

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zdravotně sociální fakulta

**Radioaktivní odpady a uvolňování radioaktivních látek do životního  
prostředí (výukový program)**

**Bakalářská práce**

Autor práce: Jan Novák

Vedoucí práce: Mgr. Jiří Havránek

4. května 2012

## **ABSTRAKT**

### **Radioactive waste and the release of radioactive substances into the environment**

This bachelor thesis, "Radioactive waste and the release of radioactive substances into the environment", is concerned (among others) with nuclear fuel and the biological effects of ionizing radiation. First, it briefly describes the history of this branch in the Czech Republic. Then the work is focused on the effects of ionizing radiation, divided into deterministic and stochastic effects. The work also contains a list of legislative norms regarding the handling of radioactive waste in the Czech Republic and the European Union. Protection of the environment and health against hazardous radioactive waste is at present regulated by several guidelines. The primary objective of this work was to compile a comprehensive basis for presentation to university students on the subject of radioactive waste and its impact on the environment. The concluding discussion presents the author's views on another possible application of e-learning in dealing with this branch of study at the University of South Bohemia.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů souhlasím se zveřejněním své bakalářské/diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb., zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 4. května 2012

.....

Jan Novák

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval panu Mgr. Jiřímu Havránkovi za odborné vedení a cenné připomínky při zpracování této bakalářské práce.

Jan Novák

## Obsah

Úvod.....	7
1 SOUČASNÝ STAV DANÉ PROBLEMATIKY .....	9
1.1 Základní jednotky a pojmy.....	9
1.1.1 Historie jaderných oborů v Československu .....	12
1.1.2 Důležité instituce působící v oblasti jaderných technologií .....	13
1.1.3 Vývoj v oblasti nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem.....	14
1.2 Zdroje ionizujícího záření.....	17
1.2.1 Druhy radioaktivních odpadů .....	19
1.2.2 Doporučení MAAE pro klasifikaci radioaktivních odpadů.....	22
1.2.3 Klasifikace radioaktivních odpadů dle vyhlášky č. 307/2002 Sb. ....	24
1.2.4 Původci radioaktivních odpadů .....	24
1.2.5 Nakládání s radioaktivním odpadem .....	24
1.2.6 Jaderný účet .....	27
1.2.7 Vyhořelé jaderné palivo.....	27
1.2.8 Skladování vyhořelého jaderného paliva .....	28
1.2.9 Přeprava .....	31
1.2.10 Přepřacování použitého paliva.....	32
1.3 Environmentální dopady využívání jaderné energie .....	33
1.3.1 Vliv provozu jaderných elektráren za životní prostředí.....	34
1.3.2 Radionuklidy v životním prostředí .....	35
1.4. Bezpečnost ukládání radioaktivních odpadů .....	37
1.4.1 Izolace odpadů .....	37
1.4.2 Sledování radiační situace .....	39
1.5 Radioaktivní odpady v EU.....	40
1.5.1 Hlubinné ukládání v EU .....	41
1.5.2 Příklady ukládání v Unii .....	42
1.5.3 Ukládání ve vybraných státech EU.....	42
1.5.3.1 Belgie .....	42
1.5.3.2 Finsko.....	42
1.5.3.3 Francie .....	43
1.5.3.4 Maďarsko.....	43

1.5.3.5 Rakousko .....	43
1.5.3.6 Německo .....	44
1.5.3.8 Slovensko .....	45
1.5.3.9 Španělsko .....	45
1.5.3.10 Švédsko .....	46
1.5.3.11 Velká Británie .....	46
1.6. Legislativní a institucionální rámec jaderné energetiky .....	46
1.6.1 IAEA .....	46
1.6.2 Tuzemský legislativní rámec .....	47
1.6.3 Nakládání s RaO a VJP v ČR .....	48
1.6.4 Jednotlivé právní normy .....	49
2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZA.....	50
3 METODIKA .....	51
4 VÝSLEDKY .....	52
5 DISKUSE.....	53
6 ZÁVĚR .....	54
7 KLÍČOVÁ SLOVA .....	55
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	56

## Úvod

Žádná lidská činnost – a jaderná energetika není výjimkou – se neobejde bez produkce odpadů. Jen země EU každoročně vyprodukují 3 miliardy tun odpadu všeho druhu. **(19)** Z toho je 90 milionů tun klasifikováno jako „nebezpečný odpad“ (pesticidy, azbest, těžké kovy atd.). Méně než 1 % z toho jsou tzv. vysoce aktivní odpady ve formě zbytků použitého jaderného paliva. Drtivá většina radioaktivních odpadů (90 %) z celkového množství 50 000 m<sup>3</sup> radioaktivních odpadů vyprodukovaných v EU jsou odpady nízké aktivity (papír, nářadí, látky, filtry apod.). **(20)**

Radioaktivní odpady vznikají ve všech odvětvích, kde se pracuje s radioaktivními látkami, ať už to jsou odpady vznikající v jaderné energetice (především použité palivo, které jako vysoce aktivní odpad představuje cca 95 % veškeré radioaktivity v jaderné elektrárně) anebo takzvané institucionální odpady, které vznikají ve zdravotnictví, průmyslu, zemědělství či výzkumu. Mohou to být např. staré měřicí přístroje a radioaktivní zářiče, znečištěné pracovní oděvy, látky, papír, injekční stříkačky atd. V České republice je evidováno několik set původců institucionálních radioaktivních odpadů. **(21)**

Předkládaná práce „Radioaktivní odpady a uvolňování radioaktivních látek do životního prostředí“ si stanovuje dva cíle. Jednak se pokusí o souhrnný nástin problematiky, utřídění informací a jejich shrnutí do přehledného celku. Tento nástin bude sloužit jako výchozí materiál pro druhý cíl práce, a sice vypracování e-learningové prezentace v prostředí Moodle, která bude využita k výuce studentů studijního programu Ochrana obyvatelstva a studijních oborů Radiologický asistent a Odborný pracovník v ochraně veřejného zdraví. Má práce by měla pomoci najít odpověď na otázku, zda je efektivní využít e-learning ve specializačním vzdělávání nelékařských zdravotnických pracovníků.

V první kapitole se zabývám historií jaderných oborů v Československu, uvádím důležité instituce působící v oblasti jaderných technologií a stručně seznamuji s dosavadním vývojem v oblasti nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem.

Druhá kapitola popisuje druhy a původce radioaktivních odpadů, nakládání s odpadem, jeho skladování, přepravu a ukládání.

Environmentálními dopady využívání jaderné energie se zabývá kapitola třetí, čtvrtá kapitola se týká velmi důležité kategorie, kterou je bezpečnost ukládání radioaktivních odpadů.

Pátá kapitola popisuje nakládání s radioaktivními odpady v rámci členských států Evropské unie a konkrétně uvádí situaci ve vybraných zemích (především sousední země, ale i některé další státy).

Poslední, šestá kapitola práce se zabývá legislativním a institucionálním rámcem jaderné energetiky jak v měřítku Evropské unie, tak popisuje i tuzemský legislativní rámec.

Práce je zpracována převážně na základě primárních i sekundárních zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Problematika radioaktivních odpadů a příslušné legislativy tuzemské i unijní (EU), není tématem ukončeným, nýbrž stále se vyvíjejícím, proto bylo pracováno zejména s aktuálními internetovými zdroji (koncepte a dokumenty, oficiální prohlášení, tiskové zprávy apod.).



# 1 SOUČASNÝ STAV DANÉ PROBLEMATIKY

## 1.1 Základní jednotky a pojmy

**Radioaktivita (31)** - schopnost některých jader atomů podléhat samovolnému rozpadu. Vznikají tak jádra jednodušší a uvolňuje se energie ve formě záření.

**Radioaktivní odpady** - látky, předměty nebo zařízení, jež obsahují radionuklidy nebo které jsou jimi kontaminované, pro něž se nepředpokládá další využití.

**Záření (radiace)** - procesy, při nichž dochází k přenosu energie prostorem prostřednictvím fyzikálních polí nebo mikročástic. Název radiace obecně zahrnuje všechny druhy záření (vč. ionizujícího záření).

**Ionizující záření** - záření, jehož kvanta mají natolik vysokou energii, že jsou schopna vyrážet elektrony z atomového obalu a tím látku ionizovat. Ionizující záření doprovází radioaktivní přeměnu atomů.

**Radionuklid** - nuklid s nestabilním jádrem, tedy s jádrem charakterizovaným přebytečnou energií, která se uvolňuje buď vytvořením nových částic (radioaktivita) nebo do elektronu v atomu. Každý radionuklid je typický svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Radionuklidy vznikají v přírodě nebo mohou být vytvořeny uměle.

**Poločas rozpadu ( $T_{1/2}$ )** - doba, za níž se samovolně přemění polovina počátečního počtu atomů. Poločas přeměny je pro každý radionuklid konstantní a může nabývat hodnot zlomků sekundy i miliónů let.

**Biologický poločas přeměny ( $T_b$ )** - charakterizuje vylučování daného radioaktivního prvku z organismu. Je to doba, za kterou se z organismu vyloučí polovina přijatého množství radionuklidu.

**Efektivní poločas rozpadu ( $T_{ef}$ )** - doba, za kterou se radionuklid nejen vyloučí z organismu, ale zároveň se i rozpadá.

**Aktivita (A)** - podíl radioaktivních přeměn v určitém množství radionuklidu za čas. Jednotkou aktivity je becquerel - Bq, který je definován jako 1 rozpad za sekundu.

**Dávka (D)** - velikost energie záření absorbované látkou v jednotce hmotnosti. Dávka má jednotku **gray (Gy)** = J.kg<sup>-1</sup>.

**Dávkový příkon** - podíl přírůstku dávky  $dD$  za časový interval a časového intervalu  $dt$ , jehož jednotka je  $Gy \cdot s^{-1}$ . Je to jinak řečeno míra radioaktivity v životním prostředí; v praxi se používají odvozené hodnoty od jednotky Gy/hod - nanoGray za hodinu (nGy/h) a mikroGray za hodinu ( $\mu Gy/h$ ).

**Ekvivalentní dávka (H)** - vyjádření biologických účinků s ohledem na různé druhy ionizujícího záření (různé druhy záření mají při shodné dávce různý vliv na živou tkáň). Jednotkou je **sievert (Sv)**.

**Efektivní dávka (E)** - vyjadřují rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání z hlediska pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků (zhoubných nádorů a genetických změn).

**Kolektivní dávka (S)** - součet efektivních popř. ekvivalentních dávek všech jednotlivců v určité skupině.

### **Biologické účinky záření**

Záření způsobuje změny v buňkách, přičemž vysoké dávky záření mají až smrtelné následky. Pokud ionizující záření dopadne na živou tkáň, je absorbováno a předá tkáni svou energii. Dochází tak ke vzniku ionizovaných a excitovaných atomů a molekul. Kvůli jejich nestabilitě následuje řada biochemických a chemických dějů na buněčné úrovni, které mohou vést až k patologickým změnám organismů, jež jsou patrné i navenek.

Důsledkem poškození ozářením na molekulární a buněčné úrovni jsou morfologické a funkční změny orgánů. Rozsah poškození ovlivňuje velikost a doba působení dávky záření, plocha ozáření a citlivost na ozáření. DNA buňky může být poškozeno zářením přímo, nebo nepřímo, zasažení genu tak může vést až k úmrtí buňky. Lidské tělo je sice schopno ztracené buňky rychle nahradit, pokud ale dojde k mutaci genu důležitého pro dělení buňky, může dojít k nekontrolovatelnému dělení. Vysoké dávky záření poškozují biochemické a opravné funkce a organismus tak může ztratit schopnost účinně se bránit proti iniciaci nádoru a dalších škodlivých následků. **(5)**

## Účinky deterministické a stochastické

Z hlediska působení na vyšší organizmy se rozlišují dva hlavní druhy účinků působení ionizujícího záření. Jsou to účinky deterministické a stochastické. (5)

Deterministické účinky jsou takové účinky, při kterých dochází ke smrti buněk. Způsobují nevratná poškození buněk nebo zničení schopnosti jejich reprodukce. Do této skupiny patří například akutní nemoc z ozáření a akutní kožní změny. Z nenádorových projevů bylo také zjištěno poškození oční čočky.

Mezi stochastické účinky záření se řadí pozdní účinky ozáření a genetické účinky. Stochastické účinky jsou nahodilé. U stochastických účinků nelze přímo prokázat souvislost s ozářením. Například nádory a genetické odchylky se objevují i u jedinců, kteří nebyli vystaveni nadměrnému ozáření. Ani u postiženého vysokými dávkami záření nelze jednoznačně prokázat, zda případný nádor nevznikl spontánně. (4) Zkoumání stochastických účinků záření je založeno na metodách srovnávání populací vzájemně se lišících obdrženou dávkou záření.

*Obr. 1: Mezinárodní výstražný symbol, označující zdroj ionizujícího záření (63)*



### 1.1.1 Historie jaderných oborů v Československu

Počátky mírového využívání jaderné energie byly předznamenány objevem tzv. paprsků X (1895), "uranových paprsků" (1896) a následující izolací radia z jáchymovského smolince (1898). Naši odborníci stáli u samého zrodu nových oborů a sledovali celosvětové trendy.

Krátce po vzniku Československa, v roce 1919, byl založen Státní ústav radiologický RČS, pra-předchůdce dnešního SÚRO (podléhal Ministerstvu veřejných prací). Účelem jeho zřízení bylo badání na poli radiologie a jejího užití v lékařství, fyziologii, agronomii a průmyslu. V jeho čele stálo kuratorium složené z odborníků, výkonnými silami byli vědečtí pracovníci (dva fyzici, chemik a biolog).

V roce 1946 u nás vzniká Výbor pro atomovou fyziku při české akademii věd a umění (ČAVU).

