

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

13. srpna 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 13. srpna 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 .....	8
1.1 Základní jednotky a pojmy.....	8
1.2 Důležité instituce působící v oblasti jaderných technologií .....	10
1.3 Vývoj v oblasti nakládání s radioaktivními odpady .....	11
1.4 Dělení radioaktivních odpadů .....	13
1.5 Způsoby nakládání s radioaktivními odpady .....	17
1.6 Skladování vyhořelého jaderného paliva .....	19
1.7 Přeprava .....	23
1.8 Radioaktivní odpady v EU.....	25
1.8.1 Příklady ukládání v Unii .....	25
1.8.2 Ukládání ve vybraných státech EU.....	26
1.8.2.1 Belgie .....	26
1.8.2.2 Finsko.....	26
1.8.2.3 Francie .....	26
1.8.2.4 Maďarsko .....	27
1.8.2.5 Rakousko .....	27
1.8.2.6 Německo .....	27
1.8.2.7 Nizozemsko .....	28
1.8.2.8 Slovensko.....	28
1.8.2.9 Španělsko .....	29
1.8.2.10 Švédsko .....	29
1.8.2.11 Velká Británie .....	29
1.9 Environmentální dopady využívání jaderné energie .....	30
1.9.1 Vliv provozu jaderných elektráren za životní prostředí.....	31
1.9.2 Radionuklidy v životním prostředí .....	31
2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZA.....	34
3 METODIKA .....	35
4 VÝSLEDKY .....	36
4.1 Přehled literatury a příslušné legislativy.....	36
4.2 Výukový program v prostředí Moodle .....	37

4.2.1 Struktura výukového programu .....	38
5 DISKUZE .....	45
6 ZÁVĚR .....	46
7 KLÍČOVÁ SLOVA .....	47
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	48

## 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 (16). 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 aktivní (papír, nářadí, látky, filtry apod.) (49) .

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 (34) .

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.

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** - 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 vyřadit 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 (9).

*Obr. 1: Mezinárodní výstražný symbol, označující zdroj ionizujícího záření (11)*



## 1.2 Důležité instituce působící v oblasti jaderných technologií

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

Úkolem 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, vytvoření státem garantovaného režimu pro zajištění bezpečného ukládání radioaktivních odpadů a havarijní připravenost pro případ radiačních nehod (40).

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

Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany je veřejná výzkumná instituce zřízená Státním úřadem pro jadernou bezpečnost 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. Dalším úkolem SÚJCHBO 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 (40).

- **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 (52).

- **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 (35).

- **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 bývalého 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 (40).

### **1.3 Vývoj v oblasti nakládání s radioaktivními odpady**

System nakládání s radioaktivními odpady v ČR má poměrně dlouhou historii. Již od počátku osmnáctého století vznikaly v ČR radioaktivní odpady ve větším rozsahu, v souvislosti s využíváním uranu a rádia. Od roku 1959 se vytvářel celostátní systém svozu a zneškodňování radioaktivních odpadů vzniklých ve výzkumu, průmyslu zdravotnictví a v jiných neenergetických oblastech. Provoz systému zajišťoval Ústav pro výzkum, využití a výrobu radioizotopů. Součástí tohoto systému byla úložiště radioaktivních odpadů Hostím (již uzavřené), od roku 1964 úložiště Richard u Litoměřic a od roku 1972 úložiště Bratrství 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. V úložišti je uloženo méně než 0,1 TBq radioaktivity. Úložiště je trvale monitorováno.

Náklady na trvalé zneškodnění neenergetických radioaktivních odpadů byly 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 (24, 36, 37).

Obr. 2: Úložiště Richard (51)



V roce 1981 byla schválena vládní koncepce zneškodňování radioaktivních odpadů z provozu jaderných reaktorů. Tato koncepce 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 areálu jaderné elektrárny Dukovany a v roce 2010 v jaderné elektrárně Temelín (24, 46).

## 1.4 Dělení radioaktivních odpadů

Radioaktivní odpady zaujímají téměř celé spektrum různě aktivních látek, kapalných, plynných či pevných skupenství, proto 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“ (Koncepte nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v ČR, 2001, s.5) (24).*

**Nízko aktivní 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 nízko aktivní, popř. středně aktivní odpady. K nakládání s nízko aktivním a středně aktivním 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. I po eventuálním přepracování použitého jaderného paliva zbývá vysoce aktivní odpad, který je nutné bezpečně uložit **(1)**.

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 (4)

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 $10^{14} \text{ Bq/m}^3$

Tab. 2: Obecná klasifikace dle poločasu rozpadu radionuklidů (4)

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

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 konečný objem a rozměry odpadů. Dalším určujícím kritériem pro klasifikaci jsou chemické vlastnosti jako např. hořlavost, těkavost, reaktivita, obsah žíravín, 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).

## 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) (1)

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	přípovrchové
2a. nízko a středně 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	přípovrchové
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



## 1.5 Způsoby nakládání s radioaktivními odpady

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) (31).

*„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“ (Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění pozdějších předpisů, 2002, § 46) (41).*

### **„Shromažďování a třídění**

*Radioaktivní odpady nebo jejich směsi s jinými látkami jsou v místě jejich vzniku sbírány a pokud je to technicky možné a zdůvodnitelné, i tříděny. 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 zpevňování radioaktivních odpadů a jejich vpravení do obalových souborů.*

Obr. 3: Plnění sudů v provozu bitumenace (14)



### **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 jámy,*

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

### ***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“ (Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění pozdějších předpisů, 2002, § 48-52) (41).*

## **1.6 Skladování vyhořelého jaderného paliva**

V případě vyhořelého paliva a vysoce aktivních 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 (5).

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 (12).

*Obr. 4: Bazén vyhořelého paliva v elektrárně (13)*



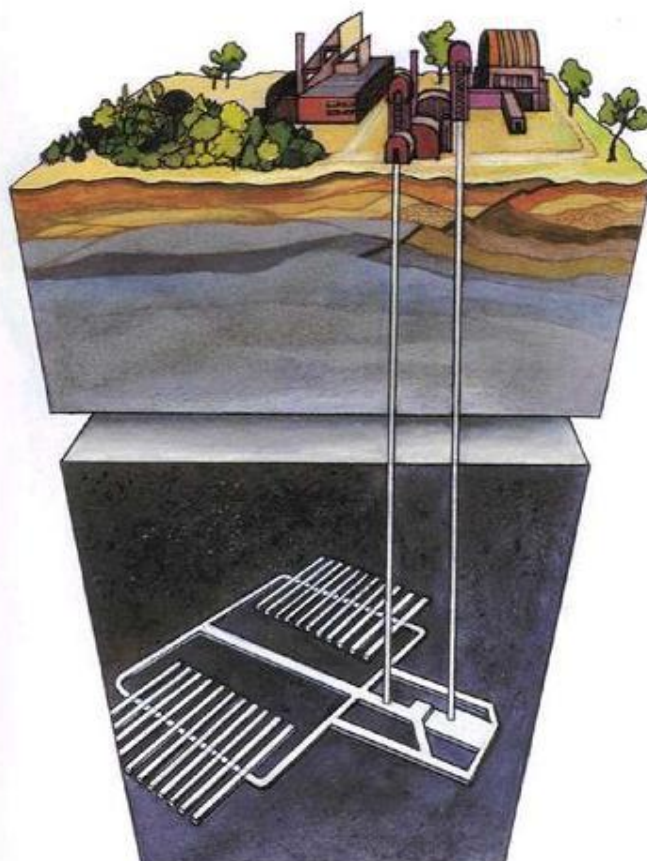
Aktivní zóna reaktoru VVER 1000 JE Temelín obsahuje 163 palivových kazet, z nichž se každé čtyři roky vymění 41–42. Kapacita bazénu použitého paliva je 680 míst pro palivové kazety a 25 míst pro hermetická pouzdra. V bazénu zůstávají 5 až 10 let. Za tu dobu klesne jejich radioaktivita a teplota asi na polovinu a je možné s nimi dále manipulovat **(22)**.

