ohne die wirksame Rechtsvorschriften schwierig ist, eine sichere Lagerung abgebrannter Brennelemente in hlubiných Repositories erstellen. Ein Beweis dafür ist, dass es aufgrund der negativen Meinungen Gemeinden für ein Tiefenlager, die seit fünf Jahren folgte der Haupt noch die Backup-Bereich von Interesse im Jahr 2015 für die Flächennutzungspläne für ein Tiefenlager in Übereinstimmung mit den Ergebnissen, die Standorte mit den besten geologischen Bedingungen zu finden gefunden wurde, angehalten Explorations arbeiten an ausgewählten Standorten.

18. SEZNAM LITERATURY

18.1. Knihy

Kraydenko, R. nedatováno. Uran jako jaderné palivo. Technologie jaderného paliva. Tomský polytechnický institut. Ústav chemické technologie vzácných, smýšlejících a radioaktivních prvků: s. 123

Štamberg K. 1998. Technologie jaderných paliv II. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické: 150 s. ISBN 80-01-01885-7

Matějka, K. a kol. 1996. Vyhořelé jaderné palivo. Praha: České vysoké učení technické: 52 s. ISBN 80-7078-352-4.

ÚJV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA. Duben 2014. Stavba akce SÚRAO Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012- str. 116

ÚJV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA. Duben 2014. Stavba akce SÚRAO Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012, str. 22

JV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA. Duben 2014. Stavba akce SÚRAO Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012, str. 38

ÚJV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA. Duben 2014. Stavba akce SÚRAO Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012, str. 29

ÚJV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA. Duben 2014. Stavba akce SÚRAO Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012, str. 30

ÚJV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA, Duben 2014. Stavba akce SÚRAO Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012, str. 33

ÚJV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA. Duben 2014. Stavba akce SÚRAO Hlubinné úložiště. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva 04/2012, str. 53

Státní energetická koncepce Praha 12/2014

Národní akční plán jaderné energetiky). Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR a Ministerstvo financí ČR z 06/2015

18.2. Knihy (využité informace z knih v práci)

SÚRAO s. p. Listopad 2014. Aktualizovaná koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným odpadem, Praha

Novák I. a kol. 1997. Atomový zákon s komentářem, Praha

Kočírková P. 1998. Evropská unie a životní prostředí, Montanex,

Mlčoch S. 1998. Škody na životním prostředí z pohledu českého práva. Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy, Praha

Kolektiv autorů. 1999: EU a ochrana prostředí očima nevládních organizací, STUŽ

Damohorský M.. 1999. Právní odpovědnost za ztráty na životním prostředí, Karolinum

Vaněk V. 2000. Jaderná energetika v číslech, ČEZ

Rebha E. 2002. Energiehandbuch, Springer – Verlag, Berlín Heidelberg

Damohorský M. 2003. Právo životního prostředí, C.H.Beck, Praha -

Damohorský M, Lagoni R. 2004. Europäisches Umweltrecht in Deutschland und in der Tschechischen Republik, Univerzita Karlova, Praha

Zagel G. 2004 Umweltrecht in Mittel – und Osteuropa im internationalen und europäischen. Kontext. Berliner Wissenschafts – Verlag Berlín

Kubín M. 2004. Přenosy elektrické energie ČR, CEPS a.s., Praha

Zenke I., Schäfer R. 2005. Ennergichandel in Europa, Munchen

Gremlica T., Sodíková A. 2006. Přehled environmentálního práva ES, právní úpravy technických noremv oblasti ochrany životního prostředí, Ministerstvo životního prostředí, Praha

ČEZ a.s. 2006. Bezpečnostní zpráva pro veřejnost. ČEZ a.s. Temelín

Raček J. 2009. Jaderná zařízení. vyd. 1. Brno: NOVAPRESS s.r.o.

Ernst R., Ernst D. Milisdörfer L.2010 Palivo Westinghouse - R.