V dubnu 1955 je podepsána československo-sovětská dohoda o sovětské pomoci při výstavbě centra jaderného výzkumu v ČSSR a o pomoci při výchově našich specialistů v jaderných oborech. Po ní následovala nabídka SSSR na poskytnutí pomoci při výstavbě experimentální průmyslové jaderné elektrárny. V této souvislosti je vládním nařízením č. 30 z 10.6.1955, zřízen Vládní výbor pro výzkum a mírové využití jaderné energie, který pro rozvoj výzkumu v jaderných vědách a technice zakládá Ústav jaderné fyziky v Řeži u Prahy. Ve stejném roce je zřízena Fakulta technické a jaderné fyziky při Universitě Karlově v Praze, jejímž úkolem bylo připravovat odborníky v souvislosti s očekávaným rozvojem jaderné energetiky a dalších oblastí mírového využívání jaderné energie. V roce 1959 fakulta přechází z University Karlovy na ČVUT a v roce 1968 mění název na dnešní Fakultu jadernou a fyzikálně inženýrskou (FJFI).

V polovině roku 1956 je Vládní výbor pro výzkum a mírové využití jaderné energie nahrazen Státním výborem pro rozvoj techniky a Ústav jaderné fyziky je převeden pod Československou akademii věd a následně přejmenován na Ústav jaderného výzkumu (ÚJV). Výzkumný ústav hygieny záření (dnes SÚRO) vznikl v r. 1965. **(64)**

### 1.1.2 Důležité instituce působící v oblasti jaderných technologií

- **Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB, <http://www.sujb.cz/>)**

Důvodem založení SÚJB je vykonávání státní správy a dozoru nad využíváním jaderné energie a ionizujícího záření, stanovení základních podmínek zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, havarijní připravenosti a fyzické ochrany a výkon státní správy a dozoru při využívání jaderné energie a při činnostech vedoucích k ozáření, vytvoření státem garantovaného režimu pro zajištění bezpečného ukládání radioaktivních odpadů a havarijní připravenost pro případ radiačních nehod. (22)

- **Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, v.v.i. (SÚJCHBO, <http://www.sujchbo.cz/>)**

Ústav byl zřízen za účelem zajištění výzkumné a vývojové činnosti, zaměřené zejména na identifikaci a kvantifikaci radioaktivních, chemických a biologických látek, vč. hodnocení a vývoje individuálních a kolektivních prostředků ochrany člověka před těmito látkami a dekontaminaci. Jeho dalším úkolem je provádění činnosti ve veřejném zájmu, a to zejména na základě požadavků státních orgánů, organizačních složek státu a územních samosprávných celků s cílem poskytnout těmto orgánům a organizacím odborné podklady pro jejich rozhodovací činnost, pomoc při plnění jejich úkolů, včetně činnosti vzdělávací a výcvikové. (22)

- **Ústav jaderného výzkumu v Řeži (ÚJV, <http://www.nri.cz/>)**

Akciová společnost zabývající se výzkumem a vývojem v oblastech reaktorové fyziky, palivového cyklu, bezpečnostních analýz, těžkých havárií, pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti, havarijní připravenosti, diagnostiky a spolehlivosti stávajících i nových reaktorových technologií. (24)

- **Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO, <http://www.surao.cz/>)**

SÚRAO vzniká v roce 1997 jako organizační složka státu, jejíž činnost je financována z tzv. jaderného účtu. Úkolem SÚRAO je zajišťování bezpečného ukládání radioaktivních odpadů tak, aby byla dodržena ochrana člověka a životního prostředí

před negativními účinky. Tato organizace podléhá zákonu č. 18/1997 Sb. Atomového zákona a mezi své činnosti řadí evidenci původců radioaktivních odpadů, kontrolu tvorby rezervy na vyřazování z provozu, přebírání radioaktivních odpadů a jejich následné uložení a odvody původců radioaktivního odpadu (RAO) na jaderný účet. (25)

- **Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. (SÚRO, <http://www.suro.cz/>)**

SÚRO je rozpočtovou organizací zřízenou rozhodnutím předsedy SÚJB ze dne 26.5.1995 s účinností od 1.7.1995. Převážná část ústavu vznikla delimitací z Centra hygieny záření Státního zdravotního ústavu (SZÚ) v Praze, na jehož dlouholetou činnost navazuje. Základními funkcemi SÚRO jsou zajištění odborné, metodické, vzdělávací, informační a výzkumné činnosti související s výkonem státní správy v ochraně před ionizujícím zářením na území České republiky. (22)

### **1.1.3 Vývoj v oblasti nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem**

Systém nakládání s radioaktivními odpady v ČR (27) má poměrně dlouhou historii. Radioaktivní odpady vznikaly ve větším rozsahu v ČR již od počátku osmnáctého století, v souvislosti s využíváním uranu a rádia. Od roku 1959 se vytvářel celostátní systém svozu a zneškodňování radioaktivních odpadů vzniklých ve výzkumu, zdravotnictví, průmyslu a v jiných neenergetických oblastech. Provoz systému zajišťoval Ústav pro výzkum, využití a výrobu radioizotopů. Součástí systému byla úložiště radioaktivních odpadů Hostím (již uzavřené), od roku 1964 úložiště Richard (28) u Litoměřic a od roku 1972 úložiště Bratrství (29) u Jáchymova. Provoz úložiště Hostím byl zahájen v roce 1959 a ukončen v roce 1963. V roce 1995 bylo rozhodnuto o jeho uzavření, které se uskutečnilo v roce 1996. Před uzavřením byly z úložiště vyvezeny rizikové odpady a v úložišti je uloženo méně než 0,1 TBq radioaktivity. Úložiště je trvale monitorováno. Náklady na trvalé zneškodnění neenergetických radioaktivních odpadů byly do roku 1990 hrazeny státem. Od roku 1991 původci odpadů hradili pouze náklady související s úpravou radioaktivních odpadů pro uložení. Přijetím atomového zákona byla zavedena povinnost původců radioaktivních odpadů

hradit i náklady na trvalé uložení a tyto platby se uskutečnily až po převzetí úložišť radioaktivních odpadů státem.

Obr. 2: Úložiště Richard (30)

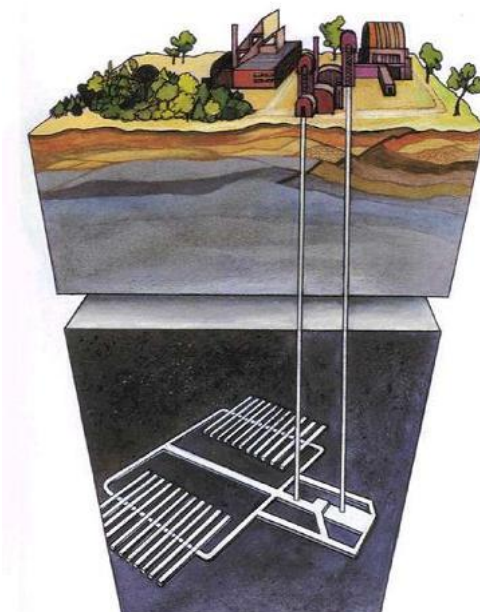


V roce 1981 byla schválena vládní koncepce zneškodňování radioaktivních odpadů z provozu jaderných reaktorů, která zahrnovala mj. výstavbu povrchového regionálního úložiště v ČR. RaO z provozu elektrárny Dukovany (4 reaktory dobudovány postupně v letech 1985-87) jsou v regionálním úložišti v jejím areálu ukládány od roku 1994. Toto úložiště je určeno i k přijetí radioaktivních odpadů z provozu jaderné elektrárny Temelín a pro radioaktivní odpady určitých kategorií, které vzniknou v souvislosti s vyřazováním jaderných elektráren z provozu. V roce 1995 byl zprovozněn sklad vyhořelého jaderného paliva v jaderné elektrárně Dukovany v jejím areálu a v roce 2010 v jaderné elektrárně Temelín.

Použité jaderné palivo a vysokoaktivní odpady mají společného jmenovatele – velmi dlouhou dobu, po kterou si uchovávají své nebezpečné vlastnosti. Proto je ukládání tohoto druhu jaderného odpadu situováno do tzv. hlubinných úložišť. Hlubinné úložiště jaderného odpadu je uměle vyhloubený nebo pečlivě upravený podzemní prostor situovaný do hlubokých stabilních geologických vrstev. Přednost před úpravou starších důlních děl se dává zbudování úložiště nového, a to v neporušeném geologickém prostředí, v oblasti, kde nehrozí vulkanická činnost, zemětřesení nebo zaplavení.

Práce na projektu hlubinného ukládání použitého paliva pokračují i v ČR. Základním rámcem pro budoucí výběr lokality hlubinného úložiště je Koncepce nakládání s radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem z roku 2002, **(12)** která ukládá nalezení dvou lokalit (hlavní a záložní) s nejlepšími geologickými podmínkami, v souladu se zachováním předpokládaného rozvoje zájmové oblasti. Druhý významný dokument schválený vládou v roce 2008 – Politika územního rozvoje ČR **(34)** - ukládá provedení výběru dvou nejvhodnějších lokalit pro realizaci hlubinného úložiště do roku 2015, a to za účasti obcí.

*Obr. 3: Schéma hlubinného úložiště (65)*





Příprava hlubinného úložiště byla zahájena již v roce 1990. V případě potřeby by se v něm použité palivo mohlo v kontejnerech ukládat v hloubkách několika set metrů do prostoru vybudovaného v neporušené skalní formaci, která je geologicky, seismicky a hydrogeologicky stabilní. Obdobné žulové formace zkoumají vědci v podzemních laboratořích ve Švýcarsku a v Kanadě. Úložné kontejnery, jejich obložení bentonitem a řešení hlubinného úložiště odpovídá řešením přijímaným ve většině zemí. **(6)**

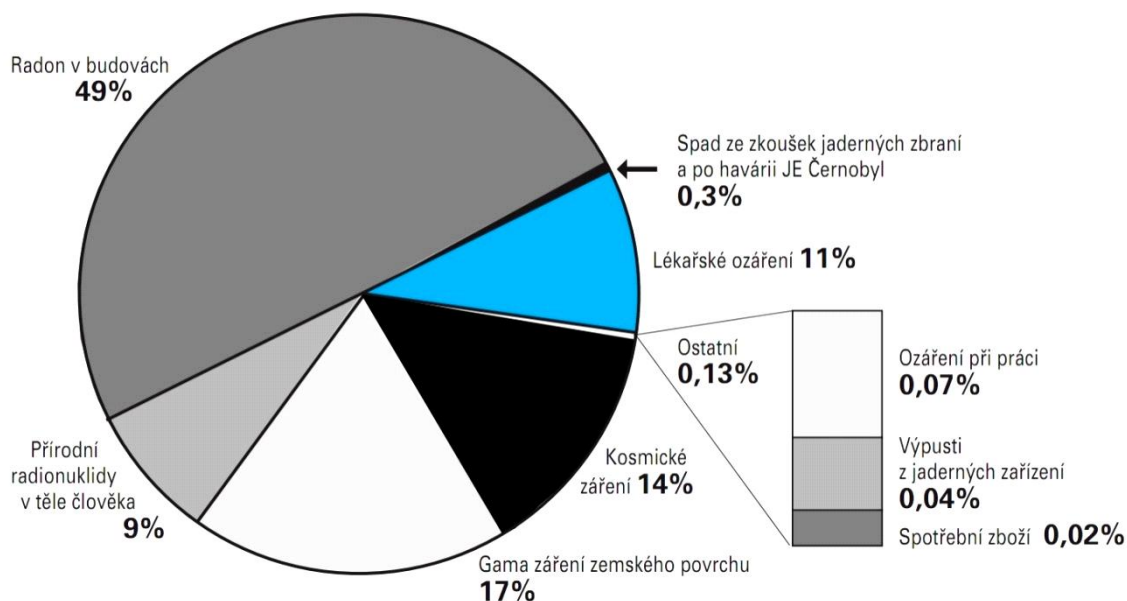
Dlouhodobým uložením se míní časový úsek srovnatelný s geologickými časovými obdobími v měřítku delším než 10 tisíc let, spíše však 40 až 100 tisíc let. Vybudování hlubinného úložiště proto předchází náročná vývojová činnost a průzkumné práce. Letecká geofyzikální měření proběhla v ČR na podzim 2003. Zahájení provozu hlubinného úložiště v podmínkách ČR se předpokládá okolo roku 2065. Do této doby bude použité jaderné palivo bezpečně skladováno v kontejnerech v suchých nadzemních skladech. **(35)**

## **1.2 Zdroje ionizujícího záření**

Radioaktivní odpady vznikají při mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření, v průmyslové výrobě, zdravotnictví, zemědělství a výzkumu. Současná míra využívání jaderné energie a ionizujícího záření v ČR je srovnatelná s ostatními vyspělými státy. V důsledku vyřazování dožívajících starších jaderných zařízení se v současné době dostává do popředí zájmu monitorování radioaktivních odpadů a jejich uvolňování do životního prostředí.