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.

Použité jaderné palivo a vysoce aktivní odpady mají velmi dlouhou dobu, po kterou si uchovávají své nebezpečné vlastnosti. Z tohoto důvodu je ukládání tohoto druhu jaderného odpadu situováno do hlubinných úložišť, která tvoří uměle vyhloubené nebo pečlivě upravené podzemní prostory situované do hlubokých stabilních geologických vrstev. Přednost se dává zbudování úložiště nového, a to v neporušeném geologickém prostředí, v oblasti, kde nehrozí vulkanická činnost, zemětřesení nebo zaplavení **(49)**.

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, která ukládá nalezení dvou lokalit (hlavní a záložní) s nejlepšími geologickými podmínkami, v souladu se zachováním předpokládaného rozvoje zájmové oblasti. Druhý významný dokument schválený vládou v roce 2008 – Politika územního rozvoje ČR - ukládá provedení výběru dvou nejvhodnějších lokalit pro realizaci hlubinného úložiště do roku 2015, a to za účasti obcí **(24, 27)**.

Obr. 5: Schéma hlubinného úložiště (30)



Příprava hlubinného úložiště byla zahájena již v roce 1990. Použité palivo by se mohlo v kontejnerech ukládat v hloubkách několika set metrů do prostoru vybudovaného v neporušené skalní formaci, která je geologicky, seismicky a hydrogeologicky stabilní. Vědci ve Švýcarsku a v Kanadě obdobné žulové formace zkoumají v podzemních laboratořích. Řešení hlubinného úložiště s uložením kontejnerů a jejich obložení bentonitem odpovídá řešení přijímaným ve většině zemí (49).

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 (54).

## 1.7 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 (49).

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 vysoce aktivního 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 (4).

K transportu i skladování vyhořelého jaderného paliva se v českých jaderných elektrárnách používají speciální dvouúčelové kontejnery. Tyto kontejnery umožňují, aby v případě potřeby transportu paliva nebylo třeba použité palivo ze skladovacích kontejnerů překládat do transportních kontejnerů (21). 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 (49).

Obr. 6: Castor (25)



Kontejner je z tvárné litiny, koš z bórovaného hliníku, neutronové stínění zajišťuje polyethylen. Vnitřní prostor kontejneru je vyplněn heliem o nižší 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 (49).

Použité palivo se vkládá do kontejneru pod vodou v části bazénu použitého paliva přímo u příslušného reaktoru. Následně se voda odstraní, kontejner se vakuově vysuší a naplní heliem. Poté se kontejner převeze 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 (49).

Z důvodu odlišné konstrukce reaktoru je v jaderné elektrárně Temelín použit jiný typ kontejneru německé firmy GNS, a to CASTOR 1000/19 (46).



## **1.8 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 (15).

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 (17).

### **1.8.1 Příklady ukládání v Unii**

V současnosti jsou v zemích EU bezpečně uloženy 2 miliony tun nízkoaktivních a středně aktivních odpadů (7). 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 vysoce aktivních 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 povolovacího řízení. Široká mezinárodní spolupráce v dané oblasti může sehrát kladnou úlohu při dosažení širokého konsenzu o výhodnosti a bezpečnosti hlubinného ukládání

odpadů a může přispět k optimálnímu využití technických a finančních zdrojů. Očekává se, že přispěje i k lepšímu pochopení celkové koncepce vývoje úložných systémů a způsobů zapojení podzemních laboratoří do tohoto systému (49).

## **1.8.2 Ukládání ve vybraných státech EU**

### **1.8.2.1 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) (10). Belgie se zabývá přepracováním 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 (15).

### **1.8.2.2 Finsko**

Ukládání radioaktivních odpadů ve Finsku zabezpečuje organizace Posiva Oy (zal. 1995) (19). 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 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 (15).

### **1.8.2.3 Francie**

Zneškodňování radioaktivních odpadů ve Francii bylo svěřeno státní organizaci ANDRA (20), která již provozuje úložiště pro nízko a středně aktivní krátkodobé odpady, které je určeno jak pro reaktorové, tak i pro institucionální odpady. Francouzská koncepce zneškodňování použitého jaderného paliva je 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 (15).

#### **1.8.2.4 Maďarsko**

Za nakládání s VJP a RaO je zodpovědná státní organizace PURAM (Public Limited Company for Radioactive Waste Management), která vznikla r. 2008 (26). V současné době je připravována koncepce přípravy hlubinného úložiště. Průzkum lokalit byl zahájen v roce 2003, od roku 2012 by se měl na vybrané lokalitě zahájit experimentální provoz. Mezi roky 2033 a 2046 bude vybudováno úložiště, které začne od roku 2047 přijímat použité jaderné palivo a dlouhodobé odpady. (15).

#### **1.8.2.5 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 nízko aktivní 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 (50, 15).

#### **1.8.2.6 Německo**

Zodpovědným úřadem na poli manipulace s odpadem je Spolkový úřad pro radiační ochranu (Das Bundesamt für Strahlenschutz) (28). Německo patří k zemím, které mají největší zkušenosti s budováním i provozem hlubinných úložišť situovaných 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 vysoce radioaktivního 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 potvrzují 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 vysoce radioaktivního 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 **(15)**.

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 **(12)**.

#### **1.8.2.7 Nizozemsko**

Organizace COVRA **(29)**, 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 u jakéhokoliv uloženého odpadu musí být možnost jeho vyjmutí 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 **(15)**.

#### **1.8.2.8 Slovensko**

Za manipulaci s jaderným odpadem na Slovensku jsou zodpovědné společnosti JAVYS, a.s. **(32)** and VUJE, a.s. **(33)**. Slovenský program přípravy hlubinného úložiště

byl zahájen v roce 1993. Výběr lokalit dospěl do stádia volby dvou horninových prostředí, sedimentárních jílovců a prachových jílovců a granitoidů. Výstavba úložiště má být zahájena v roce 2028 a provoz zahájen v roce 2037 (15).

#### **1.8.2.9 Španělsko**

Odpovědnost za zneškodňování radioaktivních odpadů má ve Španělsku organizace ENRESA (47), která vypracovala projekt 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 do roku 2000. Opozice veřejnosti vůči předpokládanému záměru práce rapidně zpomalila, proto v r. 2010 vyhlásila ENRESA novou koncepci ukládání aktivních odpadů na principu dobrovolné nabídky obcí (15).