ČEZ a.s. 2011. Předprovozní bezpečnostní zpráva 1,2 - revize 1: Díl 4 – interní dokument ČEZ a.s.. Temelín

Huges G., Lovei M. 2012. Economic Reform and Environmental Performance in Transition Economies

18.3. Články (využité informace z článků v práci)

- Seidel-Hohenveldern I. 1998. Smlouva o Energetické chartě a energetické právo EU. Právník, číslo 10

- Pauknerová M. 1999. Právo ES a energetika. Právní rozhledy, Příloha Evropské právo, číslo 8.
- Blahož J. 2002. Základní lidské a občanské právo na zdravé životní prostředí: Srovnávací pohled, Právník, číslo 12

18.4. Tabulky

Tabulka 1.1 Palivo do jaderných reaktorů (složení, geometrický tvar, typ reaktoru)

Tabulka 1.4.1. Charakteristika paliva VVANTAGE 6

Tabulka 1.4.2. Charakteristika paliva TVSA-T

Tabulka 1.4.6.1. Aktivita A_{sp} v [Ci/tU] některých štěpných produktů ve vyhořelém jaderném palivu z VVER-440 po vyhoření 33000 MWd/tU

Tabulka 1.4.6.2. Aktivita A_{sp} v [Ci/tU] některých štěpných produktů ve vyhořelém jaderném palivu z VVER-1000 po vyhoření 50000 MWd/tU

Tabulka 1.4.7.1. Množství G_{akt} v [g/tU] vybraných aktinidech a jejich dceřiných produktech ve vyhořelém jaderném palivu z VVER-440 po vyhoření 33000 MWd/tU

Tabulka 1.4.7.2. Množství G_{akt} v [g/tU] vybraných aktinidech a jejich dceřiných produktech ve vyhořelém jaderném palivu z VVER-1000 po vyhoření 50000 MWd/tU

Tabulka 1.4.7.3. Aktivita A_{sp} v [Ci/tU] vybraných aktinidech a jejich dceřiných produktech ve vyhořelém jaderném palivu z VVER-440 po vyhoření 33000 MWd/tU

Tabulka 1.4.7.4. Aktivita A_{sp} v [Ci/tU] vybraných aktinidech a jejich dceřiných produktech ve vyhořelém jaderném palivu z VVER-1000 po vyhoření 50000 MWd/tU

Tabulka 1.4.9.1. Celková aktivita (A) v [Ci/tU] ve vyhořelém jaderném palivu VVER-440, po vyhoření 33000 MWd/tU

Tabulka 1.4.9.2. Celková aktivita (A) v [Ci/tU] ve vyhořelém jaderném palivu z VVER-1000, po vyhoření 50000 MWd/tU

Tabulka 1.4.10. Zařazení radioaktivních dopadů

Tabulka 3.1.1. Technická data OS CASTOR 440/84

Tabulka 3.2. Technická data OS CASTOR pro ETE

Tabulka 5. Celosvětové průměrné ekvivalentní dávky ozáření osoby z různých zdrojů.

Tabulka 5.2.1. Rozdělení radionuklidů dle radiotoxicity a potenciálního nebezpečí vnějšího ozáření

Tabulka 5.2.3. Aktivita ^{127}Cs a ^{90}Sr zjištěná v potravinách v letech 2011

Tabulka 6.1.1.1. Izotopy uvolněné během pokusných jaderných výbuchů a při havárii JE v Černobylu

Tabulka 6.4. Hodnoty w_T pro části lidského těla

Tabulka 9.1. Periodická tabulka [prvků](#) nebo též periodická soustava prvků

Tabulka 9.10. Bilance VJP určeného k uložení do hlubinného úložiště

18.5. Obrázky

Obrázek 2. Peletka (palivová tableta jaderného paliva)

Obrázek 3.1.1. OS CASTOR

Obrázek 3.1.2. MSVP na Jaderné elektrárně Dukovany.

Obrázek 3.1.3. Zaplněný MSVP na Jaderné elektrárně Dukovany, který byl uveden do provozu v roce 1995 a je v něm 600 tun VJP v 60 OS Castro 440/8444.

Obrázek 3.1.4. První OS typu CASTOR 440/84M zavezený vyhořelým jaderným palivem do nově otevřeného SVP Dukovany. Plánovaná skladovací kapacita SVP Dukovany pro 133 kusů OS pro 1340 t TK (1340 tun těžkých kovů).

Obrázek 3.1.5. SVP EDU (Jaderné elektrárny Dukovany)

Obrázek 3.3.1. Železniční podvozek pro přepravu vyhořelého jaderného paliva vyrobený v Krnovských opravnách a strojárnách s.r.o.