Průměrné ozáření obyvatel v ČR z přírodních zdrojů je 3–3,5 mSv (nejvíce z radonu v podloží, budovách a v podzemních vodách, na které připadá zhruba polovina dávky). Průměrné ozáření z umělých zdrojů, tj. z těch, které vytváří člověk svojí činností, se na celkovém ozáření podílí asi jednou šestinou. Z nich nejvíce přispívají lékařská ošetření (včetně rentgenového vyšetření) a radioaktivní spad (zkoušky jaderných zbraní). **(26)**

Obr. 4: Podíl průměrného ozáření člověka z různých zdrojů (14)



### Přírodní zdroje:

1. Kosmické záření ze Slunce a z vesmíru. Některé složky vznikají v atmosféře Země srážkami s primárním kosmickým zářením. Dávka kosmického záření se zvětšuje s nadmořskou výškou.
2. Rozpadem radia v zemské kůře vzniká radioaktivní plyn radon, který z podloží proniká do domů nebo do pitné vody. Radon je zářičem alfa, záření tedy není nebezpečné pro povrch našeho těla. Nebezpečné je vdechování tohoto plynu, neboť dceřiné produkty vzniklé přeměnou radonu se mohou usadit v plicích a způsobit tak ozáření nechráněné plicní tkáně.
3. Zemská kůra obsahuje přírodní radioaktivní prvky, nejčastěji uran, thorium, radium.
4. Významným přírodním radioizotopem je izotop draslíku  $^{40}\text{K}$ . Obsahují ho takřka všechny potraviny i naše vlastní tělo. Přírodní radionuklidy obsahuje i vzduch a voda.

### Umělé zdroje:

5. Televizní nebo počítačové obrazovky, svítící ciferníky hodinek a přístrojů, průmyslové zářiče používané v defektoskopii, ke sterilizaci nebo ve výzkumu.

6. Z umělých zdrojů záření představují největší podíl lékařské aplikace - použití záření a radionuklidů při vyšetření nebo při léčení např. rakoviny.

7. Jaderné elektrárny, výroby paliva, přepracovací závody a úložiště jaderného odpadu přispívají k celkovému průměrnému ozáření asi setinou procenta.

### 1.2.1 Druhy radioaktivních odpadů

Radioaktivní odpady zauímají téměř celé spektrum různě aktivních látek plyných, kapalných či pevných skupenství, tudíž je rozřídění velice složité a řídí se množstvím rozličných kritérií, které se do dnešních dnů nepodařilo seskupit v jedno závazné pravidlo, podle kterého by se prováděla klasifikace po celém světě. Je to dáno jednak různými pohledy na daný problém, ale především je to neexistence směrodatných hranic některých důležitých kritérií, které by se daly považovat za obecně platné a neměnné, a proto si jednotlivé země vytvořily svá závazná pravidla, kterými se nadále řídí. Celosvětově je snaha tyto diference odstranit nebo alespoň minimalizovat, aby bylo možno plošně určovat přesná a jasně vyložitelná pravidla ve všech částech světa. Na tomto místě je potřeba uvést, že veškeré tyto snahy se převážně týkají jen klasifikace dle aktivity a dlouhodobosti radioaktivního odpadu. (1)

Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v ČR, schválená vládou 15. 5. 2002, používá kategorie radioaktivních odpadů odpovídající podmínkám příslušných předpisů, které definují jejich kritéria příjmu do příslušných provozovaných úložišť. Tyto kategorie jsou v souladu i se čtyřmi hlavními kategoriemi podle doporučení MAAE. Těmto kategoriím radioaktivních odpadů odpovídají tři hlavní způsoby jejich zneškodnění – skladování do doby jejich přirozeného rozpadu, povrchové nebo podpovrchové uložení krátkodobých radioaktivních odpadů a hlubinné uložení dlouhodobých radioaktivních odpadů:

- a) radioaktivní odpady, jejichž radioaktivita poklesne na hodnoty umožňující jejich uvedení do životního prostředí za méně než 5 let (a po té budou vyňaty z působnosti atomového zákona), obecně nazývané *přechodné radioaktivní odpady*,

- b) radioaktivní odpady krátkodobé, které lze je přijmout do povrchových nebo podpovrchových úložišť, obecně nazývané *nízko a středně radioaktivní odpady krátkodobé*,
- c) radioaktivní odpady, které obsahují příliš velké množství dlouhodobých radionuklidů a které je možné uložit do hlubinných úložišť, obecně nazývané *nízko a středně radioaktivní odpady dlouhodobé*,
- d) radioaktivní odpady, které generují nezanedbatelné množství tepla (např. odpady vznikající při přepracování vyhořelého jaderného paliva, po prohlášení za odpad i vyhořelé jaderné palivo) a tyto odpady mohou být umístěny do hlubinných úložišť, obecně nazývané *vysoce radioaktivní odpady*.

*Nízkoaktivní odpady* vznikají převážně jako odpady z provozů. Řadíme mezi ně například kovy, papírové a plastické obaly, vzduchotechnické filtry, kontaminované nářadí, drobný odpad ze sběrných míst nebo odpad vzniklý při opravách a údržbě, ochranné oděvy a ručníky.

*Středně aktivními odpady* jsou například konstrukční materiály palivových souborů a povlaky paliv. Většina pevných jaderných odpadů tedy patří mezi *nízkoaktivní*, popř. *středněaktivní* odpady. K nakládání s *nízkoaktivním* a *středněaktivním* jaderným odpadem se využívá technologie nízkotlakého lisování a bitumenace. Technologie bitumenace, použitá na úpravu kapalných radioaktivních odpadů v obou jaderných elektrárnách, zaručuje dlouhodobou stabilní ochranu proti účinkům radiace, vyznačuje se nízkou loužitelností a cca 2,5násobnou redukcí objemu.

Mezi *vysoce aktivní odpady* pak patří především štěpné produkty, které vznikly v jaderném reaktoru ozářením jaderného paliva. Vyhořelé jaderné palivo obsahuje pouze 3,5–4,5 % vysoce aktivních štěpných produktů. Jaderné palivo používané v našich jaderných elektrárnách je oxid uraničitý  $UO_2$  s uranem mírně obohaceným o štěpitelný izotop 235 (obohacení na 2–4 % celkového množství uranu; v přírodním uranu je jen asi 0,7 % izotopu 235). Použité jaderné palivo lze po přepracování znovu použít, není proto považováno za typický jaderný odpad. (1) I po eventuálním přepracování použitého jaderného paliva nicméně zbývá vysoce aktivní odpad, který je nutné bezpečně uložit.

Mimo nejdůležitější klasifikace podle aktivity a dlouhodobosti je možné radioaktivní odpad dále členit podle fyzikálních, chemických a biologických vlastností a také podle původu a vzniku odpadu.

Tab. 1: Obecná klasifikace dle obsahu radionuklidů

Nízko aktivní odpady	$10^9 \text{ Bq/m}^3$
Středně aktivní odpady	$10^9 - 10^{14} \text{ Bq/m}^3$
Vysoce aktivní odpady	více jak $10^9 \text{ Bq/m}^3$

Zdroj: Principy a praxe radiační ochrany

Tab. 2: Obecná klasifikace dle poločasu rozpadu radionuklidů

Přechodně radioaktivní odpady	poločas rozpadu je menší než 5 let
Krátkodobě radioaktivní odpady	poločas rozpadu v rozmezí 5 až 30 let
Dlouhodobě radioaktivní odpady	poločas rozpadu vyšší jak 30 let

Zdroj: Principy a praxe radiační ochrany

Třídění radioaktivních odpadů podle fyzikálních vlastností je velice důležité. Jedná se především o klasifikaci dle skupenství odpadu, od kterého se následně odvíjí opatření pro izolaci, manipulaci, přepravu, dekontaminaci, skladování, uložení atd. Určující jsou i mechanické vlastnosti, především lisovatelnost je rozhodující faktor, který pokud se bere v úvahu již při volbě materiálu při výrobě, může zcela zásadně ovlivnit finální objem a rozměry odpadů. Dalším určujícím kritériem pro klasifikaci jsou chemické vlastnosti jako např. hořlavost, těkavost, reaktivita, obsah žiravin, solí, nebezpečných látek atd. Dále je nutno podotknout, že velice významnou roli hraje klasifikace odpadů podle jejich původu a místa vzniku. Existují dvě hlavní skupiny radioaktivních odpadů, první je odpad, který vzniká v palivovém cyklu, a druhou je institucionální odpad. Tyto dvě skupiny se od sebe velice významně liší hlavně množstvím, složením a aktivitou odpadu. **(1)**

### 1.2.2 Doporučení MAAE pro klasifikaci radioaktivních odpadů

V roce 1994 vydala MAAE doporučující dokument pro klasifikaci radioaktivních odpadů. Rozdělení charakterizuje tabulka 3.

Tab. 3: Klasifikace radioaktivních odpadů (MAAE 1994)

KATEGORIE	CHARAKTERISTIKA	DOPORUČENÝ TYP ÚLOŽIŠTĚ
1. odpady potenciálně uváděné do životního prostředí	roční dávka připadající na vrub ozáření jednotlivce z obyvatelstva musí být nižší nebo rovna efektivní dávce 0,01 mSv	žádné omezení
2. nízko a středně aktivní odpady	aktivita radionuklidů je natolik nízká, že při jejich ukládání není nutno brát v úvahu vznik rozpadového tepla	povrchová nebo podpovrchová
2a. nízko a středně přípovrchové aktivní odpady krátkodobé	obsahují radionuklidy o poločasu přeměny menším než 30 let a měrná aktivita dlouhodobých nuklidů nepřesahuje 4000 Bq/g v jednotlivé obalové jednotce, resp. 400 Bq/g jako průměr pro celé úložiště	povrchová nebo podpovrchová
2b. nízko a středně aktivní odpady dlouhodobé	měrná aktivita dlouhodobých radionuklidů přesahuje limity uvedené v 2a	hlubinné
3. vysoce aktivní odpad	aktivita radionuklidů je tak vysoká, že při jejich ukládání je třeba brát v úvahu vznik přeměnového tepla. Hranicí hlubinné je hodnota tepelného výkonu 2 kW/m <sup>3</sup>	hlubinné

Zdroj: DLOUHÝ, Z. Nakládání s radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem

## **V r. 2009 MAAE publikovala následující šestitřídové upřesnění. (9)**

### **1. Exempt waste - Odpady s radioaktivitou nižší než jsou uvolňovací úrovně**

Tyto odpady obsahují tak nízké úrovně radiace, že je možné s nimi zacházet bez jakýchkoliv omezení.

### **2. Very short-lived waste - Velmi krátkodobé odpady**

Velice často jde o institucionální odpady obsahující krátkodobé radionuklidy, např.  $^{192}\text{Ir}$  a  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Tyto odpady musí být umístěny do vymíracího skladu a poté se s nimi může volně zacházet. Doba rozpadu obsažených radionuklidů by měla být nižší než 100 dní.

Tato třída zahrnuje především odpady vzniklé ve výzkumu a lékařství.

### **3. Very low level waste – Velmi nízko aktivní odpady**

Do této skupiny se řadí především odpady z těžby (hlušina), slabě kontaminované materiály z vyřazených jaderných zařízení. Nevyžadují vysokou kontrolu. Velice často se tyto odpady umísťují na kontrolované skládky. Typicky sem patří půda a sutě s nízkou úrovní radioaktivity, které pocházejí z míst dříve zamořených radioaktivitou.

### **4. Low level waste – Nízko aktivní odpady**

Podmínkou pro zařazení odpadu do této skupiny je nízký obsah dlouhodobých radionuklidů. Obsah radionuklidů o vyšších aktivitách již vyžaduje nutnost stínění. Mezní hodnota povrchové efektivní dávky je 2 mSv/h.

### **5. Intermediate level waste – Středně aktivní odpady**

Tyto odpady obsahují již větší množství dlouhodobých radionuklidů a je tedy nutnost jejich izolace od životního prostředí. Vývin tepla se nemusí brát v potaz. Úložné prostory takovýchto odpadů musí být již ve značné hloubce, až stovky metrů.

### **6. High level waste – Vysoce aktivní odpady**

Tato skupina odpadů obsahuje značné množství jak dlouhodobých radionuklidů, tak i krátkodobých radionuklidů o vyšších aktivitách. Tyto odpady musí být umístěny do větších hloubek oproti předchozí skupině. Je nutné brát v potaz značný vývin tepla. Typický rozsah koncentrace aktivity je 10<sup>4</sup>-10<sup>6</sup> TBq/m<sup>3</sup>. Patří sem vyhořelé jaderné palivo, odpad po přepracování, regulační tyče a ostatní vysoce aktivní odpad. Měl by být uložen v hlubinném úložišti ve stabilní geologické formaci obvykle několik set metrů nebo více pod povrchem.

### **1.2.3 Klasifikace radioaktivních odpadů dle vyhlášky č. 307/2002 Sb.**

#### **1. Přejídné RaO**

Odpady, které po dlouhodobém skladování (maximálně 5 let) vykazují radioaktivitu nižší, než jsou uvolňovací úrovně.

#### **2. Nízko a středně aktivní RaO krátkodobé**

Odpady, u nichž poločas obsažených radionuklidů je menší než 30 let (včetně <sup>137</sup>Cs) a u nichž je omezena hmotnostní aktivita dlouhodobých alfa zářičů (v jednotlivém obalovém souboru maximálně 4000 kBq/kg a střední hodnotě 400 kBq/kg v celkovém objemu odpadů vyprodukovaných za kalendářní rok).

#### **3. Nízko a středně aktivní RaO dlouhodobé**

Odpady, které nepatří do podskupiny krátkodobých radioaktivních odpadů.

#### **4. Vysokoaktivní RaO**

Odpady, u kterých musí být při jejich skladování a ukládání zohledněno uvolňování tepla z rozpadu radionuklidů v nich obsažených. **(23)**

### **1.2.4 Původci radioaktivních odpadů**

Podle původu dělíme radioaktivní odpady na tyto dvě hlavní skupiny: odpady z jaderného palivového cyklu a institucionální odpady. **(5)** Obě skupiny se výrazně liší charakterem a množstvím vyprodukovaného odpadu. Co se množství týče, zaujímá institucionální odpad ve většině zemí s vlastním jaderným programem jen asi jednu desetinu z celkové produkce všech radioaktivních odpadů. **(1)**

### **1.2.5 Nakládání s radioaktivním odpadem**

Odpovědnost za bezpečné ukládání radioaktivních odpadů v ČR převzal na základě atomového zákona (§ 26 zákona č. 18/1997 Sb.) stát. Pro související činnosti založil organizační složku - Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO).