#### **1.8.2.10 Švédsko**

Zneškodňováním radioaktivních odpadů ve Švédsku je pověřena Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co (48), 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 (15).

#### **1.8.2.11 Velká Británie**

Nakládáním s radioaktivními odpady v Británii je pověřena The Nuclear Decommissioning Authority (NDA) (53). Velká Británie nemá schválený program trvalého zneškodňování použitého paliva a radioaktivního odpadu, přestože již řadu let

provozuje 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 určena lokalita Sellafield a jako náhradní lokalita Dounrey na severu Skotska; tam však byly kvůli široké veřejné opozici práce ukončeny. V současné době probíhá intenzivní diskuze o budoucnosti programu hlubinného ukládání jak politických kruzích, tak se zainteresovanou veřejností (15).

## **1.9 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. 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 (49).

### 1.9.1 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 (56).

Tab. 4: Autorizované limity pro výpusti jaderných elektráren (39)

	<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

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 čerpala autorizovaný limit výpustí do ovzduší na 0,04 %, kapalně výpusti pak na 25,6 %. U obou elektráren měly v případě výpustí do ovzduší největší podíl na celkové efektivní dávce radionuklidu  $^{14}\text{C}$ , v případě kapalných výpustí pak  $^3\text{H}$  (3, 39).

### 1.9.2 Radionuklidy v životním prostředí

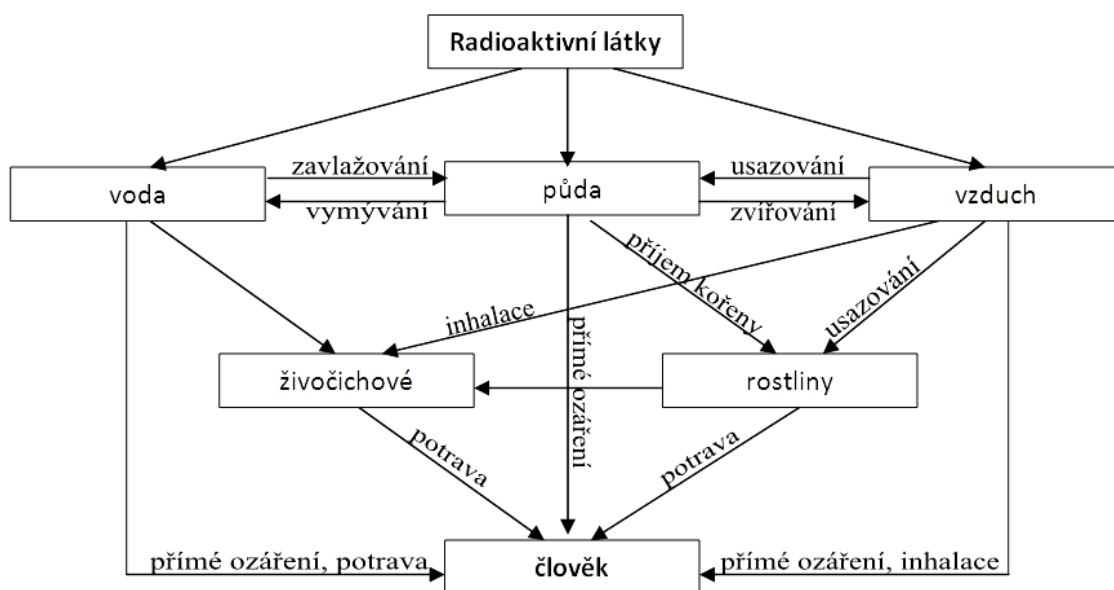
Radionuklidy se v životním prostředí projevují svou aktivitou. Monitorovány jsou složky v ovzduší, v povrchové a pitné vodě, v říčních sedimentech, vodárenských kalech a v potravních řetězcích (55).

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 (6).

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 (4).

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).

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 (44). Existuje pět tříd celkového rizika ozáření, přičemž nejvíce nebezpečné jsou nuklidy zařazené v 1. třídě (6).

Tab. 5: Rozdělení radionuklidů dle radiotoxicity a potenciálního nebezpečí vnějšího ozáření (6)

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

## **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

### 4.1 Přehled literatury a příslušné legislativy

#### Literatura:

DLOUHÝ, Zdeněk. *Nakládání s radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem*. 1. vyd. Brno : VUTIUM, 2009, 219s. ISBN 978 -80-214-3629-9

KOLEKTIV AUTORŮ: *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Azin CZ, SÚJB, 619S, ISBN 80-238-3703-6.

MATĚJKA, Karel et al. *Vyhořelé jaderné palivo*. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 1996. 145 s. PHARE; sv. 5. ISBN 80-7078-352-4.

#### 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 **(45)**.

#### 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 **(38)**.

Nařízení vlády č. 73/2009 Sb., o předávání informací v souvislosti s mezinárodní přepravou radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva **(43)**.

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

Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. **(41)**.

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. **(42)**.

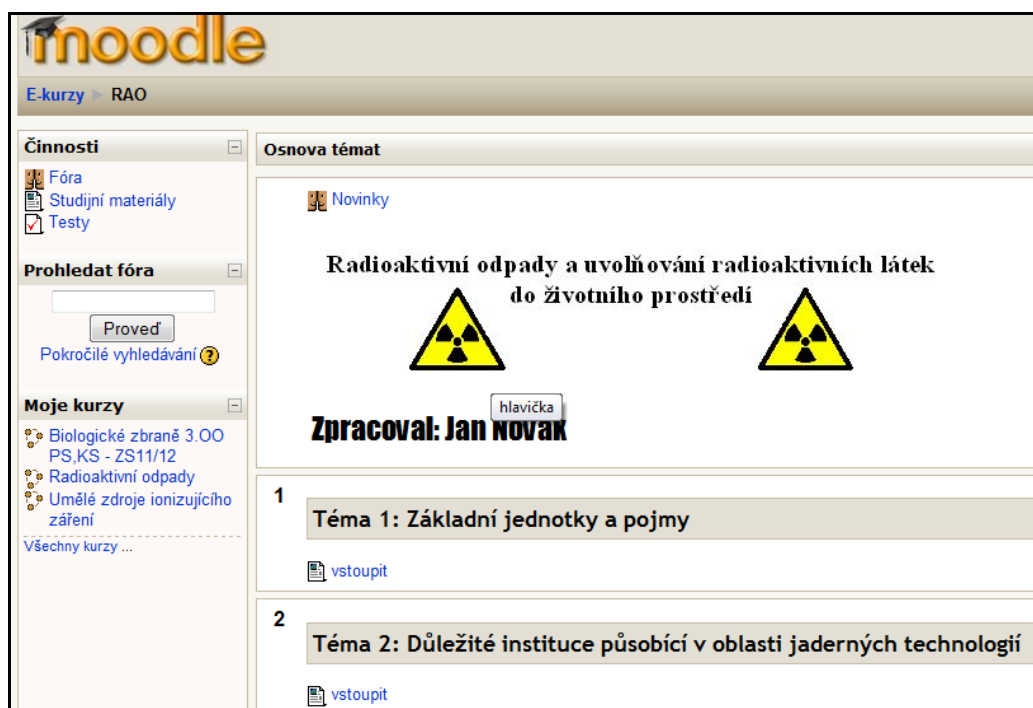
## 4.2 Výukový program v prostředí Moodle

E-learningové prostředí Moodle umožňuje snížení celkových nákladů na výuku, odstraňuje problémy s časem (v klasických kurzech je nutné, aby měli všichni čas v přesně danou hodinu, Moodle může student využívat podle svých časových možností) a může snadno vymežit přesný obsah výuky (je žádoucí, aby obsah byl pro všechny studenty stejný, lze se tak vyhnout situaci, kdy přednášející danou informaci pojme jiným způsobem). Každý student, který prochází e-learningovým kurzem, může studovat vlastním tempem, případně pokud něčemu nerozumí, je možné se k tomu vrátit.