Obrázek 3.3.2. Manipulace s OS

Obrázek 3.3.3. Manipulace s OS

Obrázek 3.3.4. Plavidlo Sigrid

Obrázek 4.2.1. SVJP Temelín

Obrázek 4.2.2. SVJP Temelín po umístění prvních obalových souborů

Obrázek 7.6.4.3. Topné těleso

Obrázek 8.1. Geologická situace lokality Březový potok

Obrázek 8.2. Geologická situace lokality Čertovka

Obrázek 8.3. Geologická situace lokality Čihadlo

Obrázek 8.4. Geologická situace lokality Kraví hora

Obrázek 8.5. Geologická situace lokality Magdaléna

Obrázek 8.6. Geologická situace lokality Horka

Obrázek 8.7. Geologická situace lokality Hrádek

18.6. Grafy

Graf 2.1. Složení zaváženého nově vyrobeného jaderného paliva podle

Graf 2.2. Složení vyhořelého jaderného paliva podle

Graf 10. Vývoj a struktura hrubé výroby elektřiny od roku 2010 do roku 2040

18.7. Schémata

Schéma 1.4.7.1. Srovnání radiotoxicity vyhořelého jaderného paliva a radiotoxicity uranové rudy

Schéma 1.4.7.2. Graf časové závislosti zbytkového tepelného výkonu vybraných aktinoidů v palivu s počáteční hmotností těžkých kovů 1 tuna

Schéma 1.4.14. Některé možnosti palivového cyklu

Schéma 2.3.1. Řez BSVP a půdorys BSVP

Schéma 2.3.2. Okruhy chlazení v BSVP

Schéma 2.3.3. Řez BSVP – náčrtek potrubí dopravy chladicí kapaliny do BSVP

Schéma 3.2. OS (Obalový soubor) CASTOR

Schéma 5.2.1. Radionuklidy v životním prostředí

Schéma 7.6.4.1. Svislý řez experimentem Mock-Up-CZ

Schéma 7.6.4.2. Vodorovný řez experimentem Mock-Up-CZ

Schéma 7.6.4.4. Mock-Up-CZ FEBEX

Schéma 7.6.4.5. Full-scale vysoce radioaktivního odpadu inženýrských bariér (FEBEX)

Schéma 9.4. Koncepčního řešení referenčního projektu hlubinného úložiště

Schéma 9.5. Propojení nadzemní a pozemní části hlubinného úložiště

Schéma 9.6.1 ÚOS pro VJP z JDU se počítá pro 7 palivových kazet

Schéma 9.6.2 ÚOS pro VJP z JTE se počítá pro 3 palivových kazet

Schéma 9.6.3. Beton kontejner pro uložení sudů s RAO

Schéma 9.7. Moduly podzemní části hlubinného úložiště

18.8. Ostatní

<http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/k/KRAYDENKO/knu/Tab>

<http://www.yurii.ru/ref6/referat15876.html>

<http://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=27015567>

<http://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=42006552>

<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/edu.html>

<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete.html>

http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=2&slovník_page=jader_pal.html

<http://www.ceei.sk/en/castor-containers.php>

<http://www.hochtief.sk/nase-projekty/referencne-projekty/prumyslove/dukovany-mezisklad-vyhoreleho-jaderneho-paliva>

http://www.spssvsetin.cz/index_htm_files/dumy/06/odpady.htm

<http://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/jaderna-zarizeni/sklady-vyhoreleho-jaderneho-paliva/zkusebni-provoz-skladu-vyhoreleho-paliva-dukovany>

<http://www.objektu.cz/actuality/povoleni-pro-sklad-vyhořelého-paliva-ke-dukovany>

http://www.kos.cz/media/strojirenska-specialni%20vyroba/Podvozek_04.jpg

<http://www.temelinky.cz/cs/clanky/manipulace-s-kontejnery-castor-22.html>

<http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Transport/Transport-of-Radioactive-Materials>

<http://www.cez.cz/cs/odpovedna-firma/zivotni-prostredi/programy-snizovani-zateze-zp/sprava-vyhoreleho-jaderneho-paliva-a-monitoring-je.html>

<http://atominfo.cz>

<http://www.bezpecnostpotravin.cz/kategorie/aktivity-icbp.aspx?start>

<http://fbmi.sirdik.org/4-kapitola/43/432.html>

https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/ICRP103_dokument

<http://ceg.fsv.cvut.cz/ceg-old/CZ/ceg-mock-up-cz/popis/schema.htm>

<http://www.grimself.com/images/stories/FEBEX/mockup.jpg>

<http://www.grimself.com/gts-phase-v/febex/febex-i-introduction>

<http://www.surao.cz/cze/Media/Images/KravihoraPUgeologie>

<http://www.surao.cz/cze/Media/Images/KravihoraPUgeologie>

<http://www.surao.cz/cze/Media/Images/KravihoraPUgeologie>

<http://www.surao.cz/cze/Media/Images/KravihoraPUgeologie>

<http://www.surao.cz/cze/Media/Images/MagdalenapuGeologie>

<http://www.surao.cz/cze/Media/Images/HorkaPUgeologie>

<http://www.jarjurek.cz/archiv/index10.htm>

<file:///C:/Documents%20and%20Settings/marcel/Dokumenty/Downloads/priloha004.pdf>