Způsoby nakládání s radioaktivními odpady jsou jejich shromažďování, třídění, zpracování, úprava, skladování a ukládání. Při nakládání s radioaktivními odpady se kromě radioaktivity vezmou v úvahu všechny jejich nebezpečné vlastnosti, které by mohly bezpečnost nakládání s nimi ovlivnit, zejména toxicita, hořlavost, výbušnost, samovolná štěpitelnost, vznik kritické hmoty nebo zbytkového tepla.

### **Shromažďování a třídění**

Radioaktivní odpady nebo jejich směsi s jinými látkami jsou v místě jejich vzniku sbírány zejména podle použitých způsobů zpracování a úpravy, a pokud je to technicky možné a zdůvodnitelné, i tříděny. Radioaktivní odpady nebo jejich směsi s jinými látkami jsou tříděny podle použitých způsobů zpracování a úpravy. Třídění se provádí podle fyzikálních a chemických vlastností.

### **Zpracování**

Zpracování radioaktivních odpadů znamená, že využitelné látky se v co největší možné míře oddělují a vracejí k opětovnému použití tak, aby množství zbylých odpadů a radioaktivních odpadů bylo co nejmenší.

### **Úprava**

Úprava radioaktivních odpadů změnou jejich fyzikálních nebo chemických vlastností, popřípadě jejich obalem musí být provedena tak, aby byla zajištěna jejich bezpečná přeprava, skladování a uložení. Úprava radioaktivních odpadů obvykle zahrnuje zpevnování radioaktivních odpadů a jejich vpravení do obalových souborů.

### **Skladování**

Sklad radioaktivních odpadů musí svým vybavením odpovídat druhu skladovaného radioaktivního odpadu, zejména:

a) nádrže s kapalnými radioaktivními odpady musí být zajištěny proti přeplnění a jejich zaplnění musí být kontrolováno; nádrže musí být umístěny v ochranných jímkách, které pojmu s dostatečnou zálohou objem nádrže; ochranné jímky musí být vodotěsné, opatřené signalizací úniku z nádrží a vybavené zařízením pro jejich

odčerpání; výpary z nádrží a jímek musí být odváděny a zpracovávány jako radioaktivní odpady,

b) obsah skladovacích a shromažďovacích nádrží musí být možné vyčerpat; každý systém skladovacích nebo shromažďovacích nádrží musí mít vždy, jako havarijní zálohu, prázdnou nádrž o objemu odpovídajícímu největší nádrži systému,

c) skladují-li se kapalné radioaktivní odpady v nádobách, musí být podlaha a stěny skladu nepropustné do takové výše, aby bylo zabráněno při úniku maximálního množství skladovaných kapalných radioaktivních odpadů jejich proniknutí do životního prostředí; podlaha musí být spádována do bezodtokové nepropustné jímkou,

d) sklad radioaktivních odpadů musí být chráněn proti negativním povětrnostním vlivům, zejména atmosférickým srážkám; stav a vybavení skladu držitel povolení pravidelně kontroluje.

Při skladování radioaktivních odpadů se požaduje, aby

a) upravené radioaktivní odpady byly skladovány tak, že nehrozí změny vlastností, které by mohly znemožnit jejich uložení,

b) držitel povolení stanovil nejvyšší skladované množství radioaktivních odpadů,

c) byly bezpečně skladovány v místě jejich vzniku nebo na pracovišti, nemohou-li být upraveny a odvezeny do dlouhodobého skladu nebo úložiště,

d) s radioaktivními odpady bylo možné bezpečně manipulovat po celou dobu jejich skladování včetně radioaktivních odpadů v obalových souborech.

### **Ukládání**

Na úložiště radioaktivních odpadů, kromě obecných požadavků pro jaderná zařízení a pracoviště IV. kategorie, jsou kladeny takové požadavky, aby

a) úložné prostory úložiště byly chráněny proti obousměrnému průsaku vod a do uzavření úložiště byl vyloučen dlouhodobý kontakt uložených radioaktivních odpadů s vodou,

b) úložiště bylo chráněno proti záplavě a zatopení vodami, zejména srážkovými nebo důlními.

Provoz úložiště je ukončen jeho uzavřením. Systém sledování úložiště a jeho okolí musí, kromě požadavků pro monitorování, poskytovat dostatečný přehled o případném vniknutí vody do úložiště při jeho zaplňování a úniku radionuklidů z úložiště do okolního prostředí, přitom tento systém nesmí snižovat těsnost a celistvost úložiště.

**(23)**

### **1.2.6 Jaderný účet**

Pro zajištění ukládání všech vzniklých i budoucích radioaktivních odpadů – použité palivo není výjimkou – provozovatel pravidelně odvádí finanční prostředky na tzv. jaderný účet, který je zřízen u České národní banky a je spravován Ministerstvem financí ČR. Do něho vkládá provozovatel z každé MWh elektřiny vyrobené v jaderné elektrárně 50 Kč.

Na jaderný účet připívají všichni původci radioaktivních odpadů ve výši podle vyhlášky č. 416/2002 Sb. Obce, na jejichž katastru leží úložiště radioaktivních odpadů, obdrží z účtu 1,5 mil. Kč ročně.

Každý vlastník povolení pro provoz jaderného zařízení – kromě odvádění příspěvků na jaderný účet – vytváří podle atomového zákona finanční rezervu na likvidaci tohoto zařízení.

Na jaderném účtu se také shromažďují prostředky k vybudování hlubinného úložiště, které byly v tzv. referenčním projektu vyčísleny na 47 mld. Kč v cenách z roku 1999. Z větší části se tyto náklady vztahují především k průzkumu vhodných lokalit a výzkumu horninového prostředí na vybrané lokalitě. V roce 2009 bylo na Jaderném účtu uloženo cca 13 miliard korun a každý rok přibývá částka kolem 1,4 mld. korun.

**(16)**

### **1.2.7 Vyhořelé jaderné palivo**

Vyhořelé palivo obsahuje zhruba 96% původního uranu, v němž se ovšem obsah původního štěpitelného  $^{235}\text{U}$  snížil na méně než 1%. Okolo 3% vyhořelého paliva představuje odpad a zbývající 1% je plutonium (Pu), vzniklé ještě v době, kdy palivový článek byl v reaktoru.

Vyhořelé jaderné palivo zaujímá necelé 1 % z objemu celosvětových radioaktivních odpadů, představuje však více než 90 % celkové radioaktivity všech odpadů.

### **1.2.8 Skladování vyhořelého jaderného paliva**

V případě vyhořelého paliva a vysokoaktivních odpadů se požaduje dlouhodobější skladování, neboť pro další zpracování a konečné uložení je třeba určitý čas k omezení produkce tepla a celkové aktivity v důsledku úbytku nuklidů s krátkým poločasem rozpadu. Pro skladování vyhořelého paliva se používají tři koncepty (IAEA 1995):

- mokré skladování v bazénech s vodou
- suché skladování ve svislých tlustostěnných kontejnerech
- suché skladování v sudech umístěných ve vodorovných či svislých chodbách s posílenou betonovou klenbou

Výhodou suchého skladování je nižší pravděpodobnost havárie, neboť nevyžaduje systém aktivního chlazení. Rovněž hrozba koroze konstrukčních prvků paliva je v tomto případě nižší. Z těchto důvodů a zároveň kvůli nižším nákladům se v poslední době suché skladování v kontejnerech preferuje. Na druhé straně hrozba mechanického poškození paliva je v případě suchého skladování vyšší a kontejnery proto musí zůstat uzavřeny po několik desítek let. Dlouhodobé chování lze jen obtížně předpovědět. Závisí na typu paliva i kontejneru a způsobu ukládání, ovšem dosavadní zkušenost je příliš krátká pro přesné posouzení.

Palivová vsázka v Jaderné elektrárně Dukovany původně předpokládala využití jaderného paliva v tříletém cyklu. V roce 1997 se uskutečnil přechod na čtyřletý cyklus. Palivové články pro tlakovodní reaktory jsou pokryty obalem ze slitiny zirkonia. Na konci každého palivového cyklu, tj. období určeného pro výměnu použitého paliva, se palivové články z aktivní zóny vyjmou a převezou se pod vodou do bazénu použitého paliva; ten je umístěn vedle reaktoru.

Obr. 5: Bazén vyhořelého paliva v elektrárně (66)



Aktivní zóna reaktoru VVER 1000 JE Temelín obsahuje 163 palivových kazet, z nichž se každé čtyři roky vymění 41–42. Kapacita bazénu použitého paliva je 680 míst pro palivové kazety a 25 míst pro hermetická pouzdra. V bazénu zůstávají 5 až 10 let. Za tu dobu klesne jejich radioaktivita a teplota asi na polovinu a je možné s nimi dále manipulovat.

Tento proces, nazýván mokrý způsob skladování, je dnes v jaderných elektrárnách ve světě nejrozšířenější. Použité palivo se skladuje ve vodních bazénech buď přímo u reaktoru, nebo mimo něj. Voda zajišťuje spolehlivý odvod tepla i ochranu obsluhy elektrárny před zářením. Snadná je i vizuální kontrola vyhořelého paliva. Nevýhodou je potřeba stálého chlazení a čištění vody, přičemž vznikají kapalné radioaktivní odpady. Provozní náklady jsou vyšší než u suché metody skladování.

K transportu i skladování použitého paliva se v českých jaderných elektrárnách používají speciální dvouúčelové kontejnery. Tyto kontejnery, nazývané také obalové soubory, umožňují, aby v případě potřeby transportu paliva nebylo třeba použité palivo

ze skladovacích kontejnerů překládat do transportních kontejnerů. Použité palivo je v dukovanském skladu uloženo v 60 dvouúčelových (transportních a skladovacích) kontejnerech typu Castor 440/84 německého dodavatele GNS Nukem. Životnost těchto kontejnerů je minimálně 60 let. Kapacita jednoho kontejneru (10 tun použitého jaderného paliva) odpovídá přibližně roční produkci jednoho reaktoru.

Obr. 6: Castor (15)



Kontejner je z tvárné litiny, koš z bórovaného hliníku, neutronové stínění zajišťuje polyethylen. Vnitřní prostor kontejneru je vyplněn heliem o nižším tlaku, než je tlak atmosférický. Těsnost je zajišťována dvojnásobně, tj. dvěma víky. Helium v prostoru mezi víky má oproti atmosféře přetlak 0,6 Mpa. Každé víko má jedno těsnění kovové a jedno elastomerové. Třetí víko je krycí a slouží jako ochrana před vnějšími vlivy. Kontejner má vnější průměr cca 2,6 m a výšku 4,2 m. Hmotnost prázdného kontejneru je 93,7 t. Teplota povrchu kontejneru nepřekročí 85 °C.

Použité palivo se do kontejneru vkládá pod vodou v části bazénu použitého paliva přímo v reaktorovém sále. Následně se voda odstraní, kontejner se vakuově

vysuší a naplní heliem. Poté je zkontrolována jeho těsnost a je převezen do skladu použitého paliva. Tam se dokončí příprava kontejneru pro skladování a umístí se na určenou skladovací pozici, kde bude přirozeným prouděním vzduchu ochlazován. Druhý dukovanský sklad použitého paliva má kapacitu 133 kontejnerů typu CASTOR 440/84M.

Z důvodu odlišné konstrukce reaktoru je v jaderné elektrárně Temelín použit jiný typ kontejneru německé firmy GNS, a to CASTOR 1000/19. Principiálně se jedná o příbuzný typ obalového souboru používaného v jaderné elektrárně Dukovany. Hlavní odlišnost kontejneru oproti jeho předchůdci se nalézá v jeho nitru. Jedná se o novou konstrukci koše, která již není tvořena pouze prizmatickými profily, nýbrž obsahuje po výšce prostřídání prvky z dvou různých materiálů. Nerezové plechy plní požadavek na mechanickou odolnost, zatímco ty hliníkové spolehlivě odvádí teplo ze středu do stěn. 19 šestihranných trubek tvořících kapsy pro palivové soubory je vyrobeno z nerezové oceli s příměsí bóru, který plní funkci absorbátoru neutronů. Ve stěnách jsou po celé jejich výšce vyvrtány svislé dutiny ve dvou soustředných kružnicích vyplněné polyetylénem posilujícím stínění neutronů.

### **1.2.9 Přeprava**

Přeprava čerstvého či použitého paliva probíhá vzhledem k charakteru přepravovaného materiálu podle přesně stanovených a kontrolovaných pravidel. Zásady přepravy jaderného paliva v ČR vymezují právní předpisy, které vycházejí z doporučení Mezinárodní agentury pro atomovou energii, Mezinárodní komise pro radiační ochranu a z řady mezinárodních dohod, u nás i z atomového zákona.