Na vysokých školách a univerzitách v České republice je potenciál e-learningu využíván v poměrně široké míře. Ve školním prostředí e-learning působí jako alternativa ke kombinovanému vyučování, či jako doplněk k prezenčnímu vyučování.

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/course/view.php?id=308>.

Obr. 8: Výukový program v prostředí Moodle (18)



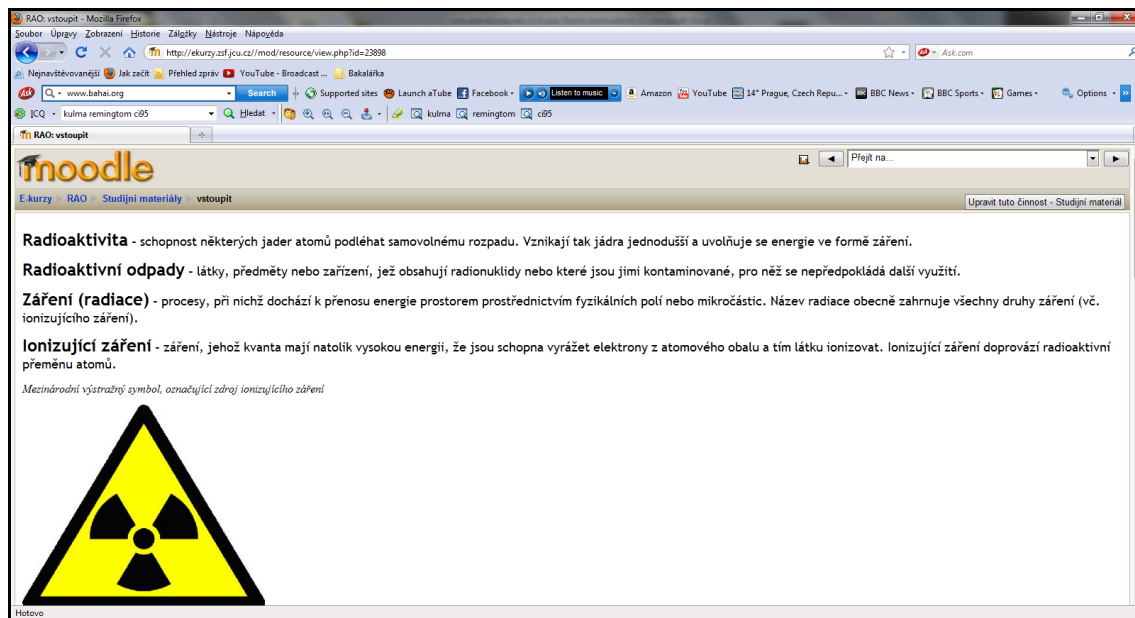
The screenshot shows the Moodle course interface. At the top, the Moodle logo is visible, followed by the course path 'E-kurzy > RAO'. The left sidebar contains navigation options: 'Činnosti' (Activities) with links for 'Fóra', 'Studijní materiály', and 'Testy'; 'Prohledat fóra' (Search forums) with a search box and a 'Proved' button; and 'Moje kurzy' (My courses) with a list of courses including 'Biologické zbraně 3.00', 'PS,KS - ZS11/12', 'Radioaktivní odpady', and 'Umělé zdroje ionizujícího záření'. The main content area is titled 'Osнова témat' (Course topics) and features a central heading 'Radioaktivní odpady a uvolňování radioaktivních látek do životního prostředí' flanked by two radiation warning symbols. Below the heading, it says 'Zpracoval: Jan Novák' with a 'hlavička' (header) icon. The course content is organized into two topics: '1. Téma 1: Základní jednotky a pojmy' and '2. Téma 2: Důležité instituce působící v oblasti jaderných technologií', each with a 'vstoupit' (enter) button.

## 4.2.1 Struktura výukového programu

Výukový program je rozdělen do jedenácti témat.

Téma 1: Základní jednotky a pojmy

Obr. 9: Moodle (18)



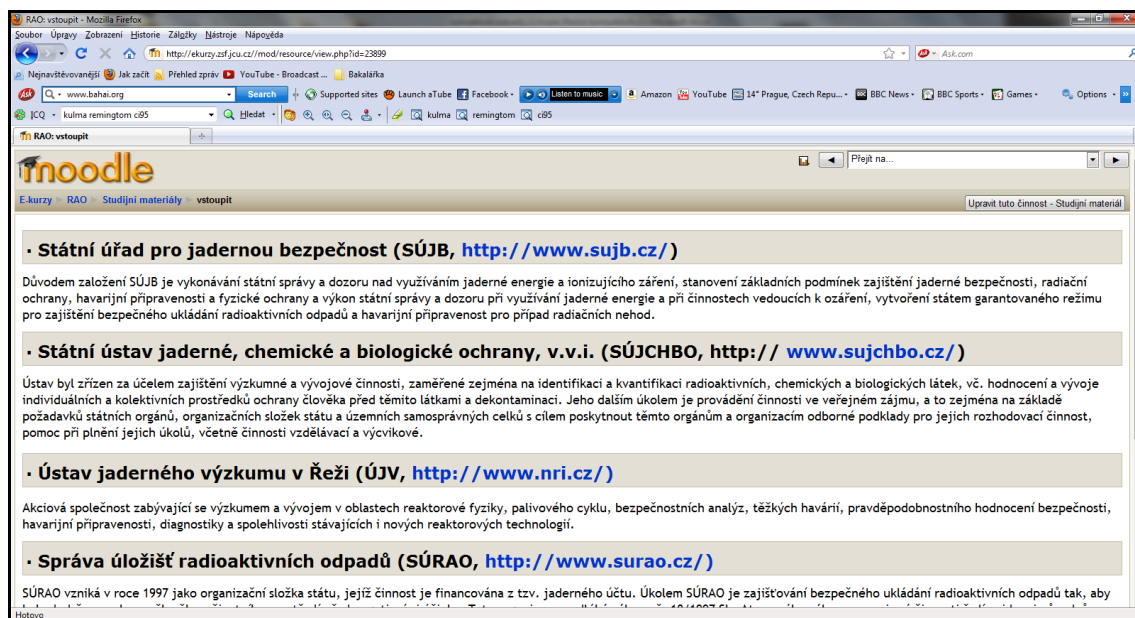
The screenshot shows a Moodle course page for 'Radioaktivita'. The page content includes:

- Radioaktivita** - 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 vyřázet elektrony z atomového obalu a tím látku ionizovat. Ionizující záření doprovází radioaktivní přeměnu atomů.