18.9. Ostatní (využité informace v práci)

<http://www.skoda-js.cz>

<http://www.csvts.cz>

<http://ap1000.westinghousenuclear.cz>

<http://www.world-nuclear.org>

<http://www.knpp.rosenergoatom.ru>

<http://www.british-energy.com>

<http://www.uxc.com>

<http://www.vattenfall.se>

<http://www.sujb.cz>

18.10. Česká právní úprava

Ústavní zákon č. 1/1993 Sb., Ústava ČR

Ústavní zákon č. 2/1993 Sb., LZPS

Zákon č. 20/1966 Sb., o péči o zdraví lidu

Zákon č. 50/1975 Sb., o územním plánování a stavebním řádu

Zákon č. 50/1976 Sb., stavební zákon

Zákon č. 28/1984 Sb., o státním dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení

Zákon č. 44/1988 Sb., horní zákon

Zákon č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti

Zákon č. 62/1988 Sb., o geologických pracích

Zákon č. 123/1991 Sb., o právu na informace o životním prostředí

Zákon č. 282/1991 Sb., o České inspekci životního prostředí

Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody

Zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu

Zákon č. 388/1992 Sb., o Státním fondu životního prostředí

Zákon č. 21/1993 Sb., změna názvu na Státní úřad pro jadernou bezpečnost

Zákon č. 289/1993 Sb., o lesích

Zákon č.222/1994 Sb., výkon státní správy v energetice nahradil zákon č. 79/1957 Sb., z roku 1957 a tím došlo k liberalizaci v energetice

Zákon č. 266/1994 Sb., o dráhách

Zákon č. 147/1996 Sb., o rostlinolékařské péči

Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon)

Zákon č. 83/1998 Sb., o Státní energetické inspekce

Zákon č. 123/1998 Sb., o právu na informace o životním prostředí

Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech

Zákon č. 157/1998 Sb., o chemických látkách a chemických přípravcích

Zákon č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím

Zákon č. 166/1999 Sb., o veterinární péči

Zákon č. 128/2000 Sb., o obcích

Zákon č. 129/2000 Sb., o krajích

Zákon č.153/2000 Sb., o nakládání s geneticky modifikovanými organismy a produkty

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví

Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření s energií

Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)

Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách

Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech

Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetickém odvětví, tzv. energetický zákon

Zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci

Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší

Zákon č. 22/2004 Sb., o místním referendu a změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 500/2004 Sb., správní řád

Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)

Zákon č. 157/2009 Sb., o nakládání s těžebním odpadem

Zákon č. 118/2010 Sb., o krajském referendu a změně některých zákonů

Zákon č. 89/2012 Sb., občanský zákoník

Nařízení vlády č. 416/2002 Sb

Vyhláška č. 76/1971 Sb., Českého úřadu bezpečnosti práce

Vyhláška č. 59/1972 Sb., Ministerstva zdravotnictví České socialistické republiky

Vyhláška č. 65/1972 Sb., Ministerstva zdravotnictví Slovenské socialistické republiky

Vyhláška č. 83/1973 Sb., Federálního ministerstva pro technický a investiční rozvoj

Vyhláška č. 85/1976 Sb., Federálního ministerstva pro technický a investiční rozvoj

Vyhláška č. 28/1977 Sb., Československé komise pro atomovou energii

Vyhláška č. 67/1987 Sb., Československé komise pro atomovou energii

Vyhláška č. 76/1989 Sb., Českého úřadu bezpečnosti práce

Vyhláška č. 100/1989 Sb., Československé komise pro atomovou energii

Vyhláška č. 191/1989 Sb., Československé komise pro atomovou energii

Vyhláška č. 436/1990 Sb., Československé komise pro atomovou energii

Vyhláška č. 215/1997 Sb., SÚJB

Vyhláška č. 307/2002 Sb., SÚJB

Vyhláška č. 360/2002 Sb., Ministerstva průmyslu a obchodu

Vyhláška č. 540/2005 Sb., Energetického regulačního úřadu

Vyhláška č. 541/2005 Sb., Energetického regulačního úřadu

Vyhlášky 552/2006 Sb., Energetického regulačního úřadu

Vyhláška č. 280/2007 Sb., Energetického regulačního úřadu

Vyhlášky 365/2007 Sb., Energetického regulačního úřadu

Vyhlášky 454/2008 Sb., Energetického regulačního úřadu

Vyhlášky 468/2009 Sb., Energetického regulačního úřadu

Vyhlášky č. 41/2010 Sb., Energetického regulačního úřadu

Vyhláška č. 79/2010 Sb., Ministerstva průmyslu a obchodu

Vyhláška č. 80/2010 Sb., Ministerstva průmyslu a obchodu

Vyhlášky 400/2010 Sb., Energetického regulačního úřadu

Vyhláška č. 401/2010 Sb., Energetického regulačního úřadu
Vyhlášky 371/2011 Sb., Energetického regulačního úřadu
Státní energetická koncepce, Ministerstva průmyslu a obchodu
Politika územního rozvoje ČR, Ministerstva pro místní rozvoj
Usnesení Vlády ČR č. 593/1997 Společná úmluva o bezpečnosti při nakládání s vyhořelým palivem a bezpečnosti při nakládání s radioaktivními odpady (Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management)

Sdělení č. 91/2001 Sb. m. s., Espoo úmluva – Úmluva o posuzování vlivů na životní prostředí přesahujících hranice států, Ministerstva zahraničních věcí ČR

Sdělení č. 124/2004 Sb. m. s., Aarhuská úmluva právo na informace o životním prostředí, Ministerstva zahraničních věcí ČR

Výnos č. 4, Československé komise pro atomovou energii z roku 1979

Výnos č. 6, Československé komise pro atomovou energii z roku 1980

Národní zpráva pro účely Společné úmluvy o bezpečnosti při nakládání s vyhořelým palivem a o bezpečnosti při nakládání s radioaktivními odpady,
SÚJB

18.11. Evropská a mezinárodní právní úprava

Mírové smlouvy z roku 1648 Vestfálský mír

Mírové smlouvy podepsané ve Versailles u Paříže ve Francii 1918

Pařížská úmluva z r. 1960

Bruselská úmluva z roku 1963

Pařížská úmluva z r. 1988

Protokol měnící Vídeňskou úmluvu z roku 1997

Protokol, kterým se mění Pařížská úmluva 2004

Protokol, kterým se mění Bruselská úmluva 2004

Doporučení Komise 90/143/Euratom

Doporučení Komise 2000/473/Euratom

Doporučení Komise 2006/851/Euratom

Rozhodnutí Rady č. 87/600 EURATOM

Implementační plán nařízení rady č. 1493/93 Euratom

Sdělení Komise, COM (98)778

Nařízení Komise Euratom č. 3227/76

Nařízení Rady č. 3954/87 EURATOM

Nařízení Rady EHS č. 2219/89
Nařízení komise Euratom č. 220/90
Rozšiřující nařízení Rady EHS č. 737/90
Nařízení Rady (Euratom) č. 1493/93
Nařízení Rady č. 686/95EC
Nařízení Rady Euratom č. 3 - Nařízení Rady (Euratom) č. 2587/1999
Nařízení Komise (ES) č. 1209/2000
Nařízení 1228/2003 Evropského parlamentu a Rady
Nařízení Komise (Euratom) č. 1352/2003
Nařízení Komise (Euratom) č. 302/2005
Nařízení Komise (Euratom) č. 66/2006
Nařízení Rady (ES) č. 1990/2006
Nařízení Rady (Euratom) č. 647/2010
Směrnice 85/337/EHS
Směrnice Rady 89/618 EURATOM
Směrnice Rady 90/641/Euratom
Směrnice Rady 92/3/Euratom.
Směrnice Rady 96/29/Euratom
Směrnice 96/92/ES
Směrnice Rady 97/11/ES
Směrnice Rady 97/43/Euratom.
Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2001/42/ES
Směrnice 2001/77/ES
Směrnice 2003/54/ES
Směrnici 2003/55/ES
Směrnice Rady 2006/117/Euratom
Směrnice Rady 2009/71/Euratom
Směrnice Rady 2011/70/Euratom
Dohoda 78/164/Euratom
Dohoda mezi evropským společenstvím pro atomovou energii (Euratom) a vládou Spojených států amerických
Dohoda mezi Evropským Společenstvím pro atomovou energii (Euratom) a vládou Kanady o spolupráci v oblasti mírového využití atomové energie
Výměna dopisů mezi vládou Kanady a Evropským Společenstvím pro atomovou energii (Euratom)