Cílem souboru doporučení Mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAEA 1995) je omezení rizika na „přijatelnou“ úroveň. Bezpečnostní princip přitom spočívá především v ochraně radioaktivního materiálu dostatečným obalem. Požadavky na kvalitu obalu přitom záleží na druhu a množství radioaktivního materiálu. Kontejnery pro přepravu vysokoaktivního materiálu by se neměly porušit ani při vážné havárii. Mimo jiné jsou dimenzovány na pád z výšky 9 metrů na betonovou plochu, pád z výšky jednoho metru na ocelovou překážku, vystavení ohni při teplotě 800 °C po dobu 30



minut a ponoření do hloubky 15 m na 8 hodin. Uvedené požadavky na zmíněné obaly bývají ovšem často kritizovány. Pokud jim totiž konstrukce obalu vyhovuje, znamená to, že vydrží řadu havarijních stavů, ovšem při jiných situacích, které nelze vyloučit, není integrita obalu garantována. Například náraz rychlostí 80 km/h na kamenitý povrch nebo požár v tunelu trvající 30 minut patří k situacím, při kterých dojde k větší zátěži než v případě uvedených požadovaných hodnot. V takových případech může dojít k úniku radionuklidů a následnému ozáření osob. (5)

#### **1.2.10 Přepřacování použitého paliva**

Použité jaderné palivo lze po přepřacování energeticky využít opakovaně. Princip přepřacování využívá faktu, že i když použité jaderné palivo z jaderných reaktorů představuje méně než 1 % objemu všech radioaktivních odpadů na světě, z hlediska aktivity reprezentuje přes 90 % veškeré radioaktivity. Obsahuje nejen různé cenné prvky, které vznikly při štěpení a radioaktivních přeměnách z původního paliva, ale stále i mnoho energie. Například palivo vyjmuté z lehkovodních reaktorů pracujících v Dukovanech a Temelíně obsahuje stále ještě asi 95 % nespotebovaného uranu, z toho 1 % štěpitelného  $^{235}\text{U}$  a 1 % štěpitelného izotopu plutonia  $^{239}\text{Pu}$ . Hlavní podíl radioaktivity nesou produkty cesium  $^{137}\text{Cs}$  a stroncium  $^{90}\text{Sr}$ , oba s poločasem rozpadu okolo 30 let.

Celý proces přepřacování je velice technicky, fyzikálně, chemicky, bezpečnostně a v neposlední řadě i finančně náročný, proto jsou přepřacovací závody vybudovány a fungují pouze v těch zemích, kde je jaderný program silně rozvinutý např. Francie, Anglie, Rusko, Japonsko. Kapacita veškerých přepřacovacích závodů je jen asi  $\frac{1}{4}$  celosvětově vyprodukovaného vyhořelého jaderného paliva. Dále také přepřacování neřeší likvidaci a zneškodnění odpadů, stále je nutnost vybudovat hlubinné úložiště. I přes všechny komplikace a překážky přepřacování přináší jedno velké pozitivum a tím je zmenšení objemu konečného odpadu. Pokud by se tedy všechno vyhořelé jaderné palivo přepřacovalo, klesl by markantně celkový objem nutný pro hlubinné uložení a tím i náklady na stavbu hlubinného úložiště.



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

Přepracování si dnes mohou dovolit jen ekonomicky velmi silné země. Takto získané palivo je vždy dražší, než přírodní uran. Vzhledem k ekonomické náročnosti není technologie přepracování použitého paliva zatím příliš rozšířena – celkově se přepracovává zhruba 10 % celosvětové produkce použitého jaderného paliva.

### **1.3 Environmentální dopady využívání jaderné energie**

Kromě latentního, i když v současnosti minimálně pravděpodobného ohrožení životního prostředí nukleární válkou, jsou určitá rizika spjata i s mírovým využíváním nukleární energie v jaderných elektrárnách. Tato rizika jsou spojena jak s bezpečností jejich provozu, tak s ukládáním radioaktivních odpadů. Příkladem odvrácené katastrofy je havárie na americké jaderné elektrárně Three Miles Island (1979), při které došlo k uvolnění radioaktivních plynů, a proto byla provedena evakuace obyvatelstva v sousedství elektrárny. Katastrofě se ovšem nepodařilo zabránit v bývalém SSSR v jaderné elektrárně Černobyl (1986), kde došlo k obrovským ekonomickým škodám a dosud neuzavřeným ztrátám na lidském potenciálu; z environmentálního hlediska pak především k rozsáhlému radioaktivnímu zamoření vod a půdy. Tato katastrofa vyvolala celosvětovou nedůvěru v jadernou energetiku a prudký nárůst nákladů na zabezpečení bezpečného provozu jaderných elektráren.

Žádný stát nemá zatím uspokojivě vyřešen problém bezpečného ukládání tekutých a pevných radioaktivních odpadů. Během životnosti stávajících jaderných elektráren vznikne podle provedených odhadů několik stovek tisíc tun vysoce radioaktivního vyhořelého jaderného paliva. Navíc při výrobě jaderné energie vznikají

miliony kubických metrů nízko radioaktivních odpadů a uranové doly a úpravny produkují další odpady. Typickým rysem radioaktivních odpadů je jejich dlouhodobá nebezpečnost, daná poločasem radioaktivního rozpadu.

S radioaktivními odpady se nakládá v České republice podle tzv. atomového zákona – zákona č. 18/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Dozorem nad každým radioaktivním odpadem je pověřen Státní úřad pro jadernou bezpečnost.

### 1.3.1 Vliv provozu jaderných elektráren za životní prostředí

Samotný provoz jaderné elektrárny lze považovat za „čistý,“ neboť přímé dopady na životní prostředí jsou velmi malé. Při provozu reaktoru sice vznikají silně aktivní produkty štěpení, ty jsou však uzavřeny vnějším obalem paliva. Jaderná elektrárna zvyšuje ozáření obyvatel pouze zlomkem procenta (0,001 mSv) vzhledem k celkovému ozáření způsobeného ostatními zdroji. Odpady jaderných elektráren získávají svou radioaktivitu hlavně kvůli chladicí vodě. Podstatnou část unikajících radionuklidů zachycují čistící procesy v elektrárnách (soustav filtrů a iontoměničů). Izotopy vzácných plynů, které se uvolňují z chladicí vody do vzduchu, jsou jímány do vymírací nádrže, kde se rozpadají izotopy s krátkým poločasem rozpadu. (2)

Státní úřad pro jadernou bezpečnost stanovuje tzv. autorizované limity, které určují maximální množství radioaktivních nuklidů obsažených ve výpustích jaderných elektráren. Jsou to efektivní dávky pro člověka z kritické skupiny obyvatel. (18)

Tab. 4: Autorizované limity pro výpusti jaderných elektráren

	<b>Roční limit výpusti do ovzduší</b>	<b>Roční limit výpusti do vodoteče</b>
<b>JE Temelín</b>	40 $\mu$ Sv	3 $\mu$ Sv
<b>JE Dukovany</b>	40 $\mu$ Sv	6 $\mu$ Sv

Zdroj: SÚJB – Radiační monitorování na jaderných elektrárnách (13)

Jaderná elektrárna Temelín využila v roce 2009 tento limit v případě výpustí do ovzduší na 0,03 %, v případě výpustí do vodoteče na 22,8 %. Jaderná elektrárna Dukovany (3) čerpala autorizovaný limit výpustí do ovzduší na 0,04 %, kapalně výpustí

pak na 25,6 %. U obou elektráren měly v případě výpustí do ovzduší největší podíl na celkové efektivní dávce (13) radionuklidy  $^{14}\text{C}$ , v případě kapalných výpustí pak  $^3\text{H}$ .

### 1.3.2 Radionuklidy v životním prostředí

Radionuklidy se v životním prostředí projevují svou aktivitou. Monitorovány jsou složky v ovzduší, v povrchové a pitné vodě, v říčních sedimentech, vodárenských kalech a v potravních řetězcích. (17)

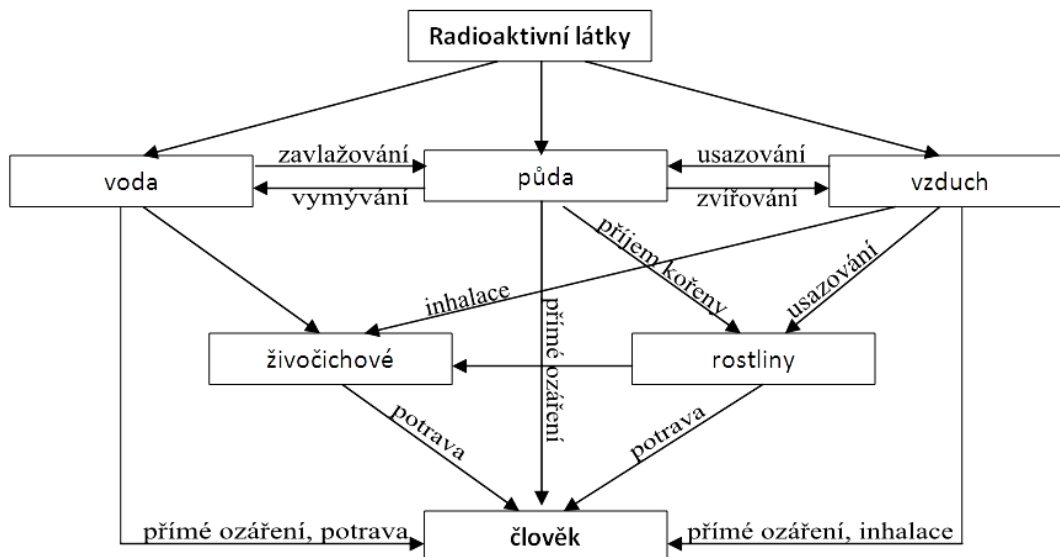
V potravních řetězcích jsou zkoumány houby, lesní plody, ovoce, zelenina, med, brambory, vzorky zvěřiny, ryb, masa a mléka. Aktivita je aditivní veličina, proto je při porovnávání různých objektů nutné vztahovat tuto veličinu na jednotkové množství. Vliv dané potraviny na člověka tak nezávisí pouze na její objemové nebo hmotnostní aktivitě, ale především na jejím celkovém zastoupení v potravě. (7)

Hromadění radionuklidů v organismech je závislé na metabolismu, fyziologických pochodech a na stavbě těla. Z hlediska morfologie akumulují větší množství radionuklidů z vody, půdy a ze vzduchu ty organismy, které mají velký povrch těla vzhledem k jejich hmotnosti. (5)

Do lidského těla se radionuklidy dostávají potravou, inhalací i resorpcí – povrchem kůže a sliznic. Vdechováním prostupují radionuklidy ve formě plynů a aerosolů do horních cest dýchacích (aerosolové částice větší než 10  $\mu\text{m}$ ) a do plic (1–5  $\mu\text{m}$ ), ve kterých zůstávají dlouhou dobu. Snadno rozpustné látky mohou prostoupit přes plicní alveoly do krve. Aerosoly, které mohou v plicích zůstat několik let, se dostávají také do trávicího traktu. I když povrchem kůže a sliznic pronikají radionuklidy pouze minimálně, při porušení povrchu kůže jsou velmi rychle vstřebány do krve (pouze rozpustné sloučeniny). (2)

Potravou přijímáme radionuklidy, které se nahromadily v rostlinných a živočišných tkáních. Rostliny získávají radioaktivitu z atmosféry –  $^{14}\text{C}$  a  $^3\text{H}$ , a z půdní vody – ostatní radionuklidy. Příjem záleží na kořenovém systému rostliny, na půdních vlastnostech a na vlastnostech radionuklidů.

Obr. 7: Šíření radionuklidů v životním prostředí (2)



Lidský organismus obsahuje téměř neměnné koncentrace přírodních radionuklidů, neboť vznikla rovnováha mezi jejich přijímáním a vylučováním. Vnitřní ozáření je dáno přijatou dávkou záření a aktivitou v dané tkáni. Úhrn biologických, chemických a fyzikálních vlastností daného radionuklidu lze vyjádřit pomocí radiotoxicity. Kombinací rizika vnějšího ozáření a radiotoxicity se vyjadřuje celkové riziko. (37) Existuje pět tříd celkového rizika ozáření, (7) přičemž nejvíce nebezpečné jsou nuklidy zařazené v 1. třídě.

Tab. 5: Rozdělení radionuklidů dle radiotoxicity a potenciálního nebezpečí vnějšího ozáření

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

Zdroj: MATĚJKA, K. Vyhořelé jaderné palivo (7)

## 1.4. Bezpečnost ukládání radioaktivních odpadů

Zásadním požadavkem ve vztahu k životnímu prostředí a ochraně zdraví obyvatelstva je bezpečnost úložiště. Je zajištěna vlastním řešením konstrukce a provozováním úložiště podle stanovených režimů a podmínek. Bezpečnost úložiště je prověřována soustavou kontrolních mechanismů.

Každý projekt skladování a ukládání radioaktivních odpadů obsahuje řadu bezpečnostních analýz. Matematickým modelováním úložiště a jeho chování za všech, a to i vysoce nepravděpodobných situací, se zkoumá možnost úniku radionuklidů do okolí. Výstupem je stanovení bezpečnostních podmínek, které musí forma odpadu i samo úložiště splňovat. Dnešní bezpečnost úložiště garantuje průběžné monitorování, stejně jako důsledná kontrola dodržování limitů, podmínek provozu i parametrů odpadů k uložení Správou úložišť radioaktivních odpadů. **(38)**

### 1.4.1 Izolace odpadů

Izolace odpadů, jako základ ochrany životního prostředí, je zabezpečena pomocí aplikace multibariérových systémů úložiště radioaktivních odpadů, kde se uplatňují jak přírodní, tak inženýrské (uměle vytvořené) bariéry proti únikům uložených odpadů a šíření kontaminace radionuklidy. Inženýrské bariéry jsou tvořeny vlastní konstrukcí úložiště, způsobem ukládání odpadů do úložiště a dále např. obalem nebo maticí, do nichž jsou odpady vloženy a ukládány. První bariérou je znehybnění radionuklidů v odolné a nerozpustné chemické formě. Tou může být u vysokoaktivních odpadů borosilikátové sklo nebo keramické materiály, u středněaktivních odpadů hlavně cement nebo bitumen (asfaltová živice). Vyzkoušeny jsou i metody tzv. synroc (synthetical rocks), což je zabudování odpadů do umělé, chemicky vytvořené, velmi trvanlivé horniny. Druhou bariérou je obal, do kterého se jaderný odpad umístí. U vysokoaktivních odpadů to je silnostěnný ocelový kontejner nebo měděná nádoba, uvažuje se i o nádobách z titanu. Od okolí by takový kontejner měl svůj obsah izolovat po dobu minimálně tisíc let. U nízkoaktivních a středněaktivních odpadů se používají plechové sudy, popř. betonové kontejnery. Ty by měly zajistit stínění před zářením po dobu 300 až 600 let. **(39)**

Obr. 8: Zakládání sudu do jímky v Dukovanech (67)



Další bariéru mohou tvořit betonové pakety nebo přebaly, do nichž se ukládají plechové sudy nebo betonové kontejnery. Jako technická bariéra slouží i stavební konstrukce na povrchu, pod úrovní terénu nebo v geologických formacích (speciální betony, nepropustné nátěry, asfaltové nebo jílové izolace a drenážní systémy).