Below the text is a yellow triangular warning sign with a black border and a black radiation symbol in the center. The sign is labeled 'Mezinárodní výstražný symbol, označující zdroj ionizujícího záření'.

Téma 2: Důležité instituce působící v oblasti jaderných technologií

Obr. 10: Moodle (18)



The screenshot shows a Moodle course page listing several key institutions in the field of nuclear technology:

- 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, radiální 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 připravenosti pro případ radičních nehod.
- 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.
- Ústav jaderného výzkumu v Řeži (ÚJV, <http://www.nri.cz/>)**  
Aktivně spolupracuje s výzkumem a vývojem v oblastech reaktorové fyziky, palivového úkolu, bezpečnostních analýz, těžkých havárií, pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti, havarijní připravenosti, diagnostiky a spolehlivosti stávajících i nových reaktorových technologií.
- Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO, <http://www.surao.cz/>)**  
SÚRAO vznikla 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

## Téma 3: Zdroje ionizujícího záření

Obr. 11: Moodle (18)

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 spád (zkoušky jaderných zbraní).

*Podíl průměrného ozáření člověka z různých zdrojů*

Zdroj	Podíl (%)
Radon v budovách	49%
Radon v podzemních vodách	9%
Spád ze zkoušek jaderných zbraní a na hranicích ČR (země)	0,3%
Lékařské ošetření	11%
Ostatní	0,13%
Aerární záření	14%
Gama záření zemského povrchu	17%
Ozaření při práci	0,07%
Výhled z jaderných zařízení	0,04%
Sportovní zboží	0,02%

## Téma 4: Druhy radioaktivních odpadů

Obr. 12: Moodle (18)

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.

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

- 1. Přechodné 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 poloha 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.

*Vlak vezoucí kontejnery s radioaktivním odpadem*

## Téma 5: Nakládání s radioaktivním odpadem


Obr. 13: Moodle (18)

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.

*Třídění odpadů do pytlů a kovových sudů*



### Zpracování

Hotovo

## Téma 6: Vyrohelé jaderné palivo

Obr. 14: Moodle (18)

### 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):

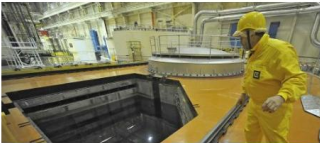
- mokré skladování v bazénech s vodou
- suché skladování ve svislých tlustostěnných kontejnerech
- suché skladování v sudech umístěných ve vodorovných či svislých chodbách s posílenou betonovou klenbou

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.

*Bazén vyhořelého paliva v jaderné elektrárně*

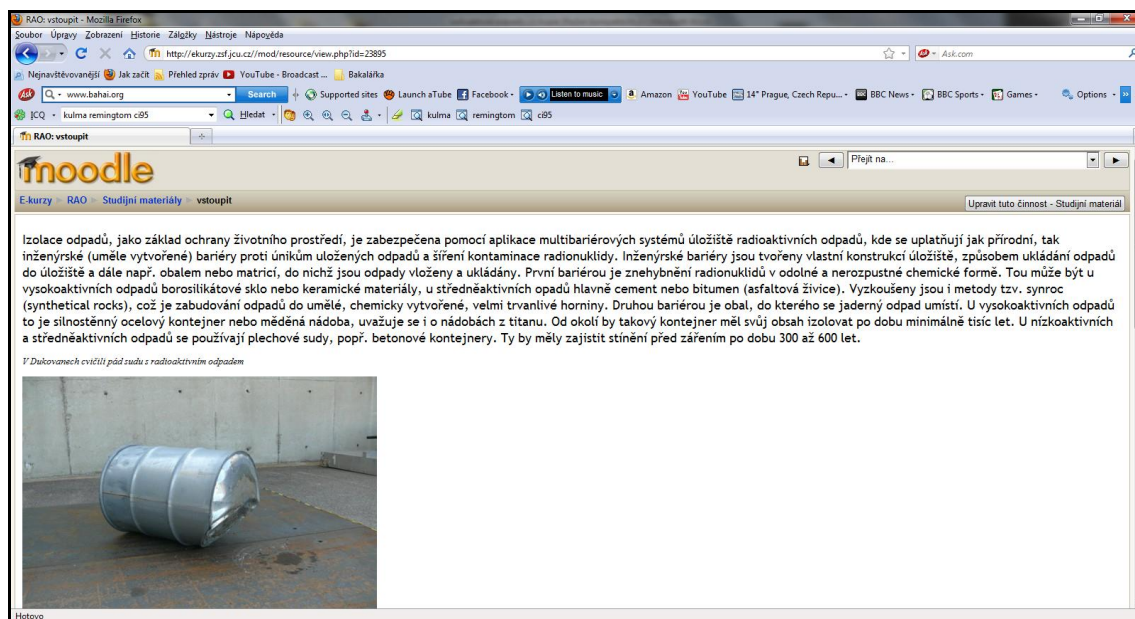


Hotovo




## Téma 7: Izolace odpadů

Obr. 15: Moodle (18)



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

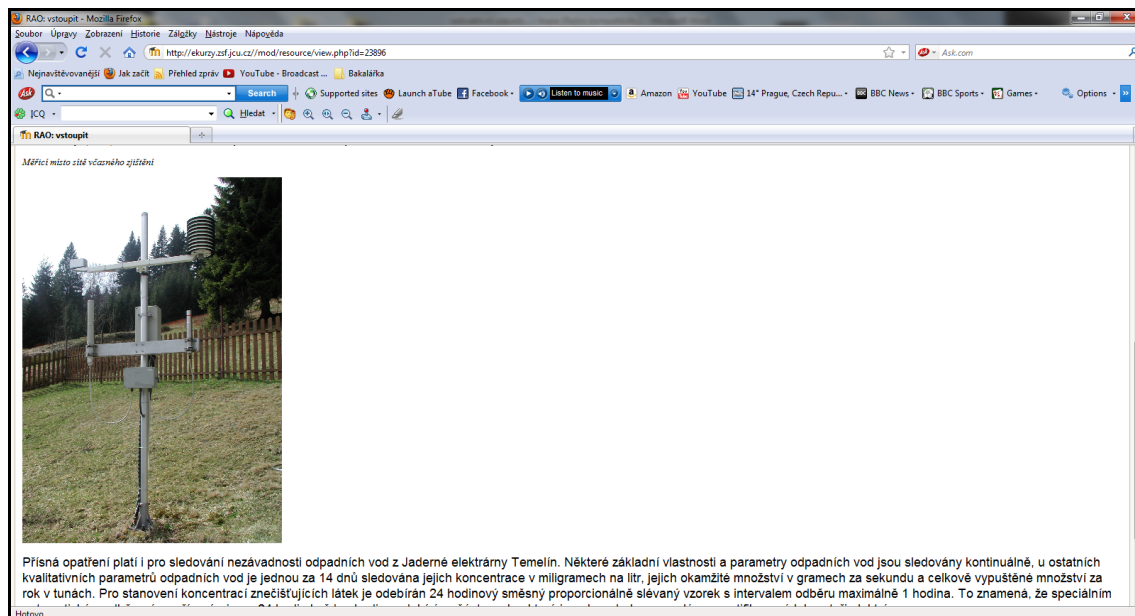
*V Dukovanech evišili pád sudu z radioaktivním odpadem*