Dohoda o spolupráci mezi evropským společenstvím pro atomovou energii a mezinárodní agenturou pro atomovou energii

Dohoda o spolupráci v oblasti mírového využití jaderné energie mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii (Euratom) a vládou Argentinské republiky

Dohoda o spolupráci při mírovém využití jaderné energie mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii (Euratom) a vládou Republiky Uzbekistán

Dohoda mezi vládou Japonska a Evropským společenstvím pro atomovou energii o spolupráci při mírovém využívání jaderné energie

Dohoda o podmínkách přistoupení Evropského společenství pro atomovou energii k Organizaci pro energetický rozvoj korejského poloostrova

Dohoda o spolupráci mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a vládou Ukrajiny v oblasti jaderné bezpečnosti

Dohoda o spolupráci mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a Švýcarskou konfederací v oblasti řízené jaderné syntézy a fyziky plazmatu

Memorandum o porozumění mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii zastoupeným Komisí Evropských společenství a vládou Kanady o spolupráci v oblasti výzkumu a vývoje jaderné syntézy

Prováděcí dohoda mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii zastoupeným Komisí Evropských společenství a společností Atomic Energy of Canada jmenovanou prováděcím zástupcem vlády Kanady o zapojení Kanady do příspěvku Evropského společenství pro atomovou energii k inženýrským projektovým činnostem (EDA) pro Mezinárodní termonukleární experimentální reaktor (ITER)

Dohoda mezi Kanadou a Evropským společenstvím pro atomovou energii o spolupráci v oblasti jaderného výzkumu

Dohoda o spolupráci mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii, zastupovaným Komisí Evropských společenství, a Ministerstvem energetiky Spojených států amerických při výzkumu a vývoji v oblasti jaderné syntézy

Dohoda o spolupráci mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a vládou Ruské federace v oblasti jaderné bezpečnosti

Dohoda o spolupráci mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a vládou Ruské federace v oblasti řízené nukleární fúze

Dohoda o spolupráci mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a vládou Ukrajiny v oblasti řízené termonukleární fúze

Dohoda o spolupráci mezi vládou Kazašské republiky a Evropským společenstvím pro atomovou energii.

Dohoda mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a vládou Ukrajiny o spolupráci při mírovém využití jaderné energie

Ujednání o prozatímním uplatňování Dohody o založení Mezinárodní organizace energie z jaderné syntézy ITER pro společnou realizaci projektu ITER

Dohoda o výsadách a imunitách Mezinárodní organizace energie z jaderné syntézy ITER pro společnou realizaci projektu ITER

Dohoda mezi vládou Japonska a Evropským společenstvím pro atomovou energii o společném provádění činností v rámci širšího přístupu v oblasti výzkumu energie z jaderné syntézy

Dohoda formou výměny dopisů mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a Švýcarskou konfederací o působnosti

Dohody o založení Mezinárodní organizace energie z jaderné syntézy ITER pro společnou realizaci projektu ITER

Dohody o výsadách a imunitách Mezinárodní organizace energie z jaderné syntézy ITER pro společnou realizaci projektu ITER

Dohody mezi Euratomem a vládou Japonska o společném provádění činností v rámci širšího přístupu v oblasti výzkumu energie z jaderné syntézy na území Švýcarské konfederace

Dohoda formou výměny dopisů mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a Švýcarskou konfederací o členství Švýcarska ve společném evropském podniku pro ITER a rozvoj energie z jaderné syntézy

Dohoda o spolupráci při mírovém využití jaderné energie mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a vládou Kazašské republiky

Dohoda o spolupráci mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a vládou Japonska v oblasti řízené termionukleární fúze

Dohoda o spolupráci v oblasti mírového využití jaderné energie mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a Spojenými státy americkými

Protokol k rámcové dohodě o mnohostranném programu ruské federace pro životní prostředí v jaderné oblasti o právních nárocích, soudním řízení a náhradě škody

Smlouva o energetické chartě

Závěrečný akt konference o evropské energetické chartě

Protokol k energetické chartě (Příloha 3) o energetické účinnosti a souvisejících ekologických hlediscích

Rozhodnutí Komise ze dne 15. února 2006 podle článku 83 Smlouvy o založení Evropského společenství pro atomovou energii. Souhrn klíčových ustanovení rozhodnutí je uveden níže, aniž je dotčena plná účinnost vlastního rozhodnutí (oznámeno pod číslem K(2006) 412) (Text s významem pro EHP)

Rozhodnutí Rady ze dne 4. prosince 2006 o první splátce třetího příspěvku Společenství do Evropské banky pro obnovu a rozvoj ve prospěch Fondu pro kryt reaktoru v Černobyli

Rozhodnutí Rady ze dne 10. července 2007 kterým se schvaluje přistoupení Evropského společenství pro atomovou energii k pozměněné Úmluvě o fyzické ochraně jaderných materiálů a jaderných zařízení - Prohlášení Evropského společenství pro atomovou energii podle čl. 18 odst. 4 a čl. 17 odst. 3 Úmluvy o fyzické ochraně jaderných materiálů a jaderných zařízení

Rozhodnutí Komise ze dne 13. ledna 1971 o reorganizaci Společného výzkumného střediska pro jaderný výzkum (SVS)

Rozhodnutí Komise ze dne 10. dubna 1996 o reorganizaci Společného výzkumného střediska

Rozhodnutí Rady ze dne 22. června 1998 o změně rozšiřující Dohodu ITER EDA mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii, vládou Japonska, vládou Ruské federace a vládou Spojených států amerických o spolupráci v rámci inženýrských projektových činností pro Mezinárodní termonukleární experimentální reaktor

Rozhodnutí Rady ze dne 27. září 2001, kterým se Komise opravňuje k uzavření dvou dohod o spolupráci mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a vládou Ruské federace v oblasti jaderné bezpečnosti a v oblasti řízené nukleární fúze

Rozhodnutí Rady ze dne 18. dubna 2005, kterým se mění rozhodnutí Rady ze dne 16. prosince 1980, kterým se zřizuje Poradní výbor pro program jaderné syntézy

Rozhodnutí Komise ze dne 17. listopadu 2006 o prozatímním uplatňování Dohody o založení Mezinárodní organizace energie z jaderné syntézy ITER pro společnou realizaci projektu ITER a Dohody o výsadách a imunitách Mezinárodní organizace energie z jaderné syntézy ITER pro společnou realizaci projektu ITER (oznámeno pod číslem K(2006) 5557)

Rozhodnutí Rady ze dne 19. prosince 2006 o zvláštním programu prováděném Společným výzkumným střediskem prostřednictvím přímých akcí na základě sedmého rámcového programu Evropského společenství pro atomovou energii (Euratom) v oblasti jaderného výzkumu a odborné přípravy (2007 až 2011)

Rozhodnutí Rady ze dne 27. března 2007 o založení společného evropského podniku pro ITER a rozvoj energie z jaderné syntézy a o poskytnutí výhod tomuto podniku

2010/488/Euratom: Rozhodnutí Rady ze dne 16. listopadu 2009 o schválení uzavření Dohody o spolupráci mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a vládou Brazílské federativní republiky v oblasti výzkumu energie z jaderné syntézy Komisi

2010/487/Euratom: Rozhodnutí Rady ze dne 9. října 2009 o uzavření Dohody o spolupráci mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a vládou Indické republiky v oblasti výzkumu energie z jaderné syntézy Komisi

2010/398/Euratom: Rozhodnutí Komise ze dne 15. července 2010 o uzavření memoranda o porozumění mezi Evropskou komisí a Mezinárodní agenturou pro atomovou energii ohledně Evropské platformy pro výměnu radiologických údajů (EURDEP)

2009/410/Euratom: Rozhodnutí Rady ze dne 25. května 2009 o přijetí doplňkového programu výzkumu, který má být prováděn Společným výzkumným střediskem pro Evropské společenství pro atomovou energii

Rozhodnutí Komise 2011/161/EU, Euratom ze dne 28. února 2011, kterým se mění rozhodnutí Komise K(2008) 4617 týkající se pravidel pro předkládání návrhů a postupy hodnocení, výběru a udělování pro nepřímé akce v rámci sedmého rámcového programu Evropského společenství pro výzkum, technologický rozvoj a demonstrace (2007 až 2013) a sedmého rámcového programu Evropského společenství pro atomovou energii (Euratom) v oblasti jaderného výzkumu a odborné přípravy (2007–2011) Text s významem pro EHP

Rozhodnutí Rady 2011/186/Euratom ze dne 14. června 2010, kterým se schvaluje uzavření - Prozatímní dohody o obchodu a obchodních záležitostech mezi Evropským společenstvím, Evropským společenstvím uhlí a oceli a Evropským společenstvím pro atomovou energii na jedné straně a Turkmenistánem na straně druhé, Evropskou komisí jménem Evropského společenství pro atomovou energii, jakož i výměna dopisů, kterou se tato prozatímní dohoda mění, pokud jde o závazná jazyková znění

Rozhodnutí Rady 2011/334/Euratom ze dne 21. listopadu 2006 o schválení uzavření Dohody o spolupráci mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii zastoupeným Komisí Evropských společenství a vládou Korejské republiky při výzkumu v oblasti jaderné syntézy

2012/55/Euratom: Rozhodnutí Komise ze dne 2. března 2011 o uzavření Dohody o spolupráci při mírovém využití jaderné energie mezi Evropským společenstvím pro atomovou energii a vládou Austrálie

Stanovisko Komise ze dne 7. května 2008 k plánu zneškodnění radioaktivního odpadu v důsledku demontáže tlakového reaktoru BR3 umístěného v lokalitě SCK-CEN v Belgii v souladu s článkem 37 Smlouvy o Euratomu (Text s významem pro EHP).

PŘÍLOHA

Potvrzení seznamu částí publikovaných i nepublikovaných prací a vystoupení na vědeckých setkáních před zahájením studia doktoranda

Ing. Mgr. Františka Šmída školitelem Prof. Ing. Josef Kott, DrSc.

Vypracování nové koncepce technologie výroby velkých sekci tlakové nádoby reaktoru. VŠSE Plzeň, 1981.

Těsnění víka tlakové nádoby a bloku ochranných trubek jaderného reaktoru. Spoluautor ZN. ŠKODA Plzeň, 1986.

Těsnění na spojích jaderného reaktoru tlakových nádob. Spoluautor ZN. ŠKODA Plzeň 1987.

Technologie výroby horní traverzy pro převážení víka a horního bloku tlakové nádoby reaktoru VVER 1000 ŠKODA Plzeň, 1988.

Svařovací hlavy obvodových svarů tlakové nádoby jaderných reaktorů VVER 440 MW a VVER 1000 MW ŠKODA Plzeň, 1989.

Odvzdušnění regenerativních výměníků na systému kontinuálního čištění vody primárního okruhu jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice V1, 1989.

Regionální politika ČR v období příprav na vstup do EU. ZČU Plzeň, 2004.

Konkurs a úpadek. ZČU Plzeň, 2006.

Potvrzení seznamu částí publikovaných i nepublikovaných prací a vystoupení na vědeckých setkáních po zahájení studia doktoranda

Ing. Mgr. Františka Šmída školitelem Prof. Ing. Josef Kott, DrSc.

Svářečský kurz. Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR. Národní ústav odborného vzdělávání Praha, 2011. (30 stran).

Budoucnost černobylské uzavřené zóny. Bazar, 2012. (17 stran).

Národní technická univerzita Ukrajiny. Semináře k programování výpočtů relativní toxicity ²³³U.vyhořelého jaderného paliva. 30. 6. 2014 – 5. 7. 2014.

Rekvalifikace a poradenské činnosti pro Karlovarský kraj I. Část číslo 36. Svařování. Firma Miroslav Höfler, Krašovice 84 330 13, 2014. (81 stran).

Rekvalifikace a poradenské činnosti pro Karlovarský kraj I. Část číslo 37. Svařování. Firma Miroslav Höfler, Krašovice 84 330 13, 2014. (74 stran).

Informační toky a komunikační náročnost. Pedagogická fakulta Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2014 (25 stran).

Řídící úrovně a stupně. Pedagogická fakulta Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2014. (11 stran).

Rekvalifikační kurzy pro Plzeňský kraj. Část číslo 1. Svařování – Plzeň. Firma Miroslav Höfler, Krašovice 84 330 13, 2015. (96 stran).

Rekvalifikace a poradenské činnosti pro Karlovarský kraj II. Část číslo 21. Svařování. Firma Miroslav Höfler, Krašovice 84 330 13, 2015. (81 stran).

Rekvalifikace a poradenské činnosti pro Karlovarský kraj II. Část číslo 22. Svařování. Firma Miroslav Höfler, Krašovice 84 330 1,3 2015. (30 stran).

V Plzni dne 29. 6. 2015

Prof. Ing. Josef Kott, DrSc.
školitel