Přírodní bariérou při ukládání radioaktivního odpadu jsou geologické vlastnosti prostředí, ve kterém je úložiště radioaktivního odpadu situováno. Při výběru lokality jsou přitom velmi přísně posuzována zákonem stanovená kritéria pro umístění těchto zařízení. Úložiště jaderného odpadu nemůže být umístěno např. v zátopové nebo krasové oblasti, v oblastech, kde by jeho přítomnost mohla mít znehodnocující vliv na zásoby podzemních či minerálních vod apod. Příznivými charakteristikami pro umístění jsou nepropustnost podloží, dostatečná vzdálenost od vodních toků nebo ploch a dostatečná vzdálenost od míst trvalého osídlení. Většinou se vybírá hornina, která se prokazatelně nezměnila za posledních několik milionů let. Hodnotí se především její

pevnost, nerozpustnost a tepelná stabilita. Za vhodné geologické formace se považují solná ložiska, jílové sedimenty, tufy, granity (žuly) a rulové horniny.

Životnost inženýrských bariér se odhaduje na 300 let, životnost hmoty, ve které jsou radionuklidy znehybněny, je až 1 milion let. Stabilita geologických formací, do nichž jsou úložiště umístována, je nejméně 70 milionů let. **(39)**

#### 1.4.2 Sledování radiační situace

Měření radiační situace v jaderných elektrárnách a v jejich okolí není ničím mimořádným. Výjimkou nejsou ani české jaderné elektrárny. Jako příklad může sloužit Jaderná elektrárna Temelín, která má při provozu obou reaktorů ve své řídicí dokumentaci stanoveny pro dávky na jedince z obyvatelstva autorizované limity:

- pro plyné výpusti  $40 \mu\text{ Sv/rok}$
- pro kapalnou výpusti  $3 \mu\text{ Sv/rok}$

Tyto limity zaručují pro obyvatelstvo v okolí elektrárny mnohem nižší úroveň efektivní dávky v důsledku výpustí, než připouští legislativa ČR. Skutečné hodnoty efektivních dávek v důsledku plyných výpustí jsou přitom podstatně nižší a zdaleka nedosahují ani hodnot „hodných pozornosti,“ které jsou podle doporučení Mezinárodní komise pro atomovou energii a Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu na úrovni  $10 \mu\text{ Sv}$  za rok. To znamená, že pod touto hodnotou se již další opatření s cílem snížení efektivních dávek neprovádějí. Hodnota  $40 \mu\text{ Sv}$  přitom představuje pouze cca  $1/60$  efektivní dávky, kterou je ozářen každý jedinec z obyvatelstva za 1 rok působením přírodní radioaktivity.

Míru radioaktivity v životním prostředí vyjadřuje veličina dávkový příkon. Průměrné hodnoty dávkových příkonů na území České republiky se pohybují okolo  $100 \text{ nGy/h}$ , lze však nalézt oblasti s hodnotami několikanásobně vyššími (ale i nižšími). Dávkový příkon se v areálu Jaderné elektrárny Temelín měří nepřetržitě pomocí 24 čidel teledozimetrického systému (TDS), která jsou schopna zaznamenat hodnoty v rozmezí od  $10 \text{ nGy/h}$  až do  $10 \text{ Gy/h}$ . Čidla TDS jsou v areálu elektrárny rozmístěna takovým způsobem, aby byla zajištěna detekce sebemenšího úniku radioaktivity z elektrárny; znamená to, že jim neunikne žádná změna hodnot dávkového příkonu

v kterémkoliv směru a systém je schopen identifikovat nejen potenciální velikost, ale i směr případného úniku radioaktivity z jaderné elektrárny.

Od září roku 2002 je v provozu systém staniček radiační kontroly okolí (SRKO), jehož sondy automaticky měří dávkový příkon v prostředí ve vybraných lokalitách v okolí elektrárny. Od roku 1991 zabezpečuje Jaderná elektrárna Temelín v tzv. zóně havarijního plánování měření dávkových příkonů dvěma dalšími nezávislými způsoby. Měření se provádějí 35 termoluminiscenčními dozimetry (TLD) a zařízením RSS 131 pro terénní měření příkonu ekvivalentní dávky.

Přísná opatření platí i pro sledování nezávadnosti odpadních vod z Jaderné elektrárny Temelín. Některé základní vlastnosti a parametry odpadních vod jsou sledovány kontinuálně, u ostatních kvalitativních parametrů odpadních vod je jednou za 14 dnů sledována jejich koncentrace v miligramech na litr, jejich okamžité množství v gramech za sekundu a celkově vypuštěné množství za rok v tunách. Pro stanovení koncentrací znečišťujících látek je odebírán 24 hodinový směsný proporcionalně slévaný vzorek s intervalem odběru maximálně 1 hodina. To znamená, že speciálním automatickým odběrovým zařízením je po 24 hodin každou hodinu odebírána část vzorku, která je pak podrobena analýze v certifikované laboratoři elektrárny.

## **1.5 Radioaktivní odpady v EU**

Jednou z velmi sledovaných oblastí je v rámci Evropské unie jaderná energetika, nakládání s jaderným odpadem a bezpečnost jaderných elektráren. Evropská komise přijala nové doporučení, jehož účelem je posílit rozsah a kvalitu informací poskytovaných členskými státy EU o radioaktivních odpadech. Doporučení definuje rozsah i obsah informací o vypouštění radioaktivních látek do životního prostředí. (40) Radioaktivní zdroje se používají – vedle energetiky – v celé řadě aplikací v průmyslu, medicíně a výzkumu. Nově přijatá legislativa má proto dva stupně. Na úrovni prevence je to zajištění detekčního systému, který bude vyhledávat „zapomenuté zdroje“ (včetně organizování kampaní na odhalení takových zdrojů coby pozůstatků z minulosti); na úrovni nápravné je to zajištění jasných odpovědností, stanovení zásahových postupů a opatření potřebných finančních prostředků.



Podle nové legislativy mají země Unie najít rychlé řešení pro skladování použitého paliva a počítat s náklady na odstavené provozny. Komise nestanoví žádná data ani povinné fondy. Státy jsou však povinny zasílat zprávy o svých jaderných zařízeních a stavu skladů. Jadernou bezpečnost mají i nadále v rukou orgány každé členské země. (41)

### 1.5.1 Hlubinné ukládání v EU

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

V současnosti v Evropské unii a ani ve světě není v provozu žádné hlubinné úložiště, které by mohlo po takto dlouhou dobu sloužit. Nejdále se v této oblasti dostali Švédové a Finové. Ve švédském Forsmarku se tamní operátor vyhořelého paliva SKB chystá v roce 2011 požádat o stavební povolení a ve finském Olkiluto už probíhá hloubení podzemní laboratoře. (42) Zahájení provozu úložiště se plánuje kolem roku 2020. Vyhořelé palivo je tak prozatím všude ukládáno v meziskladech. Evropské státy vedou v současné době debatu o vytvoření společného hlubinného úložiště, kde by jedna lokalita pokryla potřebu mnoha zemí, které buď disponují pouze malým objemem odpadu a pro něž by byla výstavba vlastního úložiště vysoce nákladná nebo které nemají pro tuto výstavbu vhodné geologické podmínky.

Příprava hlubinného úložiště jaderného odpadu a realizace výzkumných prací v podzemních laboratořích se koná v rámci mezinárodní spolupráce. Podzemní laboratoře - a především experimenty sloužící k demonstraci bezpečnosti navrhovaného úložného systému - se považují za důležitý krok v přístupu k výstavbě úložiště a v povolovacím řízení.

### 1.5.2 Příklady ukládání v Unii

V současnosti jsou v zemích EU bezpečně uloženy 2 miliony tun nízkoaktivních a středně aktivních odpadů. **(8)** Největším zdrojem těchto odpadů je likvidace jaderných elektráren po skončení provozu. Nárůst odstavovaných reaktorů lze v souvislosti s dožíváním jaderných zdrojů po 40 letech provozu očekávat v příštích deseti letech.

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

### 1.5.3 Ukládání ve vybraných státech EU

#### 1.5.3.1 Belgie

V Belgii je nakládání s radioaktivními odpady pověřena organizace ONDRAD/NIRAS, zal. 1980 (Belgian Agency for Management of Radioactive Waste and Enriched Fissile Materials). **(43)** Belgie se zaměřila na přepracování použitého paliva ve francouzském přepracovatelském závodě Cogema v La Hague. Projektuje také úložiště v hloubce cca 250 m.

Belgické úložiště má být zprovozněno okolo roku 2040, má předpoklad čtyřicetiletého provozu.

#### 1.5.3.2 Finsko

Ukládání radioaktivních odpadů ve Finsku je podle zákona nutno zajistit na území státu. Tento úkol zabezpečuje organizace Posiva Oy (zal. 1995). **(44)** Finská koncepce zneškodňování použitého jaderného paliva je založena na jeho přímém

umístění do geologického úložiště jaderného odpadu v hloubce přibližně 500 metrů. Finský jaderný program je svým rozsahem a zvažovanou hostitelskou horninou blízký českému, ale liší se časovým plánem jeho realizace: úložiště je již ve výstavbě (od r. 2003) a mělo by vstoupit do provozní fáze o cca 10 let později.

### **1.5.3.3 Francie**

Zneškodňování radioaktivních odpadů ve Francii bylo svěřeno státní organizaci ANDRA, (45) která již provozuje úložiště pro nízko a středně aktivní krátkodobé odpady, schopné pojmout jak reaktorové, tak institucionální odpady. V oblasti nakládání s vyhořelým palivem je francouzská koncepce založena na přepracování veškerého použitého paliva z provozovaných jaderných elektráren a na prozatímním skladování nitrifikovaných vysoce aktivních odpadů před vybudováním hlubinného úložiště. Do dneška bylo vyprodukováno více než 2000 kontejnerů s nitrifikovanými odpady, které se nyní skladují v lokalitě La Hague.

### **1.5.3.4 Maďarsko**

Za nakládání s VJP a RaO je zodpovědná státní organizace PURAM (Public Limited Company for Radioactive Waste Management), (46) která vznikla r. 2008. Od počátku existence (jediné maďarské) jaderné elektrárny v Paks se použité palivo vracelo do bývalého SSSR bez povinnosti odebrat zpět vysoce aktivní odpad. Tato dohoda však v roce 1992 skončila. Proto bylo rozhodnuto o zřízení dočasného suchého skladu na lokalitě elektrárny; provoz byl zahájen v září 1997. V současné době je připravována koncepce přípravy hlubinného úložiště. Průzkum lokalit byl zahájen v roce 2003, od roku 2012 by měl na vybrané lokalitě zahájit experimentální provoz. Mezi roky 2033 a 2046 bude vybudováno úložiště, které začne od roku 2047 přijímat VJP a dlouhodobé odpady. Jeho provoz bude ukončen v roce 2105.

### **1.5.3.5 Rakousko**

V Rakousku platí od roku 1999 zákaz výroby elektřiny z jádra. Tento zákaz spolu se zákazem výroby a používání jaderných zbraní byl zakotven v ústavě. Do té

doby byl zákaz upraven pouze zákonem. Jediná atomová elektrárna v Rakousku, která se nacházela ve Zwentedorfu (Dolní Rakousko), byla na základě výsledků referenda uzavřena v roce 1978.

Ovšem i v Rakousku zniká každoročně 115 t radioaktivního odpadu. Jedná se o nízkoaktivní a středně aktivní odpad, většinou s poločasem rozpadu do stovek let. Tři rakouské experimentální reaktory však vyprodukovaly i vyhořelé jaderné palivo, i když jeho radioaktivita je oproti použitému palivu z energetických reaktorů mnohem nižší. Odpad se ukládá do 200litrových sudů do dvou hal skladu v dolnorakouském Seibersdorfu, jejichž prostory vystačí do roku 2030. Péči o rakouský atomový odpad má na starosti Nuclear Engineering Seibersdorf. (47)

#### 1.5.3.6 Německo

Zodpovědným úřadem na poli manipulace s odpadem je Spolkový úřad pro radiační ochranu (Das Bundesamt für Strahlenschutz). (48) Německo patří k zemím, které mají největší zkušenosti s budováním i provozem hlubinných úložišť umístěných převážně v solných formacích. Již v roce 1967 byly zahájeny experimentální výzkumy v podzemní laboratoři Asse. Byl vybrán solný důl v severoněmeckém Gorlebenu pro dočasné povrchové úložiště vysokoradioaktivního jaderného odpadu. V roce 2000 německá vláda vyhlásila desetileté moratorium na průzkum v této oblasti. Mělo se tak zjistit, zda neexistují i jiné lokality pro trvalé uložení (hlubinné úložiště) jaderného odpadu. V r. 2010 Německo gorlebenský plán obnovilo. V r. 2010 byly v Gorlebenu zahájeny bezpečnostní studie, které potrvají sedm let. Bude třeba zjistit, zda bývalý solný důl dokáže pojmout radioaktivní odpad ze 17 jaderných reaktorů v Německu. Podle spolkové vlády je v SRN v současnosti asi 12 500 tun vysokoradioaktivního jaderného odpadu, který je třeba uskladnit. Země má čtvrtý nejvyšší počet jaderných reaktorů v Evropě po Francii, Rusku a Velké Británii, a energie ze štěpení jádra kryje zhruba čtvrtinu německé spotřeby elektřiny.