Hotovo

## Téma 8: Sledování radiační situace

Obr. 16: Moodle (18)



Měřicí místo sítě věcného zjištění



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 odebrán 24 hodinový směšný proporcionalně slévány vzorek s intervalem odběru maximálně 1 hodina. To znamená, že speciálním

Hotovo

## Téma 9: Vliv provozu jaderných elektráren na životní prostředí

Obr. 17: Moodle (18)

Samotný provoz jaderné elektrárny lze považovat za „čistý,” neboť přímé dopady na životní prostředí jsou velmi malé. Při provozu reaktoru sice vznikají silné 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 čističky procesy v elektrárnách (soustava filtrů a iontoměničů). Izotopy značných plynů, které se uvolňují z chladicí vody do vzduchu, jsou jímány do vymírací nádrže, kde se rozpadají izotopy s krátkým poločasem rozpadu.

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.

Tab. 3: Autorizované limity pro výpusti jaderných elektráren

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

Zdroj: SÚJB – Radiační monitorování na jaderných elektrárnách

Jaderná elektrárna Temelín využila v roce 2009 tento limit v případě výpusti do ovzduší na 0,03 %, v případě výpusti do vodoteče na 22,8 %. Jaderná elektrárna Dukovany čerpala autorizovaný limit výpusti do ovzduší na 0,04 %, kapalných výpusti pak na 25,6 %. U obou elektráren měly v případě výpusti do ovzduší největší podíl na celkové efektivní dávce radionuklidů  $^{14}\text{C}$ , v případě kapalných výpusti pak  $^3\text{H}$ .

## Téma 10: Radionuklidy v životním prostředí

Obr. 18: Moodle (18)

Radionuklidy se v životním prostředí projevují svou aktivitou. Monitorovány jsou složky v ovzduší, v povrchové a pitné vodě, v říčních sedimentech, vodárenských kalesích a v potravních řetězcích. V potravních řetězcích jsou zkoumány houby, lesní plody, ovoce, zelenina, med, brambory, vzorky zvířat, ryby, masa a mléka. Aktivita je aditivní veličina, proto je při porovnávání různých objektů nutné vztahovat tuto veličinu na jednotkové množství. Vliv dané potravin na člověka tak nezávisí pouze na její objemové nebo hmotnostní aktivitě, ale především na jejím celkovém zastoupení v potravě.

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.

Do lidského těla se radionuklidy dostávají potravou, inhalací i resorpcí – povrchem kůže a sliznic. Vdechováním postupují 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).

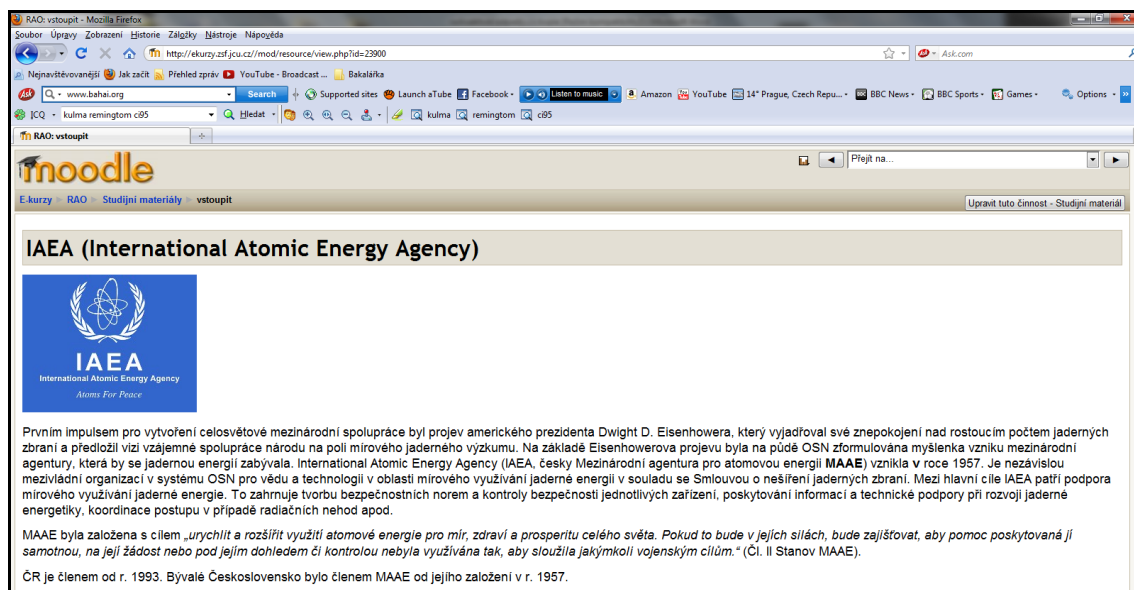
Šíření radionuklidů v životním prostředí

```


    graph TD
      RL[Radioaktivní látky] --> V[voda]
      RL --> P[půda]
      RL --> VZ[vzduch]
      V --> ZV[zavlažování]
      V --> VY[vymývání]
      P --> US[usazování]
      P --> ZV2[zvířovými]
      VZ --> IN[inhalací]
      VZ --> SV[střevními]
      ZV --> ZV3[zvířovými]
      VY --> ZV3
      IN --> ZV3
      SV --> ZV3
      ZV3 --> ZV4[zvířovými]
      ZV3 --> R[rostliny]
      ZV3 --> P2[potrava]
      ZV3 --> P3[pitná voda]
  
```

## Téma 11: Legislativní a institucionální rámec jaderné energetiky

Obr. 19: Moodle (18)



**IAEA (International Atomic Energy Agency)**



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 národů 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, český Mezinárodní agentura pro atomovou energii **MAAE**) vznikla v roce 1957. Je nezávislou mezinárodní organizací v systému OSN pro vědu a technologii v oblasti mírového využívání jaderné energie v souladu se Smlouvou o nešíření jaderných zbraní. 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 radiálních nehod apod.

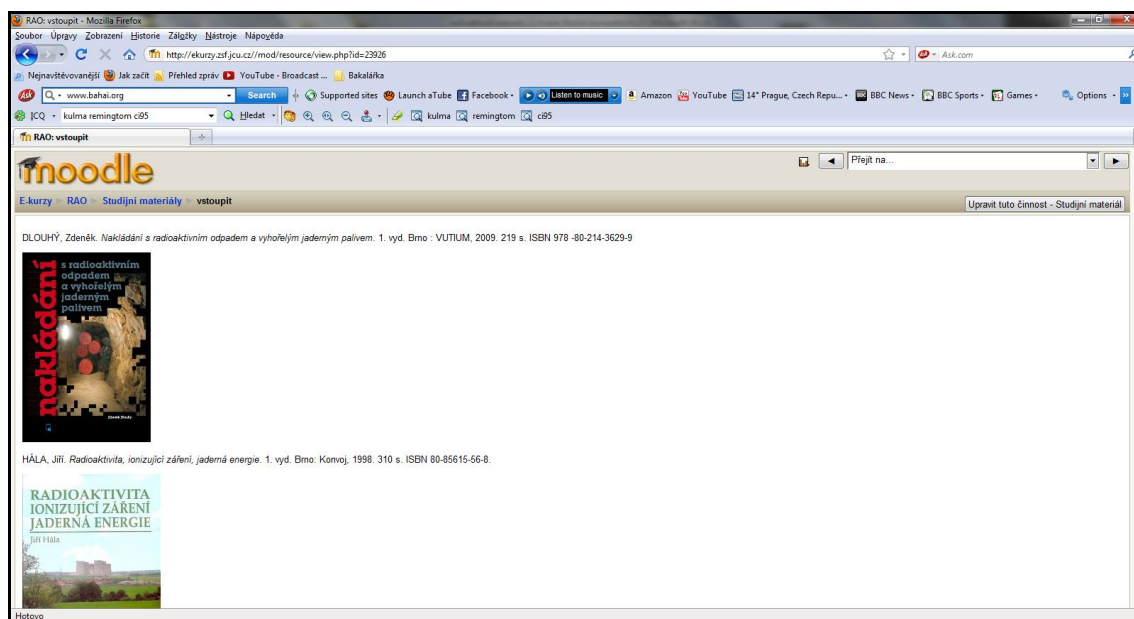
MAAE byla založena s cílem „urychlit a rozšířit využití atomové energie pro mír, zdraví a prosperitu celého světa. Pokud to bude v jejích silách, bude zajišťovat, aby pomoc poskytovaná jí samotnou, na její žádost nebo pod jejím dohledem či kontrolou nebyla využívána tak, aby sloužila jakýmkoli vojenským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

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

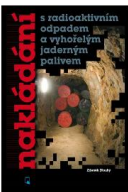
Na konci prezentace je uvedena použitá literatura. Součástí výukového programu je i procvičovací test, ve kterém si studenti mohou ověřit získané znalosti z výukového programu.

## Doporučená literatura


Obr. 20: Moodle (18)



DLOUHÝ, Zdeněk. Nakládání s radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem. 1. vyd. Brno: VUTUM, 2009. 219 s. ISBN 978-80-214-3629-9



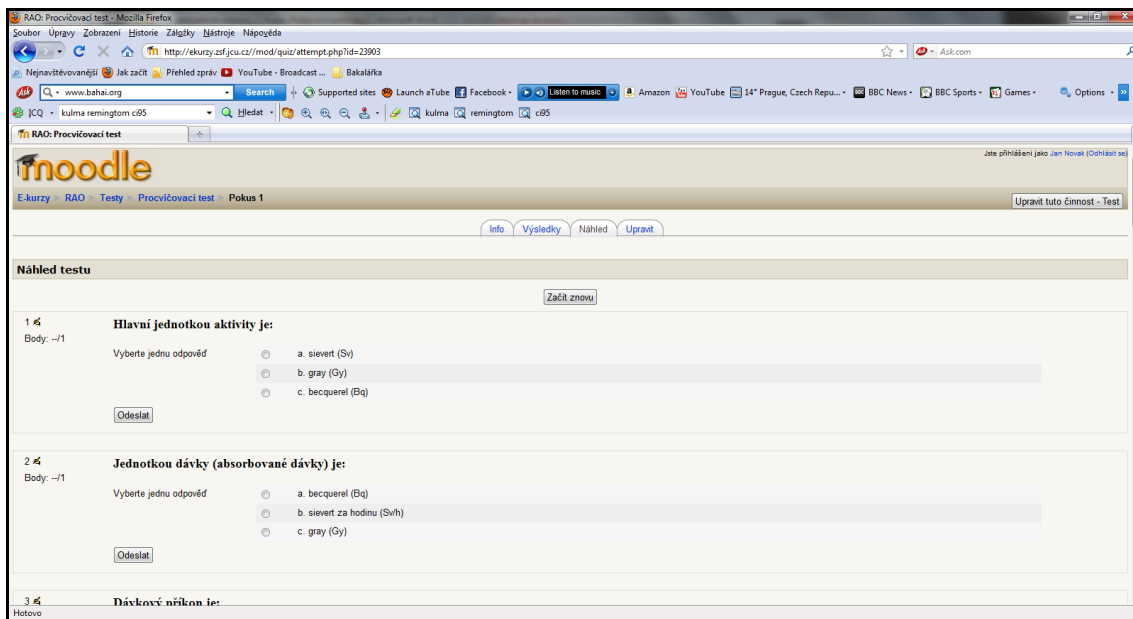
HÁLA, Jiří. Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie. 1. vyd. Brno: Komvoj, 1998. 310 s. ISBN 80-85615-56-8



Hotovo

# Procvičovací test

Obr. 21: Moodle (18)



## 5 DISKUZE

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 (8).

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.

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.

V letošním roce řeší Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích propojení studijní agendy IS – STAG a e-learningovým systémem Moodle. Cílem tohoto propojení je usnadnit učitelům vytváření kurzů v Moodlu na základě dat, která jsou ve STAGU. Naopak bude možné přenášet i některá data z Moodlu zpět do STAG (23).

Věřím, že propojením těchto systémů dojde k efektivnímu zjednodušení náročné práce učitele a stejně tak i k efektivnějšímu přístupu k informacím a učebním látkám pro studující.

## 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 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 nelze potvrdit ani vyvrátit hypotézu, protože v tuto chvíli se nedá říci, že výukový program ucelí problematiku výuky týkající se radioaktivních odpadů a uvolňování radioaktivních látek do životního prostředí. Lze ale konstatovat, že poznatky z této oblasti lze předávat studentům i touto formou a že prezentace je pro výuku daného oboru možná.

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, 219 s. 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) KOLEKTIV AUTORŮ: *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Azin CZ, SÚJB, 619 s, ISBN 80-238-3703-6.
- 5) Kreusch, Jürgen et al. *Jaderný palivový cyklus*. Berlín : Nadace Heinricha Bölla a WISE 2006. 42 s.
- 6) MATĚJKA, Karel et al. *Vyhořelé jaderné palivo*. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 1996. 145 s. PHARE; sv. 5. ISBN 80-7078-352-4.
- 7) Skupina ČEZ. *Radioaktivní odpady a skupina ČEZ*. Propagační tisk, nestr., nedat.
- 8) ZOUNEK, Jiří. *E-learning - jedna z podob učení v moderní společnosti*. Vyd. 1. Brno: Masarykova univerzita, 2009. 161 s. ISBN 9788021051232



### **Seznam internetových zdrojů:**

- 9) ASTRO NUKL FYZIKA. *Radioaktivita* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>
- 10) BELGIE. *Organizace Niras* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.niras.be>
- 11) CHEMISTRY. *Radioactive Symbol* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://chemistry.about.com/od/healthsafety/ig/Laboratory-Safety-Signs/Radioactive-Symbol.-1Lw.htm>
- 12) ČESKÁ TELEVIZE. *Do roku 2022 zavře Německo všechny jaderné elektrárny* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/ekonomika/125575-do-roku-2022-zavre-nemecko-vsechny-jaderne-elektrarny>
- 13) ČESKÉ NOVINY. *Bazén vyhořelého paliva v elektrárně* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: [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)
- 14) ČEZ ENERGOSERVIS. *Plnění sudů v provozu bitumenace* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.cezenergoservis.cz/odpady-dekontaminace/>
- 15) EU A ENERGETIKA. *Nakládání s jaderným odpadem v EU* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.energetika-eu.cz/>

- 16) EUROPEAN COMMISSION. *Waste* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://ec.europa.eu/environment/waste/index.htm>
- 17) EVROPSKÁ KOMISE. *Bezpečné nakládání s vyhořelým palivem a s radioaktivním odpadem* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0618:FIN:CS:PDF>
- 18) E-Learning ZSF (Moodle). *Výukový program Radioaktivní odpady a uvolňování radioaktivních látek do životního prostředí* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://ekurzy.zsf.jcu.cz/course/view.php?id=308>
- 19) FINSKO. *Organizace Posiva Oy* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.posiva.fi/en/>
- 20) FRANCIE. *Organizace Andra* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.andra.fr>
- 21) JADERNÝ ODPAD. *Mezisklady vyhořelého paliva* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.jaderny-odpad.cz/mezisklady-vyhoreleho-paliva.htm>
- 22) JADERNÝ ODPAD. *Jaderný odpad z jaderné elektrárny Temelín* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.jaderny-odpad.cz/jaderny-odpad-temelin.htm>
- 23) JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. *Náměty k propojení IS - STAG - MOODLE* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: [https://www.jcu.cz/it\\_services/hlasovani/namety-k-propojeni-stag-moodle](https://www.jcu.cz/it_services/hlasovani/namety-k-propojeni-stag-moodle)

- 24) *Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v ČR*. Praha : Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR 2001. 28 s. [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupný z <http://www.calla.cz/data/energetika/ostatni/KONCEPCE%20final.rtf>
- 25) *Kontejner Castor 440/84* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: [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)
- 26) MAĎARSKO. *Organizace Puram* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.rhk.hu/en/>
- 27) MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ ČR. *Politika územního rozvoje České republiky* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.mmr.cz/getdoc/873d1a09-3b9d-4a12-9924-e42eb641a0ad/III--Navrh-PUR-CR-2008>
- 28) NĚMECKO. *Das Bundesamt für Strahlenschutz* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.bfs.de/de/bfs>
- 29) NIZOZEMSKO. *Organizace Covra* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.eu-decom.be/contacts/holland/covra.html>
- 30) OBEC VÝPRACHTICE. *Schéma předpokládaného řešení hlubinného úložiště v ČR* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.obec-vyprachtice.cz/clanky/zdroje-elektricke-energie-v-ci/>

- 31) SKUPINA ČEZ. *Nakládání s odpady* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/zvazovana-dostavba-elektrarny-temelin/nakladani-s-odpady.html>
- 32) SLOVENSKO. *Organizace Javys* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.javys.sk/sk/index.php>
- 33) SLOVENSKO. *Organizace Vuje* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.vuje.sk/sk/index.php>
- 34) SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ. *Radioaktivní odpad* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Radioaktivni-odpad>
- 35) SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ. *Informace pro původce odpadů* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.surao.cz/cze/O-SURAO/Informace-pro-puvodce-odpadu%20>
- 36) SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ. *Úložiště radioaktivních odpadů Richard* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: [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)
- 37) SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ. *Úložiště radioaktivních odpadů Bratrství* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Soucasna-pripovrchova-uloziste/Bratrstvi-Jachymov>

- 38) STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Narizení vlády č. 416/2002 Sb.* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: [http://www.sujb.cz/docs/NV416\\_2002Sb.pdf](http://www.sujb.cz/docs/NV416_2002Sb.pdf)
- 39) STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Radiační monitorování na jaderných elektrárnách k zajištění radiační ochrany* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/radiacni-monitorovani-na-jadernych-elektrarnach-k-zajisteni-radiacni-ochrany/>
- 40) STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Vznik a vývoj SÚJB* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.sujb.cz/15-let-sujb/vznik-a-vyvoj-sujb/>
- 41) STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Vyhláška č. 307/2002 Sb.* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: [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)
- 42) STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Vyhláška č. 317/2002 Sb* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: [http://www.sujb.cz/docs/v317\\_02.pdf](http://www.sujb.cz/docs/v317_02.pdf)
- 43) STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Přeprava radioaktivních odpadů* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: [http://www.sujb.cz/docs/NV\\_preprava\\_RAO.pdf](http://www.sujb.cz/docs/NV_preprava_RAO.pdf)
- 44) STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Uran* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: [http://www.sujb.cz/docs/MP\\_uran1.pdf](http://www.sujb.cz/docs/MP_uran1.pdf)

- 45) STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Zákon č. 18/1997 Sb.* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: [http://www.sujb.cz/docs/Atomovy\\_zakon\\_20110907.pdf](http://www.sujb.cz/docs/Atomovy_zakon_20110907.pdf)
- 46) STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Sklad vyhořelého jaderného paliva Temelín* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/jaderna-zarizeni/sklady-vyhoreleho-jaderneho-paliva/sklad-vyhoreleho-jaderneho-paliva-temelin/>
- 47) ŠPANĚLSKO. *Organizace Enresa* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.enresa.es>
- 48) ŠVÉDSKO. *Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.skb.se>
- 49) *Radioaktivní odpady a skupina čez* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: [http://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/content/pdf/cez\\_a\\_radioaktivni\\_odpady\\_-\\_nahled.pdf](http://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/content/pdf/cez_a_radioaktivni_odpady_-_nahled.pdf)
- 50) RAKOUSKO. *Organizace Nuclear Engineering Seibersdorf* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.nes.at>
- 51) REGIONY24. *Úložiště Richard* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: [http://www.regiony24.cz/aktualne/vypis.aspx?id\\_clanku=54380](http://www.regiony24.cz/aktualne/vypis.aspx?id_clanku=54380)
- 52) ÚSTAV JADERNÉHO VÝZKUMU ŘEŽ. *Jaderná bezpečnost a spolehlivost* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.ujv.cz/web/ujv-200/jaderna-bezpecnost-a-spolehlivost>

- 53) VELKÁ BRITÁNIE. *The Nuclear Decommissioning Authority* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.nda.gov.uk>
- 54) VÝROBA JADERNÉ ENERGIE. *Úložiště odpadu v ČR* [online]. [cit. 2012-07-14].  
Dostupné z: <http://www.jaderna-energie.cz/uloziste-odpadu.htm>
- 55) *Zpráva o radiační situaci na území České republiky v roce 2008*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Státní ústav radiační ochrany 2009. 80 s. [online]. [cit. 2012-07-14].  
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)
- 56) *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. [online]. [cit. 2012-07-14].  
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)

### **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.