Německo plánuje odklon od jaderné energetiky. Německá vládní koalice rozhodla, že rok 2022 bude definitivním koncem jaderné energetiky v zemi. Osm nejstarších, nedávno zastavených reaktorů už provoz neobnoví vůbec, do jedenácti let

pak provoz ukončí všech 17 jaderných elektráren. Kabinet německé kancléřky Angely Merkelové tak reaguje mj. na protesty proti jádru, jež se v Německu zvedly po japonském zemětřesení a nehodě ve Fukušimě. (11)

#### **1.5.3.7 Nizozemsko**

Organizace COVRA, (49) která je v Nizozemsku pověřena zacházením s radioaktivními odpady, obdržela r. 1999 od státu povolení k výstavbě skladu, provoz byl zahájen v roce 2003. V souladu s principem udržitelného rozvoje vydala vláda nařízení, že jakýkoliv uložený odpad musí být vyjmutelný po stanovenou dobu, aby jej bylo možno monitorovat a recyklovat, pokud by došlo k vývoji vhodné nové technologie. Současná koncepce předpokládá výstavbu úložiště v hloubce cca 800 metrů, s běžnými přístupovými šachtami.

#### **1.5.3.8 Slovensko**

Za manipulaci s jaderným odpadem na Slovensku jsou zodpovědné společnosti JAVYS, a. s. (50) and VUJE, a. s. (51). Slovenský program přípravy hlubinného úložiště byl zahájen společně s českým programem v roce 1993. Výběr lokalit dospěl do stádia volby dvou horninových prostředí, sedimentárních jílovců a prachových jílovců, a granitoidů; celkem bylo zvažováno 5 lokalit. Výstavba úložiště má být zahájena v roce 2028 a úložiště uvedeno do provozu v roce 2037. Má být funkční téměř do konce tohoto století.

#### **1.5.3.9 Španělsko**

Organizace odpovědná za zneškodňování radioaktivních odpadů ve Španělsku, ENRESA, (52) vypracovala projekt referenčního hlubinného úložiště pro tři typy hostitelských hornin, tj. solné formace, jíl a žulu. Program hlubinného ukládání byl zahájen v roce 1986 s cílem nalézt konečnou lokalitu okolo roku 2000. Opozice veřejnosti vůči předpokládanému záměru práce rapidně zpomalila; v r. 2010 vyhlásila ENRESA novou koncepci ukládání aktivních odpadů na principu dobrovolné nabídky obcí.

### **1.5.3.10 Švédsko**

Zneškodňování radioaktivních odpadů ve Švédsku je pověřena Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co, (**53**) firma zřízená provozovateli jaderných elektráren, ale vázána ve svých činnostech národní legislativou. Ve švédské koncepci nakládání s vyhořelým jaderným palivem se neuvažuje s jeho přepracováním, hledá se proto vhodná geologická struktura pro jeho uložení. Všechno použité palivo se soustřeďuje v podzemním skladu bazénového typu CLAB, nalézajícího se v blízkosti jaderné elektrárny Oskarshamm. Bezpečnost plánovaného úložiště je založena na dlouhodobé funkčnosti úložného kanystru, který se umístí do hloubky cca 500 m a obklopí bentonitovým zásypem. V roce 2010 Švédsko vybralo lokalitu Osthhammar, kde začíná výstavba trvalého hlubinného úložiště.

### **1.5.3.11 Velká Británie**

Nakládáním s radioaktivními odpady je pověřena The Nuclear Decommissioning Authority (NDA). (**54**) Velká Británie nemá schválený program trvalého zneškodňování použitého paliva a radioaktivního odpadu, přestože již řadu let provozuje na komerční bázi přepracovatelský závod v Sellafieldu. Jeho nejnovější část, závod THORP, zahájil provoz v roce 1994.

V devadesátých letech byla v Británii zahájena příprava hlubinného úložiště středně aktivních odpadů: pro tento účel byla zvolena lokalita Sellafield a jako náhradní lokalita Dounrey na severu Skotska; tam však byly kvůli široké veřejné opozici práce ukončeny. V současnosti probíhá intenzivní diskuse o budoucnosti programu hlubinného ukládání jak politických kruzích, tak se zainteresovanou veřejností.

## **1.6. Legislativní a institucionální rámec jaderné energetiky**

### **1.6.1 IAEA**

Prvním impulsem pro vytvoření celosvětové mezinárodní spolupráce byl projev amerického prezidenta Dwight D. Eisenhowera, který vyjadřoval své znepokojení nad rostoucím počtem jaderných zbraní a předložil vizi vzájemné spolupráce národu na poli mírového jaderného výzkumu. Na základě Eisenhowerova projevu byla na půdě OSN

zformulována myšlenka vzniku mezinárodní agentury, která by se jadernou energií zabývala. International Atomic Energy Agency (IAEA, česky Mezinárodní agentura pro atomovou energii MAAE) vznikla v roce 1957. Je nezávislou mezivládní organizací v systému OSN pro vědu a technologii v oblasti mírového využívání jaderné energie v souladu se Smlouvou o nešíření jaderných zbraní. **(55)** Mezi hlavní cíle IAEA patří podpora mírového využívání jaderné energie. To zahrnuje tvorbu bezpečnostních norem a kontroly bezpečnosti jednotlivých zařízení, poskytování informací a technické podpory při rozvoji jaderné energetiky, koordinace postupu v případě radiačních nehod apod.

MAAE byla založena s cílem „*urychlit a rozšířit využití atomové energie pro mír, zdraví a prosperitu celého světa. Pokud to bude v jejích silách, bude zajišťovat, aby pomoc poskytovaná jí samotnou, na její žádost nebo pod jejím dohledem či kontrolou nebyla využívána tak, aby sloužila jakýmkoli vojenským cílům.*“ (Čl. II Stanov MAAE). **(56)**

ČR je členem od r. 1993. Bývalé Československo bylo členem MAAE od jejího založení v r. 1957.

### **1.6.2 Tuzemský legislativní rámec**

Legislativní tvorba vztahující se k jaderné energetice pro území České republiky je z formálního hlediska zcela v kompetenci standardních legislativních mechanismů, které ovšem musí respektovat pravidla, která jsou přijímána mimo území České republiky. Už Československo před rokem 1989 zformovalo jaderný dozor na základě pravidel vypracovaných v rámci MAAE a zároveň se stalo signatářem celé řady mezinárodních dokumentů, které se zabývaly rozličnými otázkami úpravy bezpečnosti jaderné energetiky. Základní pravidla MAAE, mezinárodní smlouvy a předpisy EU se staly jádrem právní úpravy v dnešní podobě atomového zákona. Ten byl celý připraven tak, aby vyhovoval všem požadavkům mezinárodního společenství a s ohledem na to, že Česká republika aspirovala na vstup do Evropské unie tak, aby byl s jejími předpisy v maximální možné míře kompatibilní. Další přijímané euronovelizace a související

předpisy tento trend pouze potvrdily. Legislativní činnost v České republice představuje víceméně jen vydávání prováděcích předpisů.

### 1.6.3 Nakládání s RaO a VJP v ČR

V České republice probíhá nakládání s RaO a VJP v souladu s usnesením vlády z 15. května 2002 (usnesení vlády č. 487/2002), kterým byla schválena *Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem*. V této koncepci je zformulována strategie státu a státních orgánů při nakládání s RaO na období přibližně do roku 2025 s výhledy až do konce 21. století. Požadavky na nakládání s radioaktivními odpady jsou definovány v zákonu č. 18/1997 Sb., (atomový zákon) v §§ 24-31 a ve vyhlášce SÚJB č. 307/2002 Sb. v §§ 46-55. **(57)**

Státní úřad pro jadernou bezpečnost zveřejňuje pravidelně *Národní zprávy o hospodaření s radioaktivními odpady v ČR*. **(58)** Česká republika je signatářem Společné úmluvy o bezpečném nakládání s VJP a o bezpečném nakládání s RaO. **(59)** Společná úmluva o bezpečnosti při nakládání s vyhořelým palivem a o bezpečnosti při nakládání s radioaktivními odpady byla prvním právním nástrojem k přímému řešení těchto záležitostí v globálním měřítku. Byla otevřena k podpisu 29. září 1997 a vstoupila v platnost dne 18. června 2001. Společná úmluva se vztahuje na nakládání s vyhořelým palivem a radioaktivním odpadem pocházejícím z civilních jaderných reaktorů a z vojenských nebo obranných programů, pokud jsou tyto dopady trvale spravovány v rámci výhradně civilních programů. Úmluva reguluje také vypouštění kapalných nebo plyných radioaktivních látek z jaderných zařízení do životního prostředí. Každá smluvní strana je povinna předložit na každém řádném zasedání své Národní zprávy o plnění svých závazků vyplývajících z úmluvy. Národní zprávy jsou zpracovány v souladu se závazky vyplývajících z přistoupení k této Společné úmluvě. Na národní úrovni slouží tak Národní zprávy jako zdroj aktuálních, veřejně dostupných informací o způsobu nakládání s VJP a RaO ve všech zařízeních spadajících pod režim Společné úmluvy.

V roce 2002 vstoupily v ČR v platnost nové právní předpisy, kterými byla provedena harmonizace práva v oblasti mírového využívání jaderné energie a



ionizujícího záření s právem EU/ES a transpozice relevantních právních předpisů. Tyto změny proběhly podle Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v ČR, který stanovila, že do roku 2002 bude nutné harmonizovat atomový zákon a související předpisy v systému nakládání s radioaktivními odpady a legislativou Evropské unie. Základním právním předpisem, kterým bylo zavedeno evropské právo do českého právního řádu, byl zákon č. 13/2002 Sb., kterým byl doplněn a změněn zákon č. 18/1997 Sb., atomový zákon. Tato novela atomového zákona přebírá pojmosloví EU v radiační ochraně a zavádí instituty, které v dosavadní právní úpravě chyběly. **(60)**

#### **1.6.4 Jednotlivé právní normy**

##### **Zákony**

Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ze dne 24. ledna 1997. **(61)**

##### **Prováděcí právní předpisy**

###### a) Nařízení vlády

Nařízení vlády č. 416/2002 Sb., kterým se stanoví výše odvodu a způsob jeho placení původci radioaktivních odpadů na jaderný účet a roční výše příspěvku obcím a pravidla jeho poskytování. **(62)**

Nařízení vlády č. 73/2009 Sb., o předávání informací v souvislosti s mezinárodní přepravou radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva. **(36)**

###### b) Vyhlášky Státního úřadu pro jadernou bezpečnost

Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. **(33)**

Vyhláška č. 317/2002 Sb., o typovém schvalování obalových souborů pro přepravu, skladování a ukládání jaderných materiálů a radioaktivních látek, o typovém schvalování zdrojů ionizujícího záření a o přepravě jaderných materiálů a určených radioaktivních látek (o typovém schvalování a přepravě) ve znění vyhlášky č. 73/2009 Sb. a nařízení vlády č. 77/2009 Sb. **(32)**

## 2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZA

Cílem předložené bakalářské práce bylo:

- 1) popsat dělení radioaktivních odpadů a způsoby, kterými se s nimi nakládá, podmínky pro uvolňování radioaktivních látek do životního prostředí;
- 2) vytvořit přehled literatury a příslušné legislativy;
- 3) připravit pro studenty výukový program o radioaktivních odpadech a uvolňování radioaktivních látek do životního prostředí.

Hypotéza bakalářské práce byla stanovena:

Navržený výukový program ucelí problematiku výuky týkající se radioaktivních odpadů a uvolňování radioaktivních látek do životního prostředí.

### **3 METODIKA**

Práce je zpracována převážně na základě primárních i sekundárních zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Problematika radioaktivních odpadů a příslušné legislativy tuzemské i unijní (EU), není tématem ukončeným, nýbrž stále se vyvíjejícím, proto bylo pracováno zejména s aktuálními internetovými zdroji (koncepte a dokumenty, oficiální prohlášení, tiskové zprávy apod.).

Shrnutí bylo zpracováno s vědomím, že bude sloužit jako obsahový podklad pro e-learningovou prezentaci v prostředí Moodle, která by byla využitelná pro studenty příslušných oborů.

## 4 VÝSLEDKY

Na základě teoretické části, uvedené v této bakalářské práci byl vytvořen výukový program v e-learningovém prostředí Moodle. Výukový program se nazývá Radioaktivní odpady a uvolňování radioaktivních látek do životního prostředí. Přístupný je na internetové adrese <http://ekurzy.zsf.jcu.cz/>.

### **Struktura výukového programu**

Výukový program je rozdělen do jedenácti témat.

Téma 1: Základní jednotky a pojmy

Téma 2: Důležité instituce působící v oblasti jaderných technologií

Téma 3: Zdroje ionizujícího záření

Téma 4: Druhy radioaktivních odpadů

Téma 5: Nakládání s radioaktivním odpadem

Téma 6: Vyhořelé jaderné palivo

Téma 7: Izolace odpadů

Téma 8: Sledování radiační situace

Téma 9: Vliv provozu jaderných elektráren za životní prostředí

Téma 10: Radionuklidy v životním prostředí

Téma 11: Legislativní a institucionální rámec jaderné energetiky

Na konci prezentace je uvedena použitá literatura. Součástí výukového programu je i procvičovací test, ve kterém si studenti mohou ověřit získané znalosti z výukového programu.

## 5 DISKUSE

E-learning zahrnuje jak teorii a výzkum, tak i jakýkoliv reálný vzdělávací proces, v němž jsou v souladu s etickými principy používány informační a komunikační technologie pracující s daty v elektronické podobě. Způsob využívání prostředků ICT a dostupnost učebních materiálů jsou závislé především na vzdělávacích cílech a obsahu, charakteru vzdělávacího prostředí, potřebách a možnostech všech aktérů vzdělávacího procesu. **(10)**

E-learning (termín se používá od konce 90. let) je v podstatě jakékoli využívání elektronických materiálních a didaktických prostředků k efektivnímu dosažení vzdělávacího cíle s tím, že je realizován zejména /nejenom prostřednictvím počítačových sítí. Tato forma studia úzce souvisí s distančním studiem, tedy takovou formou vzdělávání, kdy student dochází do školy jen zřídka, nebo dokonce vůbec, ale přesto může získat vzdělání o které má zájem. E-learning se ukazuje jako velmi užitečný prostředek výuky především ve specializovaných kurzech.

## 6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo shrnout současný stav na poli nakládání s radioaktivními odpady, vliv radioaktivních odpadů na životní prostředí a vytvořit přehled příslušné legislativy a z příslušné analýzy extrahovat zásadní a klíčová témata a okruhy, které byly dále využity jako podklad pro e-learningovou prezentaci.

Shrnutí problematiky nakládání s radioaktivními odpady a vlivem těchto odpadů na člověka a na životní prostředí si kladlo za cíl především uspořádat jednotlivé oblasti poznatků do ucelených celků, zdůraznit klíčové informace a srovnat poznatky do stručných obsahových bloků. Shrnutí bylo zpracováno s vědomím, že bude sloužit jako obsahový podklad pro e-learningovou prezentaci v prostředí Moodle, která by byla využitelná pro studenty příslušných oborů. Vytvořením Moodle prezentace se podařilo potvrdit výchozí hypotézu, že poznatky z této oblasti lze předávat studentům i touto formou a že prezentace je pro výuku daného oboru možná.

E-learningové vzdělávání je jednou z velmi účinných a rovněž moderních metod vzdělávání. V dnešní době můžeme pozorovat velký rozvoj této metody vzdělávání ve všech oborech, neboť přináší studentům i organizacím nesporné výhody. E-learning má však také nevýhody, k nimž patří především absence osobního kontaktu a tím i okamžité reakce na aktuální dotazy. Od studujících tato forma studia vyžaduje více osobní disciplíny, neboť se musí přimět k pravidelné studijní práci.

Tato práce směřovala především k praktické stránce zpracování daného tématu a nikoliv k rozšíření teoretického rámce a konceptů. Jejím myšlenkovým cílem byla formulace klíčových informací tak, aby je bylo možno využít pro e-learningový výukový program a aby zpracování a podání těchto informací bylo schopno reflektovat aktuální trendy moderní výuky.

Současný systém výuky na vysokých školách podporuje využívání alternativních vyučovacích metod. Jihočeská univerzita není výjimkou, jak se lze ostatně dočíst v hlavních cílech školy pro rok 2011: "...pokračovat v přípravě výukových materiálů v e-learningu". Prezentace tématu „Radioaktivní odpady a uvolňování radioaktivních látek do životního prostředí“ tak může vhodně rozšířit nabídku e-learningových výukových programů školy.

## **7 KLÍČOVÁ SLOVA**

aktivita

e-learning

Moodle

radioaktivní odpad

radionuklidy

účinky ionizujícího záření

vyhořelé jaderné palivo

životní prostředí

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### Seznam literatury:

- 1) DLOUHÝ, Zdeněk. *Nakládání s radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem*. 1. vyd. Brno : VUTIUM, 2009, 219s. ISBN 978 -80-214-3629-9
- 2) HÁLA, Jiří. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*. 1. vyd. Brno: Konvoj, 1998. 310 s. ISBN 80-85615-56-8.
- 3) Jaderná elektrárna Dukovany. *Příručka pro všeobecný výcvik personálu jaderné elektrárny Dukovany a externích dodavatelů*. ČEZ, a.s., 2001. 75 s.
- 4) KLENER, Vladislav. Rizika ozáření: Co je překážkou racionálního vnímání rizika z ozáření? *Vesmír* 1995, roč. 74, č. 7, s. 365-368
- 5) KOLEKTIV AUTORŮ: *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Azin CZ, SÚJB, 619S, ISBN 80-238-3703-6.
- 6) LACIOK, Aleš; MARKOVÁ, Ludmila; VOKÁL, Antonín. Co s vyhořelým jaderným palivem? : Bez hlubinného úložiště se neobejdeme. *Vesmír*, 2000, roč. 79, č. 4.
- 7) MATĚJKA, Karel et al. *Vyhořelé jaderné palivo*. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 1996. 145 s. PHARE; sv. 5. ISBN 80-7078-352-4.
- 8) Skupina ČEZ. *Radioaktivní odpady a skupina ČEZ*. Propagační tisk, nestr., nedat.
- 9) *The IAEA Safety Standards - Classification of Radioactive Waste*. IAEA: Vídeň 2009. Nestránkováno. ISBN 978-92-0-109209-0, ISSN 1020-525X
- 10) ZOUNEK, Jiří. *E-learning - jedna z podob učení v moderní společnosti*. Vyd. 1. Brno: Masarykova univerzita, 2009. 161 s. ISBN 9788021051232



### **Seznam internetových zdrojů:**

(všechny internetové zdroje ověřeny k 2011-11-10)

- 11) Česká televize. *Do roku 2022 zavře Německo všechny jaderné elektrárny.*  
Publikováno 30. 5. 2011. Dostupný z: URL:  
<http://www.ceskatelevize.cz/ct24/ekonomika/125575-do-roku-2022-zavre-nemecko-vsechny-jaderne-elektrarny>
  
- 12) *Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v ČR.* Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR 2001. Dostupný z URL:  
<http://www.vidivici.cz/surao2/soubory/koncepcefinal.rtf>
  
- 13) *Radiační monitorování na jaderných elektrárnách k zajištění radiační ochrany.*  
Praha: SÚJB 2008. Dostupný z URL: [http://www.sujb.cz/?c\\_id=858](http://www.sujb.cz/?c_id=858)
  
- 14) *Rentgen Bulletin.* Praha : Státní ústav radiační ochrany 2001. Dostupný z: URL: <http://www.suro.cz/cz/publikace/lekarskeozareni/rentgen9-2001.pdf>
  
- 15) URL:  
[http://www.bmu.de/bilderdatenbank/content/41229.php?id\\_nr=180&kommevon=suchbegriffBilderdatenbank=,lim\\_unt=516,lim\\_ob=528](http://www.bmu.de/bilderdatenbank/content/41229.php?id_nr=180&kommevon=suchbegriffBilderdatenbank=,lim_unt=516,lim_ob=528)
  
- 16) URL: <http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Budouci-hlubinne-uloziste/Co-je-hlubinne-uloziste>
  
- 17) *Zpráva o radiační situaci na území České republiky v roce 2008.* Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Státní ústav radiační ochrany 2009. 80 s.  
Dostupný z: URL: [http://www.suro.cz/cz/publikace/radsit/VZ\\_SURO\\_2008.pdf](http://www.suro.cz/cz/publikace/radsit/VZ_SURO_2008.pdf)
  
- 18) *Zpráva o výsledcích činnosti SÚJB při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení a radiační ochranou za rok 2009. Část II.* Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost 2010. 80 s. Dostupný z: URL:  
[http://www.sujb.cz/docs/VZ\\_SUJB\\_2009\\_cast\\_II.pdf](http://www.sujb.cz/docs/VZ_SUJB_2009_cast_II.pdf)

- 19) URL: <http://ec.europa.eu/environment/waste/index.htm>
- 20) URL: [http://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/content/pdf/cez\\_a\\_ra\\_dioaktivni\\_odpady\\_-\\_nahled.pdf](http://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/content/pdf/cez_a_ra_dioaktivni_odpady_-_nahled.pdf)
- 21) URL: <http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Radioaktivni-odpad>
- 22) URL: <http://www.sujb.cz/15-let-sujb/vznik-a-vyvoj-sujb/>
- 23) URL: [http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/307\\_po\\_novele.pdf](http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/307_po_novele.pdf)
- 24) URL: <http://www.ujv.cz/web/ujv-200/jaderna-bezpecnost-a-spolehlivost>
- 25) URL: <http://www.surao.cz/cze/O-SURAO/Informace-pro-puvodce-odpadu%20>
- 26) URL: <http://www.suro.cz/cz/rms>
- 27) URL: <http://www.calla.cz/data/energetika/ostatni/KONCEPCE%20final.rtf>
- 28) URL: [http://www.surao.cz/cze/content/download/278/1614/file/Richard\\_230209\\_final.pdf](http://www.surao.cz/cze/content/download/278/1614/file/Richard_230209_final.pdf)
- 29) URL: <http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Soucasna-pripovrchova-uloziste/Bratrstvi-Jachymov>
- 30) URL: [http://www.regiony24.cz/aktualne/vypis.aspx?id\\_clanku=54380](http://www.regiony24.cz/aktualne/vypis.aspx?id_clanku=54380)
- 31) URL: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>
- 32) URL: [http://www.sujb.cz/docs/v317\\_02.pdf](http://www.sujb.cz/docs/v317_02.pdf)

- 33) URL: [http://www.sujb.cz/docs/307\\_po\\_novele.pdf](http://www.sujb.cz/docs/307_po_novele.pdf)
- 34) URL: <http://www.mmr.cz/getdoc/873d1a09-3b9d-4a12-9924-e42eb641a0ad/III-Navrh-PUR-CR-2008>
- 35) URL: <http://www.jaderna-energie.cz/uloziste-odpadu.htm>
- 36) URL: [http://www.sujb.cz/docs/NV\\_preprava\\_RAO.pdf](http://www.sujb.cz/docs/NV_preprava_RAO.pdf)
- 37) URL: [http://www.sujb.cz/docs/MP\\_uran1.pdf](http://www.sujb.cz/docs/MP_uran1.pdf)
- 38) URL: <http://www.jaderna-bezpecnost.cz/bezpecnost-uloziste-odpadu.htm>
- 39) URL: <http://www.jaderny-odpad.cz/hlubinne-uloziste.htm>
- 40) URL: <http://www.energetika-eu.cz/jaderny-odpad-eu.htm>
- 41) URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0618:FIN:CS:PDF>
- 42) URL: <http://www.denikreferendum.cz/clanek/7783-kam-s-vyhorelym-jadernym-palivem>
- 43) URL: <http://www.niras.be>
- 44) URL: <http://www.posiva.fi/en/>
- 45) URL: <http://www.andra.fr>
- 46) URL: <http://www.rhk.hu/en/>
- 47) URL: <http://www.nes.at>
- 48) URL: <http://www.bfs.de/de/bfs>
- 49) URL: <http://www.eu-decom.be/contacts/holland/covra.html>

- 50) URL: <http://www.javys.sk/sk/index.php>
- 51) URL: <http://www.vuje.sk/sk/index.php>
- 52) URL: <http://www.enresa.es>
- 53) URL: <http://www.skb.se>
- 54) URL: <http://www.nda.gov.uk>
- 55) Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, URL:  
<http://www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/Others/infcirc140.pdf>
- 56) URL: <http://www.iaea.org/About/statute.html>
- 57) URL: [http://www.sujb.cz/?c\\_id=536](http://www.sujb.cz/?c_id=536)
- 58) URL: [http://www.sujb.cz/?c\\_id=123](http://www.sujb.cz/?c_id=123)
- 59) URL: [http://www.sujb.cz/docs/III\\_9\\_CJ.pdf](http://www.sujb.cz/docs/III_9_CJ.pdf)
- 60) URL: [http://www.sujb.cz/?c\\_id=894](http://www.sujb.cz/?c_id=894)
- 61) URL: [http://www.sujb.cz/docs/Atomovy\\_zakon\\_20110907.pdf](http://www.sujb.cz/docs/Atomovy_zakon_20110907.pdf)
- 62) URL: [http://www.sujb.cz/docs/NV416\\_2002Sb.pdf](http://www.sujb.cz/docs/NV416_2002Sb.pdf)
- 63) URL: <http://chemistry.about.com/od/healthsafety/ig/Laboratory-Safety-Signs/Radioactive-Symbol.-1Lw.htm>
- 64) URL: <http://www.sujb.cz/15-let-sujb/historie-a-predchudci-sujb/>
- 65) URL: <http://www.obec-vypractice.cz/clanky/zdroje-elektricke-energie-v-cr/>

66) URL: [http://www.ceskenoviny.cz/tema/zpravy/czech-nuke-plant-dukovany-to-shut-down-unit-4-due-to-repair/617598&id\\_seznam=2799](http://www.ceskenoviny.cz/tema/zpravy/czech-nuke-plant-dukovany-to-shut-down-unit-4-due-to-repair/617598&id_seznam=2799)

67) URL: <http://logistika.ihned.cz/c1-39490140-logistika-radioaktivniho-odpadu>

### **Zákony, vyhlášky, nařízení**

Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření, (atomový zákon), ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška č. 317/2002 Sb., o typovém schvalování obalových souborů pro přepravu, skladování a ukládání jaderných materiálů a radioaktivních látek, o typovém schvalování zdrojů ionizujícího záření a o přepravě jaderných materiálů a určených radioaktivních látek (o typovém schvalování a přepravě), ve znění vyhlášky č. 77/2009 Sb.

Nařízení vlády č. 416/2002 Sb., kterým se stanoví výše odvodu a způsob jeho placení původci radioaktivních odpadů na jaderný účet a roční výše příspěvku obcím a pravidla jeho poskytování.

Nařízení vlády č. 73/2009 Sb., o předávání informací v souvislosti s mezinárodní přepravou radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva.