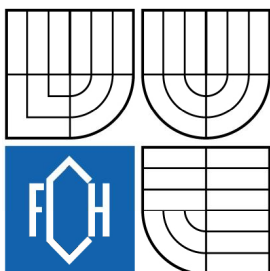


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA CHEMICKÁ**

**ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY  
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**FACULTY OF CHEMISTRY**

**INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF  
ENVIRONMENTAL PROTECTION**

## **OCHRANA OBYVATELSTVA PŘED A PŘI RADIAČNÍ HAVÁRII**

**PROTECTION OF CITIZENS BEFORE AND DURING THE NUCLEAR ACCIDENTS**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**BACHELOR'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE**

**AUTHOR**

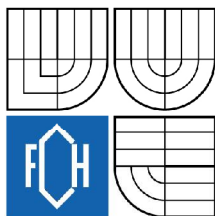
**Bc. PETR ČERVINKA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

**SUPERVISOR**

**Ing. OTAKAR JIŘÍ MIKA, CSc.**

**BRNO 2009**



Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta chemická**  
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

## Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce: **FCH-BAK0283/2008** Akademický rok: **2008/2009**  
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí  
Student(ka): **Bc. Petr Červinka**  
Studijní program: Ochrana obyvatelstva (B2825)  
Studijní obor: Krizové řízení a ochrana obyvatelstva (2804R002)  
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Otakar Jiří Mika, CSc.**  
Konzultanti bakalářské práce:

### Název bakalářské práce:

Ochrana obyvatelstva před a při radiační havárii

### Zadání bakalářské práce:

Pojednání k problematice ochrany obyvatelstva před a při radiační havárii s využitím domácích i zahraničních zkušeností na základě literární rešerše.

### Termín odevzdání bakalářské práce: 29.5.2009

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

-----  
Bc. Petr Červinka  
Student(ka)

-----  
Ing. Otakar Jiří Mika, CSc.  
Vedoucí práce

-----  
doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.  
Ředitel ústavu

V Brně, dne 1.12.2008

-----  
doc. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.  
Děkan fakulty

**ABSTRAKT:**

Tato práce se zabývá ochranou obyvatelstva před a při radiační havárii. V první části je popsáno jaké nebezpečí představují radiační havárie. Dále jsou uvedeny zdroje rizika a klasifikace havárií v jaderných elektrárnách. Je uvedena legislativa ČR týkající se této oblasti a zásady ochrany obyvatelstva. Součástí této práce je stručná studie havárie v Černobyli a návrh kapesní příručky pro obyvatelstvo.

**ABSTRACT:**

This work is concerned with protection of citizens before and during the nuclear accidents. There is described what threat is nuclear accident in first part of this work. Next are noted sources of risk and classification of accidents in nuclear plants. There is mentioned legislature of Czech Republic in this area and principles of protection of citizens. Part of this work is a short study of Chernobyl accident and a concept of pocket guide for citizens.

**KLÍČOVÁ SLOVA:**

Ochrana obyvatelstva, Radiační havárie, Jaderná elektrárna, Černobyl

**KEY WORDS:**

Protection of citizens, Nuclear accidents, Nuclear plant, Chernobyl

ČERVINKA, P. *Ochrana obyvatelstva před a při radiační havárii*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2009. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Otakar Jiří Mika, CSc.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....  
podpis studenta

# Obsah

Obsah.....	5
1. Úvod .....	6
2. Co je to radioaktivita a jaké nebezpečí představuje .....	7
2.1. Vlastnosti radioaktivního záření.....	7
2.2. Biologické účinky záření na organismus .....	9
2.3. Zásady radiační ochrany .....	11
3. Použití radioaktivních látek .....	12
3.1. Jaderné zbraně .....	12
3.2. Zdroje rizika .....	12
3.3. Princip jaderné elektrárny .....	13
3.4. Mezinárodní agentura pro atomovou energii – MAAE.....	14
3.5. Klasifikace nehod a havárií.....	14
3.6. Jaderné havárie .....	15
4. Případová studie k radiační havárii v Černobylu .....	17
4.1. Několik faktů na úvod.....	17
4.2. Průběh jaderné havárie v Černobylu.....	17
4.3. Likvidace následků havárie.....	18
4.4. Šíření radioaktivních látek z havarovaného reaktoru .....	19
4.5. Dopady havárie v ČR a přijatá opatření.....	19
4.6. Zdravotní důsledky .....	19
4.7. Závěr .....	20
5. Legislativa ČR.....	21
6. Hlavní zdroje rizika radiační havárie v České republice .....	22
6.1 Jaderná elektrárna Dukovany .....	22
6.2. Jaderná elektrárna Temelín .....	22
7. Ochrana obyvatelstva .....	24
7.1. Fáze havárie z hlediska havarijního plánování .....	24
7.2. Opatření k ochraně obyvatelstva .....	24
8. Ochrana obyvatelstva v České republice.....	27
8.1. Povinnosti provozovatele jaderného zařízení.....	27
8.2. Preventivní opatření.....	27
8.3. Zóna havarijního plánování.....	28
8.4. Reakce na radiační havárii .....	29
9. Závěr.....	32
Seznam použitých zdrojů.....	33
Seznam zkratk a symbolů .....	34
Seznam příloh .....	35

# 1. Úvod

Od počátku výzkumů v oblasti radiačního záření bylo jasné, že se jedná o potenciálně nebezpečnou oblast a je nutné přijmout opatření, které by minimalizovali ztráty na životech a zdraví jak pracovníků tak zaměstnanců v okolí se zdroji záření. Výzkumy provedené po vojenských výbuších jaderných zbraní a to hlavně v oblasti Hirošimy a Nagasaki potvrdily, že následky jaderného výbuch mohou být hrozivé. To stejné platí i pro mírové využití jaderné energie. Následky radiačních havárií mohou být rozsáhlé a mohou zasáhnout velké množství lidí. To se ostatně potvrdilo i při největší radiační havárii v roce 1986 v Černobylu.

V této práci se budu zabývat ochranou obyvatelstva před a při radiační havárii. V první části se pokusím přiblížit co je to radioaktivita a jakým způsobem působí na organismus. Potom uvedu ve kterých oblastech se radioaktivní látky používají, a které oblasti jsou nejnebezpečnější. Uvedu přehled nejvážnějších radiačních havárií. Součástí mé práce je také stručná studie havárie v jaderné elektrárně v Černobylu. V další části své práce uvedu legislativní normy upravující tuto problematiku a povinnosti provozovatelů jaderných zařízení. V poslední části se budu věnovat zásadám a konkrétním opatřením, které je nutné přijmout při řešení ochrany obyvatelstva.

Součástí mé práce je také návrh kapesní příručky pro obyvatelstvo v zóně havarijního plánování.

## 2. Co je to radioaktivita a jaké nebezpečí představuje

Každý atom je popsán mimo jiné svým protonovým a nukleonovým číslem. Protonové číslo vyjadřuje počet protonů v jádru atomu a všechny atomy se stejným protonovým číslem jsou považovány za jeden prvek. Nukleonové číslo vyjadřuje součet protonů a neutronů v jádru atomu. V přírodě se prvky vyskytují obvykle jako směs chemicky shodných atomů, kdy všechny atomy mají shodné protonové číslo ale odlišné nukleonové číslo (mají různý počet neutronů v jádru). Tyto atomy označujeme jako izotopy. Například prvek Uran se v přírodě vyskytuje jako směs tří různých izotopů, které jsou po chemické stránce shodné ale liší se mírně ve svých fyzikálních vlastnostech. Některé izotopy daného prvku jsou stabilní ale jiné stabilní nejsou a dochází u nich k samovolnému rozpadu jader, při němž se uvolňuje energie ve formě záření. Toto záření se nazývá radioaktivní záření a proces se nazývá radioaktivita nebo radioaktivní rozpad.

Jak jsem uvedl výše, při radioaktivním rozpadu atomu dochází k přeměně tohoto atomu a k uvolnění energie ve formě záření. Rozeznáváme čtyři typy záření, každé představované uvolňujícími se částicemi.

Záření  $\alpha$  je proud jader helia  ${}^4_2\text{He}^{2+}$  ( $\alpha$ -částic) a nese kladný elektrický náboj

Záření  $\beta$  je proud záporně nabitých elektronů  $e^-$ .

Záření  $\gamma$  je elektromagnetické záření vysoké frekvence, neboli proud velmi energetických fotonů. Nemá elektrický náboj.

Neutronové záření je proud neutronů. Nemá elektrický náboj.

Při konkrétním radioaktivním rozpadu se uvolní záření určitého typu, nebo kombinace záření podle toho, jaký izotop tomuto rozpadu podlehl.

Z výše uvedeného je zřejmé, že radioaktivní prvky se běžně vyskytují v přírodě kolem nás. Přírodní radioaktivita sama o sobě není příliš nebezpečná, protože její úroveň je tak nízká že pro nás nepředstavuje riziko. Dalo by se říct že je pro nás naopak potřebná. Bez ní by se člověk asi nikdy nevyvinul. Nebezpečí se skrývá v používání radioaktivních prvků pro průmyslové účely. V průmyslových procesech dochází ke koncentrování radioaktivních materiálů, k iniciaci radioaktivní přeměny a k výrobě umělých prvků, které podléhají snáze radioaktivní přeměně.

### 2.1. Vlastnosti radioaktivního záření

Každé ze záření má odlišné vlastnosti a představuje různý druh ohrožení a z toho vyplývající způsoby ochrany. Parametry, které záření odlišují jsou jejich schopnost průniku prostředím, energie kterou nesou a možnosti interakce s okolím.

#### Průnik prostředím

Částice  $\alpha$  a  $\beta$  jsou hmotné a proto je jejich dolet velmi omezený. Dolet alfa částic je ve vzduchu několik centimetrů a ve pevných látkách je v mikrometrech. Dolet beta částic je ve vzduchu několik metrů a v pevných látkách je dolet v milimetrech (2mm hliníku). Gama

záření se označuje jako pronikavé záření. Jako parametr se neudává dolet, ale polovrstvy, které vyjadřují jak silná vrstva daného materiálu je nutná ke snížení intenzity gama záření na polovinu.

Tabulka 1. Polovrstvy vybraných materiálů

Materiál	Polovrstva
Vzduch	Stovky metrů
Voda	cca 10 cm
Beton	cca 6 cm
Železo	cca 2 cm
Olovo	cca 1 cm

### Intenzita záření zdroje (Aktivita)

K charakterizaci zdroje záření se používá veličina nazvaná Intenzita záření zdroje (Aktivita). Je to veličina popisující množství radioaktivity v materiálech. Aktivita  $A$  je definována jako počet radioaktivních přeměn za jednotku času [1]. Její definiční vztah je:

$$A = dN / dt \text{ [Bq]}$$

Fyzikální jednotka je  $[1 \text{ s}^{-1}] = [1 \text{ Bq}]$  (becquerel) - je to odvozená jednotka definovaná jako aktivita radioaktivní látky při níž dojde k jednomu rozpadu atomového jádra za sekundu.

V praxi se často používají odvozené jednotky:

- Plošná aktivita (radionuklidy jsou rozptýleny na ploše, terénu...)  $[\text{Bq}/\text{cm}^2]$ ,  $[\text{GBq}/\text{km}^2]$
- Měrná (hmotnostní) aktivita (potravin a pod. materiály)  $[\text{MBq}/\text{kg}]$
- Objemová aktivita (voda, mléko, jiné kapaliny, ovzduší)  $[\text{kBq}/\text{litr}]$ ,  $[\text{Bq}/\text{m}^3]$

Další používanou veličinou je dávka (absorbovaná dávka). Ta udává množství energie absorbované v předmětech. Vyjadřuje se jako množství energie pohlcené v jednotce hmotnosti tělesa.

$$D = e / m$$

Fyzikální jednotka je  $[1 \text{ J}/\text{kg}] = [1 \text{ Gy}]$  (gray).

### Ekvivalentní dávka $H_T$

Je vždy vztažena na konkrétní orgán nebo tkáň a je definována jako součin dávky  $D_T$  a radiačního faktoru  $W_R$ .

$$H_T = D_T * W_R$$

Tato veličina charakterizuje míru biologických účinků jednotlivých druhů záření na člověka či lidské tkáně. Její jednotkou je  $[1\text{Sv}]$  (Sievert).  $D_T$  je dávka v orgánu nebo tkáni. Váhový faktor  $W_R$  závisí na druhu a energii záření a vyjadřuje, kolikrát je dané záření biologicky účinnější než záření gama.



## **Efektivní dávka E**

Je vztažena na celý organismus a lze ji vypočítat jako součet ekvivalentních dávek za jednotlivé orgány či tkáně, vynásobené tkáňovým váhovým faktorem  $W_T$ .

$$E = \sum H_T * W_T$$

Jednotkou efektivní dávky je opět [1 Sv]. Hodnoty  $W_R$  a  $W_T$  jsou uvedeny ve Vyhlášce SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně.

Tabulka 2. Hodnoty  $W_R$

<b>Typ záření</b>	<b>Radiační váhový faktor <math>W_R</math></b>
Fotony	1
Elektrony	1
Neutrony (podle energie)	5 - 20
Protony	5
Částice alfa a těžká jádra	20

## **2.2. Biologické účinky záření na organismus**

Biologické účinky na organismus se liší podle typu záření. Jsou závislé především na schopnosti záření proniknout prostředím a na energii záření.

### **Záření $\alpha$**

Ve vzduch má dolet přibližně 10 cm, v tkáních desítky nanometrů. Je možné ho zadržet i listem papíru. Pokud se tedy zdroj alfa záření nachází vně organismu, není pro organismus nebezpečný. Nebezpečí ale extrémně narůstá, pokud se zdroj alfa záření dostane do kontaktu s pokožkou, nebo dokonce dovnitř organismu. Tam se potom projeví vysoký ionizační účinek záření.

### **Záření $\beta$**

Jeho účinky závisejí především na energii. Dolet ve vzduchu je do vzdálenosti několika metrů, ve tkáních 8 až 10 mm. Podle velikosti energie, množství a doby působení vyvolává na pokožce změny připomínající popáleniny a v otevřených ranách a uvnitř organismu způsobuje velmi rychlé odumírání okolní tkáně.

### **Záření $\gamma$**

Toto záření lze odstínit pouze obtížně a jeho schopnost průniku prostředím je značná. Biologický účinek je vzhledem ke schopnosti pronikat do tkání do větších hloubek silnější.

### **Neutronové záření**

Negativní účinky jsou přímo úměrné velikosti energie. Velmi snadno pronikají do značné hloubky materiálů tvořených těžkými atomy a naopak je snadno pohlcují materiály z lehkých atomů. Neutrony se při srážkách s těžkými atomy odrážejí a ztrácejí tím svoji energii. Při srážkách s lehkými jádry ale působí jiný princip. Neutron předá svou pohybovou energii atomu vodíku a sám se zabrzdí.

Díky důkladnému studiu účinků ionizujícího záření při jeho použití v lékařství a následků použití jaderných zbraní a nehod jsou jeho účinky poměrně dobře známy. Představují široké spektrum různých poruch a projevů, které je možné rozdělit na dva základní druhy:

- Deterministické – Nastává vždy
- Stochastické – Je náhodné, nastává s určitou pravděpodobností

### Deterministické účinky

Jsou to takové účinky, které se projeví po jednorázovém ozáření celého těla nebo určité tkáně. Dávka je přitom větší, než hodnota označovaná jako prahová dávka. Tato prahová dávka je pro každou tkáň různá. Za prahovou dávkou se považuje hodnota dávky, která vyvolá příslušné poškození u 1-5% ozářených osob [2].

Mezi tkáně s nejnižší prahovou dávkou patří varlata (0,15 Gy), u kůže se objevují první příznaky při dávce 5 Gy. Při ozáření celého těla se první příznaky objevují při dávkách 1 Gy, k typické nemoci z ozáření spojené s útlumem krvetvorby a zvýšenou vnímavostí vůči infekcím dochází po dávkách kolem 5 Gy. Specializovaná léčba umožňuje přežití dávek přibližně 10 Gy.

### Stochastické účinky

Tyto účinky vznikají v následku ozáření jediné buňky. Existuje možnost, že v ozářené buňce dojde ke změnám a po nějaké době, většinou v řádu let, může dojít k projevům těchto změn, nejčastěji k rakovinnému bujení. Stochastické účinky se dají určit pouze při sledování většího počtu osob. Platí že při ozáření existuje určitá pravděpodobnost vzniku rakoviny a tato pravděpodobnost se zvyšuje s velikostí dávky. Ale stále je to pouze pravděpodobnost.

Tabulka 3. Procesy probíhající v buňce po ozáření, účinky záření [1]

STADIUM	PROCESY				TRVÁNÍ
Fyzikální	Absorpce energie ionizujícího záření, ionizace vody				$10^{-16}$ s
Fyzikálně-chemické	Interakce iontů s molekulami, vznik volných radikálů				$10^{-6}$ s
Chemické	Interakce radikálů s organickými molekulami				sekundy
	Denaturace důležitých buněčných složek a fragmentů		Interakce s DNK		
Biologické	Smrt buňky		Změna genetické informace buňky, mutace		Desítky minut až desítky let
	Usmrcení v klidovém stavu	Zánik vázaný na buněčné dělení	Somatická	Genetická	
Účinky záření	Deterministické		Stochastické		
	Časné	Pozdní			
	Somatické			Genetické	

Tabulka 4. Zdravotní následky ozáření [1]

Účinky záření	Deterministické		Stochastické	
	Časné	Pozdní		
	Somatické			Genetické
Zdravotní následky ozáření	Akutní postradiační syndrom (nemoc z ozáření)	Chronický útlum krvetvorby	Leukemie	Následky u potomstva
	Akutní lokální změny (nenádorová poškození orgánů)	Chronický zánět kůže	Nádorová poškození orgánů (rakovina)	
	Poškození vývoje zárodku či plodu	Zákal oční čočky		

### 2.3. Zásady radiační ochrany

Hlavní zásady ochrany před radiačním zářením se dají shrnout do tří hesel. Čas, vzdálenost a odstínění. [3]

**Čas** – Dávka absorbovaná organismem se zvyšuje s dobou, po kterou je organismus vystaven záření. Je tedy nutné čas vystavení se radiačnímu záření minimalizovat.

**Vzdálenost** – Čím větší bude vzdálenost mezi zdrojem záření a zasaženým organismem, tím menší bude dávka absorbovaná organismem. Je to díky pohlcování energie záření ve vzduchu.

**Odstínění** – Znamená umístění fyzické bariéry mezi zdroj záření a organismus tak, aby byla maximální možná část záření pohlcena touto bariérou.

### **3. Použití radioaktivních látek**

Se zvyšující se technickou vyspělostí naší civilizace jsou radioaktivní materiály používány ve stále větším množství různých aplikací a je to jeden z nejrychleji se rozvíjejících oborů lidské činnosti. Nejznámější mírové oblasti využití jsou energetika a lékařství. Bohužel radioaktivní materiály si našly uplatnění i ve vojenské oblasti a jaderné zbraně představují jednu z nejničivějších zbraní na světě.

V praxi se používají radioaktivní materiály dvěma hlavními způsoby. Je to ve formě zářičů, kde se využívá princip přirozené radioaktivity zdroje a potom jako jaderná reakce v reaktorech, kde se využívá odstřelování látky v reaktoru proudem částic k iniciaci jaderné reakce.

První způsob se využívá převážně v lékařství a v detekčních zařízeních. Riziko havárie je v těchto případech malé, spočívá spíše v nesprávné manipulaci s zářiči, případně při nehodách při dopravě. Ohroženy jsou většinou pouze osoby které se zářiči pracují ale nevzniká všeobecné ohrožení velkého množství osob.

Jaderná reakce naproti tomu v případě havárie ohrožuje velkou oblast a tedy i velké množství osob. Proto se v dalším textu budu zabývat touto oblastí.

#### **3.1. Jaderné zbraně**

Oblastí, kterou v této práci zmíním pouze okrajově jsou jaderné zbraně. Tato problematika samozřejmě představuje pro obyvatelstvo značné ohrožení, ať už při „regulérním“ válečném konfliktu, nebo při teroristickém útoku, ale tato práce se zabývá ochranou obyvatelstva před radiačními nehodami, kde je možné určit zdroj ohrožení a předem přijmout odpovídající bezpečnostní opatření. V případě jaderných zbraní libovolného typu, jsou tyto možnosti omezené a přijímané preventivní opatření se v těchto případech někdy nutně liší od opatření přijímaných v případě známého ohrožení.

#### **3.2. Zdroje rizika**

Jak vyplývá z předchozího textu, největší nebezpečí pro nás představují jaderné reaktory. V zásadě lze používané jaderné reaktory rozdělit do dvou skupin podle jejich účelu. Prvním typem jsou reaktory, ve kterých se připravují radioaktivní materiály k dalšímu použití. Druhou skupinou jsou jaderné reaktory využívající připravené jaderné palivo pro výrobu energie v jaderných elektrárnách. Ve světě využívá jadernou energii přibližně 30 zemí. V některých případech dosahuje podíl jaderné energie až 60% výroby elektrické energie (Francie). Některé země naopak prosazují zákaz používání jaderné energie (Rakousko).

V evropských zemích bylo v únoru 2009 v provozu 196 reaktorů s instalovaným výkonem 169,711 MW a dalších 14 reaktorů s výkonem 12,815 MW se buduje[4].

Tabulka 5. Jaderné reaktory v Evropě, únor 2009 [4].

Země	V provozu		Ve výstavbě	
	Počet	Výkon [ MW ]	Počet	Výkon [ MW ]
Belgie	7	5,824	-	-
Bulharsko	2	1,906	2	1,906
Česká republika	6	3,634	-	-
Finsko	4	2,696	1	1,600
Francie	59	63,260	1	1,600
Holandsko	1	482	-	-
Litva	1	1,185	-	-
Maďarsko	4	1,859	-	-
Německo	17	20,470	-	-
Rumunsko	2	1,300	-	-
Ruská federace	31	21,743	8	5,809
Slovensko	4	1,711	-	-
Slovinsko	1	666	-	-
Španělsko	8	7,450	-	-
Švédsko	10	8,958	-	-
Švýcarsko	5	3,238	-	-
Ukrajina	15	13,107	2	1,900
Velká Británie	19	10,097	-	-
Celkem	196	169,711	14	12,815

### 3.3. Princip jaderné elektrárny

Jaderná elektrárna je v podstatě tepelná elektrárna a od klasické tepelné elektrárny se liší v jen zdrojem tepla potřebného ke vzniku páry, která pohání turbínu vyrábějící elektřinu. Jako zdroj tepla slouží v jaderných elektrárnách jaderná reakce.

Jádra některých atomů se mohou po srážce s volnými neutrony rozpadnout na dvě nebo více částí. Tento proces se nazývá štěpná reakce [5]. Jedním z radionuklidů, který se dá poměrně snadno štěpit, je uran 235. V jaderném reaktoru se zpravidla používá jako jaderné palivo uran 238 obohacený uranem 235. Při štěpné reakci, probíhající v tzv. aktivní zóně reaktoru, se jádro uranu 235 rozpadne zpravidla na dvě středně těžká jádra, tzv. štěpné produkty. Při tom se uvolní energie, která dosud vázala částice jádra. Při každém štěpení se uvolní 2 až 3 neutrony, které mohou štěpit další jádro uranu. Pravděpodobnost, že nastane rozštěpení dalšího jádra, je tím větší, čím menší je rychlost neutronů. Proto jsou v reaktoru materiály, které slouží ke zpomalení rychlých neutronů, tzv. moderátory. Při štěpení uranu 235 se štěpné produkty od sebe rozletí velkou rychlostí a zabrzdí se na velmi krátké dráze o okolní atomy. Kinetická energie štěpných produktů se tak mění na energii tepelnou a jaderné palivo se silně ohřívá. Teplota uvnitř palivového proutku dosahuje více než 1200 °C. U reaktorů typu VVER je vznikající teplo odváděno chladicí vodou, která proudí kolem palivových proutků do parogenerátorů, což představuje tzv. primární okruh. Teplo odváděné primárním chladivem z aktivní zóny reaktoru je v parogenerátorech předáváno do sekundárního okruhu. V

parogenerátorech vzniká ohřevem sekundární vody nasycená pára která je vedená do soustrojí parních turbín, pohánějících elektrické generátory. Po výstupu páry z posledního nízkotlakého dílu turbíny je sekundární pára odváděna do kondenzátoru, odkud se po ochlazení a kondenzací pomocí chladicí vody terciálního okruhu vrací v kapalném stavu přes systém napájecích čerpadel zpět do parogenerátoru. Účelem terciálního okruhu je odvést nevyužitě teplo přes chladicí věže do atmosféry nebo v případě elektráren na břehu velkých řek nebo moří do jejich vod.

### 3.4. Mezinárodní agentura pro atomovou energii – MAAE

V roce 1957 byla založena Mezinárodní agentura pro atomovou energii – MAAE (International Atomic Energy Agency – IAEA) [6]. V současné době sdružuje 146 členských států. Její hlavní sídlo se nachází ve Vídni. Tato organizace dohlíží a stanovuje pravidla pro mírové využívání atomové energie. Je zároveň orgánem zodpovědným z kontrolu dodržování Smlouvy o nešíření jaderných zbraní. Její činnost zahrnuje tři hlavní oblasti. Jsou to „Zabezpečení a kontrola“, „Bezpečnost a ochrana“ a „Věda a technologie“. Součástí činnosti agentury je kontrola jaderných zařízení po celém světě, vytváření bezpečnostních standardů a metod a návodů využitelných při plánování ochrany obyvatelstva. Vydala také Mezinárodní stupnici pro hodnocení událostí v jaderných elektrárnách.

### 3.5. Klasifikace nehod a havárií

Všechny nehody a havárie se hodnotí podle mezinárodní stupnice pro hodnocení událostí v jaderných elektrárnách. Toto hodnocení vychází ze tří hlavních kritérií. Jsou to:

- Dopad na životní prostředí. Zde se hodnotí především únik radioaktivních látek mimo jadernou elektrárnu a ovlivnění okolního obyvatelstva.
- Dopad na zařízení a prostředí uvnitř elektrárny. Hodnotí se především stav aktivní zóny a únik radioaktivity v rámci elektrárny.
- Dopad na bezpečnostní systémy. To jsou události, které nepředstavují ohrožení, ale v důsledku nepříznivého vývoje by ohrožení představovat mohli.

Tabulka 6. Mezinárodní stupnice pro hodnocení událostí v jaderných elektrárnách

Stupeň	Název	Popis	Příklad
7	Velká havárie	- Únik velkého množství radioaktivních látek z aktivní zóny reaktoru mimo elektrárnu - Možnost okamžitých zdravotních následků. Pozdní zdravotní následky se mohou objevit na velkém území. - Dlouhodobé následky pro životní prostředí	Černobyl 1986
6	Závažná havárie	- Únik radioaktivity mimo elektrárnu - K omezení zdravotních následků je nutné úplné použití místních havarijních plánů	
5	Havárie s účinky na okolí	- Únik radioaktivních štěpných produktů mimo elektrárnu - Částečné zavedení opatření podle místních	Windscale 1957, Three Mile

		havarijních plánů (např. evakuace nebo ukrytí), aby se omezily pravděpodobné zdravotní účinky - Velká část aktivní zóny je poškozena tavením nebo mechanicky	Island 1979
4	Havárie s účinky v jaderném zařízení	- Malý únik radioaktivity mimo elektrárnu, jehož následkem je individuální dávka pro nejzasaženější skupinu obyvatel na hranici předepsaných limitů - Havarijní opatření mimo elektrárnu nepravděpodobná - Aktivní zóna reaktoru je částečně poškozena tavením, nebo mechanicky. Ozáření pracovníků elektrárny může vést k okamžitým zdravotním následkům.	Saint Laurent 1980, Jaslovské Bohunice 1977
3	Vážná porucha	- Únik radioaktivity nad povolené limity. Vně elektrárny nejsou nutná žádná zvláštní opatření. - Vysoké úrovně radioaktivity nebo zamoření uvnitř elektrárny. Personál je nadměrně ozářen. - Všechny poruchy, při kterých by další selhání bezpečnostních systémů mohlo vést k havárii.	Vandellos 1989
2	Porucha	Technické poruchy, které neovlivňují bezpečnost elektrárny, ale mohou vést k následnému přehodnocení bezpečnostních opatření.	Mihama 1991
1	Odchylna	Funkční nebo provozní odchylky od povolených limitů. Nepředstavují riziko, ale odhalují nedostatky bezpečnostních opatření. Jsou způsobeny selháním zařízení, chybou obsluhy nebo nevhodným provozním postupem.	
0	Událost pod stupnicí	Situace, při kterých nejsou překročeny provozní limity a které jsou bezpečně zvládnuty vhodnými postupy.	

### 3.6. Jaderné havárie

Od spuštění prvních pokusných reaktorů až po současnost bylo po celém světě v provozu postupně skoro 500 reaktorů. V důsledku nehod v jaderných zařízeních zahynula necelá stovka zaměstnanců. Díky velmi přísným předpisům a normám je z hlediska rizika jaderná energetika jedním z nejbezpečnějších způsobů získávání energie.

V průběhu vývoje jaderných reaktorů byly uvedeny do provozu různé typy. Princip moderních reaktorů minimalizuje riziko vzniku závažných havárií. Většina havárií minulosti vznikla díky kombinaci špatné konstrukce reaktoru a nedbalosti nebo dokonce přímému porušení bezpečnostních předpisů.

Nejzávažnější havárií byla bezesporu havárie v jaderné elektrárně v Černobylu. Dalšími příklady jsou:

#### **Windscale 1957**

- Stupeň 5
- Selhání termometru, díky nepozornosti operátorů došlo k přehřátí a požáru palivových článků, požár se podařilo uhasit za 4 dny
- Přijatá opatření – Vůči obyvatelstvu se uplatňoval zákaz konzumace mléka z oblasti o rozloze cca 520 km<sup>2</sup> po dobu 44 dnů. Havárie nevzbudila téměř žádnou pozornost, i když dopady byly mnohem vážnější než při havárii Three Mile Island.

#### **Three Mile Island 1979**

- Stupeň 5
- Došlo k havarijnímu odstavení reaktoru a k pomalému úniku chladicí vody z primárního okruhu. Únik paliva nebyl včas odhalen a došlo k velké ztrátě chladiva a k následnému roztavení paliva.
- Přijatá opatření – Havárie měla vážný dopad uvnitř elektrárny, ale na okolí neměla téměř žádný vliv. Přesto byly prováděny rozsáhlé opatření na ochranu obyvatelstva v širokém okolí elektrárny. Tato havárie byla typickým příkladem nesprávného vyhodnocení rizika možnosti ozáření obyvatelstva v okolí elektrárny.



## 4. Případová studie k radiační havárii v Černobylu

Černobylská havárie je bezesporu největší radiační havárií historie. Souhrou mnoha faktorů došlo k havárii, jejíž důsledky vnímáme ještě nyní.

### 4.1. Několik faktů na úvod

Havárie jaderné elektrárny Černobyl nenastala v běžném provozu, tedy v režimu standardní výroby elektřiny[7]. Jaderná havárie nastala v mimořádném režimu, kdy byl jaderný reaktor odstaven z provozu a přitom byl prováděn plánovaný experiment, jehož cílem bylo ověřit, zda elektrický generátor (poháněný turbínou) je po rychlém uzavření přívodu páry do turbíny schopen při svém setrvačném doběhu ještě nějakou dobu napájet čerpadla havarijního chlazení (právě pro případ havárie jaderné elektrárny).

Navíc, při vyšetřování důvodů k provedení onoho osudného experimentu v Černobylu vyšlo najevo, že systém využití setrvačné energie měl být funkční ještě před spuštěním bloku (tedy před udělením souhlasu k zahájení provozu celého bloku). Neměl tedy být vůbec důvod provádět experiment, jehož výsledkem byla osudná havárie jaderné elektrárny, v době standardního provozu reaktoru.

Jaderná havárie byla způsobena souhrnem více faktorů, které k ní svým dílem, i když ne bezprostředně, přispěly. Jde především o samotný projekt reaktoru RBMK, kterými byl Černobyl osazen a se kterým je dnes jaderná nehoda spojována. Tento jaderný reaktor nedosahoval úrovně současných standardů bezpečného provozu. Jeho konstrukce byla (oproti moderním reaktorům) s kladným teplotním koeficientem reaktivity. To znamená, že se vzrůstem teploty roste i reaktivita reaktoru.

Jaderná havárie byla také do značné míry způsobena selháním lidského faktoru na všech úrovních. Jaderná nehoda v Černobylu byla do značné míry způsobena profesními chybami, kterých se dopustil provozní personál. Ten nerespektoval bezpečnostní omezení a předpisy. Samotný experiment, který nakonec přímo způsobil jadernou havárii, byl pojmán jako čistě elektrotechnická záležitost, která neměla mít žádný význam z hlediska jaderné bezpečnosti – řídili jej proto elektrotechnici, nikoliv specialisté na provozní režimy a jadernou bezpečnost.

Jaderná havárie v sobě nesla také moment „náhody“. Odstavení jaderného reaktoru z provozu a tedy i začátek experimentu musely být neočekávaně odloženy o devět hodin – bylo několik dnů před svátkem 1. máje a továrny potřebovaly elektřinu ke splnění plánu výroby. Odklad experimentu způsobil, že jej z hlediska personálu obsluhy elektrárny prováděla jiná směna než ta, která se na jeho realizaci připravovala. V noční směně bylo méně zkušených operátorů, kteří se navíc na experiment nepřipravovali.

### 4.2. Průběh jaderné havárie v Černobylu

25. dubna 1986 bylo zahájeno odstavení 4. bloku z provozního výkonu s ohledem na plánovanou opravu[8]. Před odstavením reaktoru měl být proveden celkem běžný

experiment, který měl vyzkoušet funkci nového regulátoru magnetického pole rotoru a ověřit, jestli bude turbogenerátor po rychlém uzavření přívodu páry do generátoru schopný ještě po asi 40 sekund napájet čerpadla havarijního chlazení.

Snižování výkonu reaktoru začalo 23. dubna ve 13 hodin. Poté, co byl snížen výkon generátoru na polovinu, byl odstaven první turbogenerátor a vypnut systém havarijního chlazení. Poté došlo k prvnímu pochybení. Na žádost energetického dispečinku bylo další snižování na 9 hodin pozastaveno. Systém havarijního chlazení nebyl na tuto dobu zapnut (což havárii neovlivnilo) ale jako mnohem vážnější problém se projevil vystrídání denní směny, která odstavení trénovala noční směnou, která na experiment připravená nebyla.

Další snižování výkonu začalo ve 23:10 a chybou operátora došlo k prudkému snížení výkonu až na 30 MW, tedy skoro k úplnému zastavení reaktoru. Toto je ale považováno za nestabilní stav a provoz reaktoru měl být okamžitě ukončen. To se nestalo a experiment pokračoval dál. K pokračování bylo nutné zvýšit výkon reaktoru. To operátoři provedli vytažením regulačních tyčí z aktivní zóny a výkon se ustálil na 200 MW. Ale reaktor byl stále v nestabilním stavu a jeho provozování v tomto stavu bylo zakázané. Operátoři pokračovali v experimentu ale dostali se do problémů s tlakem páry v reaktoru. V tomto okamžiku by normálně zafungovali systémy automatické ochrany, ale operátor je zablokoval aby bylo možné v experimentu pokračovat.

26. dubna v 1:22 zjistili operátoři že počet regulačních tyčí v aktivní zóně odpovídá polovině povolené hodnoty. V tomto okamžiku mělo být přistoupeno k okamžitému zastavení reaktoru, což bylo stále přes předchozí hrubé chyby možné. Byly zapojeny záložní cirkulační čerpadla což vedlo k vytažení dalších tyčí z reaktoru. Tím se stal reaktor ještě nestabilnější. V 1:23 se stala poslední chyba. Operátoři zablokovali havarijní signál, který by po uzavření přívodu páry na turbínu automaticky odstavil reaktor. V rozporu s plánem experimentu si totiž chtěli ponechat možnost opakování experimentu, kdyby původní experiment nevyšel.

Experiment započal uzavřením ventilu turbogenerátoru. To mělo díky nestabilnímu stavu reaktoru za následek zvýšení nestability. Automatika se ještě pokusila zabránit katastrofě zasunutím všech tyčí do reaktoru, ale zasouvání bylo příliš pomalé. Zasunutí tyčí sice zastavilo štěpnou reakci, ale škoda se už stala. Necelou minutu po zahájení experimentu došlo postupně ke dvěma výbuchům. Reaktor byl tak přetlakován, že první výbuch zvedl a odsunul horní desku reaktoru o váze 1000 tun. Exploze rozmetaly část aktivní zóny včetně paliva. Dále způsobily destrukci horní části budovy reaktoru a poškození a obnažení aktivní zóny a vedly ke vzniku požáru.

### **4.3. Likvidace následků havárie**

Prvním krokem při likvidaci havárie bylo uhašení požáru v reaktorové hale a na střeše turbínové haly. Speciálnímu hasičskému útvaru se podařilo tento požár zlikvidovat zhruba po třech hodinách od výbuchu v reaktoru. Uvnitř reaktoru však stále hořel grafit. Hasiči, kteří jadernou havárii likvidovali, vůbec neznali příčinu ohně a zalévali nejdříve trosky reaktoru vodou, čímž situaci ještě zhoršovali a docházelo k dalším menším explozím a následné akceleraci radioaktivního zamoření.

Po uhašení požáru byl reaktor zasypan 5000 tunami směsi sloučenin bóru, dolomitu, písku hlíny a olova. Tato vrstva uhasila požár grafitu a částečně absorbovala unikající radioaktivní

látky. Aktivní zóna byla dále ochlazována tekutým dusíkem až na teplotu kolem 200-250°C. Poté bylo ochlazování prováděno přirozeným prouděním vzduchu.

Dva týdny po havárii bylo rozhodnuto zhotovit betonový „sarkofág“, který měl celý reaktor i se strojovnou zakonzervovat. Do sarkofágu byl zabudován chladicí systém, který by měl po několik set let odvádět přebytečné teplo.

#### **4.4. Šíření radioaktivních látek z havarovaného reaktoru**

Po explozi Černobylu se stalo největším nebezpečím pro okolí radioaktivní zamoření. Podle sovětských zpráv přestala radioaktivita z reaktoru unikat až 6. května 1986.

Vznikl mohutný radioaktivní oblak, který vystoupal až do výše 1500 metrů. Tento oblak se potom šířil severozápadním směrem. První měření zvýšené radioaktivity byly zaznamenány 27.4.1986 ve Švédsku a ve Finsku. To bylo v době kdy vedení tehdejšího SSSR ještě ani nehodu neoznámilo. Vítr se do 30.4. změnil a proudil ze severovýchodu. To mělo za následek, že se zamoření rozptýlilo nad celou Evropu. Radioaktivní spad byl v různých částech Evropy odlišný díky klimatickým podmínkám, hlavně díky proudění vzduchu a množství srážek.

#### **4.5. Dopady havárie v ČR a přijatá opatření**

První zjištění radioaktivního spadu bylo v noci z 29. na 30. dubna. Dne 30.4. zahájila činnost VHK-Vládní havarijní komise. Podle odborníků bylo největší nebezpečí z radioaktivního jodu a proto dne 3.5. komise vydala doporučení pro zemědělský průmysl aby byl dobytek krmený suchým krmivem. Tato doporučení nebyla zveřejněna ale šla vnitřní cestou prostřednictvím jednotlivých složek řízení zemědělských podniků a v některých případech se stalo, že bylo toto doporučení převráceno a některé podniky dostali pokyn že nemají používat staré krmivo. Tím došlo k překročení koncentračních limitů pro radioaktivní jód v mléce a to muselo být v některých mlékárnách vylito. Bylo zavedeno ještě několik menších opatření, ale žádné z nich se nedotklo běžného života občanů. Odhadovaná dávka z ozáření po Černobylské nehodě byla později stanovena na 0,26 mSv, což je přibližně 1/10 průměrné roční dávky z přirozeného prostředí.

Obecně lze přijatá opatření hodnotit jako adekvátní, celková přijatá dávka nemá podstatný vliv na zdraví obyvatelstva. To bylo ostatně konstatováno i mezinárodními odborníky. Jediné co lze vytknout je malá informovanost obyvatelstva, což vedlo v některých případech ke vzniku neopodstatněných obav.

#### **4.6. Zdravotní důsledky**

Uvádí se, že havárie jaderné elektrárny Černobyl nějakým způsobem zasáhla zhruba 600 tisíc osob. Oficiální dokumenty rozdělují oběti radioaktivního zamoření do více skupin. Jde především o skupinu „likvidátorů“, kam patří pracovníci záchranných a asanačních čet, zaměstnanci elektrárny, hasiči a policisté. Do konce roku 1987 činil počet lidí patřících do této skupiny 200 – 240 tisíc.

Jinou postiženou skupinou je 116 tisíc osob žijících v oblastech, které kontaminovalo radioaktivní zamoření v širším okolí Černobylu a kteří byli evakuováni relativně krátce po havárii (do poloviny srpna 1986) do nepostižených oblastí.

Dalších 220 tisíc osob, žijících na kontaminovaných územích Běloruska, Ukrajiny a Ruska, bylo evakuováno později.

V pozdějším období po havárii, tzn. v letech 1987 až 2004, zemřelo z různých příčin celkem 19 osob ze skupiny s diagnostikovaným Akutním radiačním syndromem. U většiny z nich však příčiny úmrtí nesouvisely s ozářením. Za zmínku stojí, že řada osob, která přežila akutní nemoc z ozáření, přivedla později na svět zdravé potomky.

#### **4.7. Závěr**

K nehodě reaktoru v Černobylu v roce 1986 došlo podle všech známých informací souhrou mnoha faktorů. Byla to jednak konstrukce reaktoru, dále potom samotný fakt provádění experimentu na reaktoru a několik hrubých chyb obsluhy reaktoru. Takováto situace by na moderních elektrárnách nemohla nikdy nastat. Již samotná konstrukce reaktoru podobnou havárii vylučuje.

Následky na obyvatelstvo byly značné. Podle některých údajů je až 600 000 obětí se zdravotními následky. Je jisté, že některým následkům by bylo možné předejít, pokud by příslušné orgány adekvátně reagovaly. Jednou z hlavních příčin chybných reakcí byl nedostatek informací.

## 5. Legislativa ČR

Radioaktivní záření může být velmi nebezpečné. A to jak při provozu, tak v případě nehody nebo havárie jaderného zařízení. Je proto nutné dodržovat pravidla, které možným nehodám předcházejí. Dalším rizikem je možnost zneužití jaderného materiálu k teroristickým útokům. Legislativa, vztahující se k nakládání s radioaktivním materiálem je proto velmi přísná.

Orgánem, který v České republice dohlíží na oblast jaderné bezpečnosti je Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Byl založen 1. ledna 1993 zákonem č. 21/1993 Sb., který je novelou zákona č. 2/1969 Sb. o zřízení ministerstev a jiných ústředních orgánů státní správy České republiky a obsahuje údaje o postavení SÚJB v systému státní správy ČR. Jeho úkolem 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 [9].

Hlavním zákonem, upravujícím tuto problematiku je zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění. Na základě tohoto zákona bylo vydáno nařízení vlády č. 11/1999 Sb., o zóně havarijního plánování. Toto nařízení má velký význam z hlediska ochrany obyvatelstva, protože stanovuje mechanismus určení zóny havarijního plánování a povinnosti provozovatele jaderného zařízení vůči obyvatelům v této zóně.

Státní úřad pro jadernou bezpečnost vydává své vlastní vyhlášky, upřesňující činnosti související s jadernou bezpečností. Mezi hlavní vyhlášky patří:

- Vyhláška č. 146/1997 Sb., stanovující činnosti, které mají bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost, a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, požadavky na kvalifikaci a odbornou přípravu, způsob ověřování zvláštní odborné způsobilosti a udělování oprávnění vybraným pracovníkům a způsob provedení schvalované dokumentace pro povolení k přípravě vybraných pracovníků v platném znění
- Vyhláška č. 106/1998 Sb., o zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany jaderných zařízení při jejich uvádění do provozu a při jejich provozu.
- Vyhláška č. 195/1999 Sb., o požadavcích na jaderná zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenosti
- Vyhláška č. 318/2002 Sb., o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu v platném znění
- Vyhláška č. 319/2002 Sb., o funkci a organizaci celostátní radiační monitorovací sítě v platném znění
- Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně (ruší vyhlášku č. 184/1997 Sb.) ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb., kterou se mění vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně

## 6. Hlavní zdroje rizika radiační havárie v České republice

Z předchozího textu jednoznačně vyplývá, že hlavním zdrojem rizika jsou jaderné reaktory, provozované v jaderných elektrárnách. V České republice se v současné době nacházejí dvě jaderné elektrárny, obě provozované společností ČEZ, a.s. Pro vědecké a školící účely byly postaveny ještě tři další jaderné reaktory, ale ve srovnání s reaktory v jaderných elektrárnách mají podstatně nižší výkon. Dva z nich jsou v Ústavu jaderných výzkumů v Řeži u Prahy a školní reaktor velmi malého výkonu se nachází na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské v Praze.

### 6.1 Jaderná elektrárna Dukovany

Jaderná elektrárna Dukovany je první provozovanou jadernou elektrárnou v České republice a patří mezi největší energetické zdroje ČEZ, a. s. Roční výroba elektrické energie se pohybuje okolo 13,5 TWh, to představuje asi 20% z celkové spotřeby elektřiny v České republice [10]. V Jaderné elektrárně Dukovany jsou instalovány čtyři tlakovodní reaktory (PWR). Projektové označení těchto reaktorů je VVER 440/213. VVER znamená Vodou chlazený, Vodou moderovaný Energetický Reaktor. Každý ze čtyř reaktorů má tepelný výkon 1375 MW a elektrický výkon 440 MW. Elektrárna je uspořádána do dvou hlavních výrobních bloků. V každém z nich jsou dva reaktory se všemi přímo souvisejícími zařízeními včetně strojovny s turbínami a generátory.

První reaktorový blok Jaderné elektrárny Dukovany byl uveden do provozu v roce 1985, druhý a třetí v r. 1986 a čtvrtý v roce 1987.

Provoz elektrárny zajišťuje šest rovnocenných směn. Řídící směnový personál - operátoři na blokové dozorně - má směn sedm. Sedmá je zřízena z důvodů vysokých požadavků, které jsou u řídicího personálu kladeny na periodický výcvik. Nejvyšším vedoucím směny pro celou jadernou elektrárnu je směnový inženýr. Každý ze čtyř reaktorových bloků je řízen ze samostatné blokové dozorny. Obsluhu této blokové dozorny tvoří vedoucí reaktorového bloku, operátor primární části a operátor sekundární části.

V areálu jaderné elektrárny Dukovany jsou kromě čtyř reaktorových bloků další dvě jaderná zařízení:

- Sklad použitého jaderného paliva, ve kterém je použité palivo bezpečně skladováno v transportně-skladovacích kontejnerech CASTOR 440/84.
- Úložiště nízko a středně radioaktivních odpadů, které je zaplněno ze 7% a je ve vlastnictví státu.

### 6.2. Jaderná elektrárna Temelín

Jaderná elektrárna Temelín je druhou jadernou elektrárnou vybudovanou na území České republiky. Leží přibližně 24 km od Českých Budějovic a 5 km od Týna nad Vltavou. Elektřinu vyrábí ve dvou výrobních blocích s tlakovodními reaktory VVER 1000 typu V 320. Odběr technologické vody je zajištěn z vodního díla Hněvkovice na Vltavě, jehož vybudování

bylo součástí výstavby elektrárny. Na jaře 2003 se temelínská elektrárna s instalovaným elektrickým výkonem 2000 MW stala největším energetickým zdrojem České republiky. [11]

Investiční záměr stavby byl vydán v únoru 1979, úvodní projekt byl zpracován Energoprojektem Praha v roce 1985 a vlastní stavba provozních objektů byla zahájena v roce 1987. Po listopadu 1989 bylo v nových politických a ekonomických podmínkách rozhodnuto o snížení počtu bloků na dva. Přes období velkých nejistot byla redukována a v technologii modernizovaná stavba dokončena a v červenci 2000 bylo zavedeno palivo do reaktoru. 21.prosince 2000 vyrobil první blok první elektřinu.

## 7. Ochrana obyvatelstva

### 7.1. Fáze havárie z hlediska havarijního plánování

Každá havárie, každá událost má svůj vývoj. Někdy může docházet k pomalému vývoji, někdy naopak události navazují rychle jedna na druhou. Opatření, přijímaná jako reakce na havárii jsou v mnohých případech účinná pouze tehdy, pokud se aplikují včas. Z tohoto důvodu se průběh havárie dělí na tři fáze:

#### **Předúniková fáze**

Je velká pravděpodobnost že k havárii dojde, většina informací o možném úniku radioaktivních látek a o rozsahu a následcích havárie je nejistá. O opatřeních se rozhoduje podle aktuální situace vycházející z měření parametrů v jaderném zařízení, z aktuální meteorologické situace a z odhadů možných následků havárie. Přijatá opatření jsou převážně preventivního charakteru.

#### **Úniková fáze**

Informace o probíhajících dějích v jaderném zařízení jsou jasnější. Hlavním rizikem je kontaminace uvnitř zařízení a zevní ozáření z radioaktivního oblaku. Přijímají se konkrétní opatření na ochranu obyvatelstva. V případě, že předúniková a úniková fáze trvají krátce je většina opatření přijat až v následující fázi.

#### **Poúniková fáze**

V této fázi je již dostatek informací k vyhodnocení havarijní situace. Je známý komplexní obraz o dávkových příkonech a rozsahu a intenzitě kontaminace. Je také jasné, jaká opatření je nutné přijmout aby se minimalizovali dopady havárie na obyvatelstvo. Začíná se také rozhodovat o následných dlouhodobých opatřeních.

### 7.2. Opatření k ochraně obyvatelstva

Opatření, přijímaná k ochraně obyvatelstva můžeme rozdělit podle jejich naléhavosti na neodkladná a následná ochranná opatření[12]. Neodkladná opatření musejí být přijata co nejdříve, protože čím později jsou přijata, tím menší, nebo dokonce žádný, účinek mají. Realizují se většinou již v předúnikové nebo únikové fázi. Následná opatření se přijímají většinou až v poúnikové fázi.

Neodkladná ochranná opatření, která musí být přijatá rychle zahrnují:

- Varování
- Ukrytí
- Jodovou profylaxi
- Evakuaci

Doplňující ochranná opatření zahrnují:

- Regulaci pohybu osob
- Regulaci spotřeby vody a potravin



- Individuální ochranná opatření
- Dekontaminaci osob a oděvů
- Přesídlení

### **Varování**

V případě radiační havárie je nutné co nejdříve varovat obyvatelstvo že se něco děje. Prvotní varování se provádí zvukovým signálem prostřednictvím sirén, další informace jsou poskytovány místním rozhlasem, automobily s megafonem a sdělovacími prostředky. Po zaznění varovného signálu je nutné se co nejdříve ukryt v budovách a zapnout rozhlasový nebo televizní přijímač a očekávat další informace. Prostřednictvím těchto přijímačů potom budou sdělovány informace o dalších opatřeních.

### **Ukrytí**

Toto opatření je velmi důležité zvláště v prvních fázích havárie. Ukrytí obyvatelstva v budovách podstatně snižuje přímé ozáření osob radioaktivním zářením, možnost vdechování radioaktivních látek i zamoření povrchu těla. Při ukrytí je nutné vypnout větrání a klimatizaci v budovách a utěsnit okna, dveře a další otvory, kterými by mohl do budovy vnikat kontaminovaný vzduch. Ukrytí se plánuje a provádí v celé havarijní zóně ihned po varování sirénami. Obyvatelé by měli zůstat ukryti, dokud nebudou sdělovacími prostředky vyzváni k opuštění úkrytů. Je nutné zvážit dobu ukrytí, protože pokud by ukrytí trvalo déle než 24 hodin, přináší mnoho problémů, například zásobování potravinami a vodou a stresové reakce. Při delším ukrytí je vhodné zvážit možnost evakuace.

### **Jódová profylaxe**

Jedním z prvků, který může uniknout z jaderného zařízení je radioaktivní izotop jódu  $^{131}\text{I}$ . Jód je pro organismus životně důležitý, usazuje se ve štítné žláze a ovlivňuje její činnost. Ve štítné žláze vzniká mnoho hormonů a dalších látek nezbytných pro správný chod organismu. Je proto nutné nasycit štítnou žlázu normálním jódem tak, aby při kontaktu s radioaktivním jódem nedošlo k jeho usazování. Jedním z preventivních opatření, prováděných v zóně havarijního plánování je i distribuce tabletek jodidu draselného mezi obyvatelstvo. V případě vyhlášení poplachu je nutné sníst tyto tabletky v množství podle návodu nebo podle instrukcí ve sdělovacích prostředcích. V případě trvajících ohrožení se může podání tabletek opakovat, zpravidla po 48 hodinách. Konzumace větších než doporučených dávek nemá smysl.

### **Evakuace**

Jedná se o krajní ochranné opatření. Většinou se provádí pouze z nejhroženější části zóny havarijního plánování a to v případě, že nestačí ukrytí obyvatelstva a jódová profylaxe. Toto opatření je náročnější na přípravu, koordinaci a náklady. Je nutné vždy zvážit, jestli je riziko natolik velké aby vyvážilo negativní vlivy evakuace.

### **Regulace pohybu osob**

Úkolem regulace pohybu osob je zabránit nepovolaným osobám vstup do ohroženého prostoru, zajistit průjezdnost komunikací pro zasahující skupiny a pro evakuační vozidla, zabezpečit opuštěné domy před rabováním. Rovněž se zajišťuje dozimetrická kontrola osob a vozidel opouštějících ohroženou oblast, případně se provádí jejich dekontaminace.

### **Regulace spotřeby vody a potravin**

Radionuklidy uvolněné při havárii mohou proniknout do vody i do potravin. Jako primární opatření je nutné zamezit konzumaci kontaminované vody a potravin. To platí nejen pro obyvatele, ale také pro hospodářská zvířata, aby se předešlo akumulaci radionuklidů v tělech zvířat. Vzhledem k tomu, že kontaminace prostředí může být dlouhodobá je nutné toto opatření uplatňovat po celou dobu trvání kontaminace, aby nedošlo k zavlečení radionuklidů do potravního řetězce.

## **8. Ochrana obyvatelstva v České republice**

Dozorem nad pracovišti, na kterých se používá jaderný materiál byl v České republice svěřen Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost. Jak bylo uvedeno výše, hlavním zákonem upravujícím tuto problematiku je Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření a na něj navazující Nařízení vlády č. 11/1999 Sb., o zóně havarijního plánování. Toto nařízení vlády je z hlediska ochrany obyvatelstva velmi důležité. Stanovuje totiž povinnosti provozovatele jaderných zařízení na poli ochrany obyvatelstva.

### **8.1. Povinnosti provozovatele jaderného zařízení**

První povinností je stanovení zóny havarijního plánování. Tento návrh musí obsahovat:

- Výčet možných radiačních havárií
- Popis předpokládaného vývoje jednotlivých havárií
- Výčet možných následků jednotlivých havárií
- Geografické vymezení návrhu velikosti zóny havarijního plánování

Mezi další povinnosti patří:

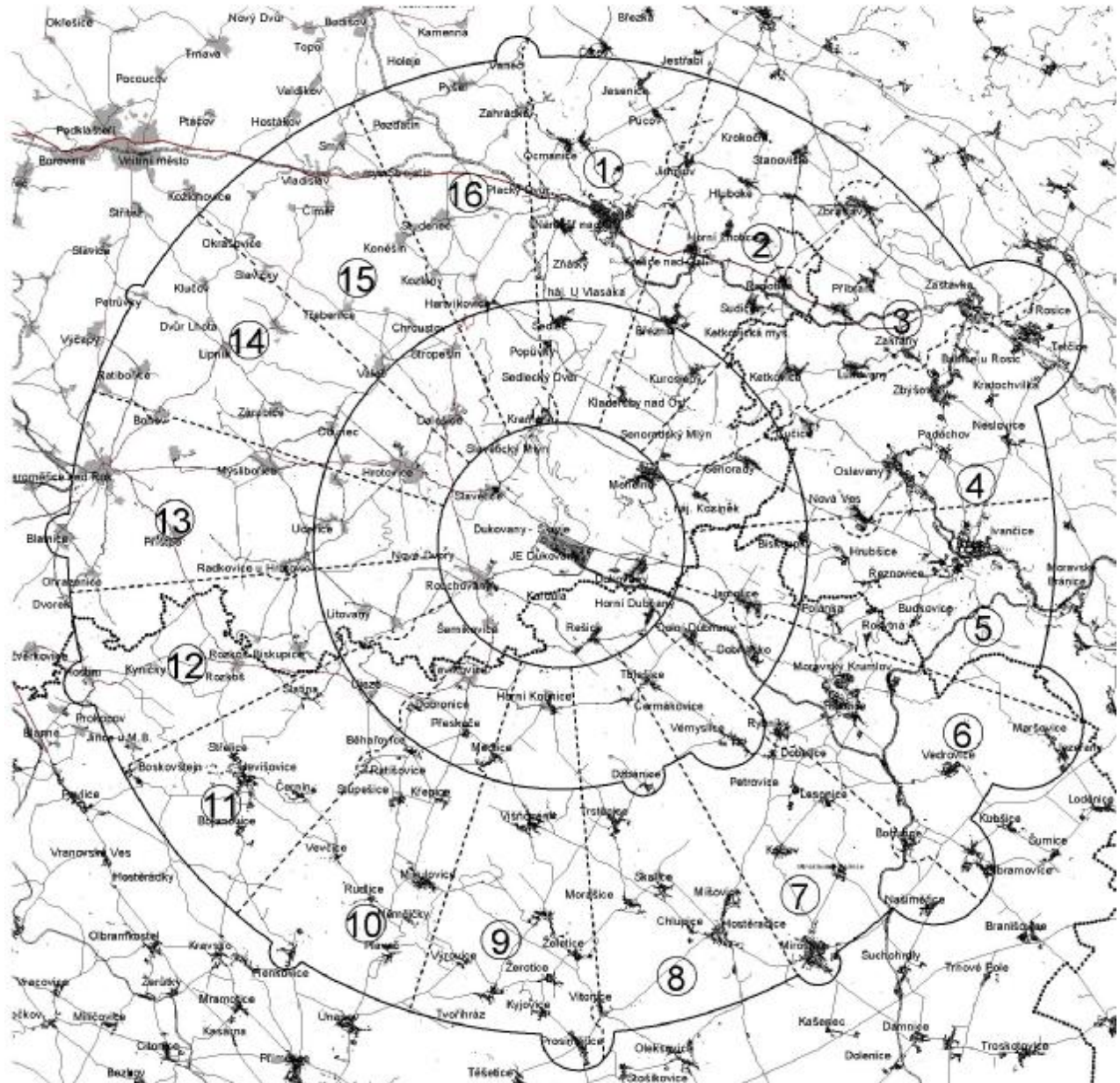
- Zajištění radiační monitorovací sítě v zóně havarijního plánování, a to jak pro dobu obvyklého provozu zařízení, tak pro dobu havárie nebo v rámci cvičení pro ověření havarijní připravenosti zóny havarijního plánování
- Vybavení obyvatelstva 2-mi dávkami jodidu draselného na obyvatele uvnitř zóny havarijního plánování, včetně jejich pravidelné obměny po uplynutí doby spotřeby
- Zajištění tiskové a informační kampaně k zajištění připravenosti obyvatelstva v zóně havarijního plánování pro případy radiačních havárií
- Zajištění systému vyrozumění dotčených orgánů v případě vzniku nebo podezření na vznik radiační havárie
- Zajištění systému varování obyvatelstva. Varováním se rozumí vysílání akustického signálu v celé zóně havarijního plánování a dále informování prostřednictvím televizního a rozhlasového vysílání pomocí předem připravených audiovizuálních nahrávek.

### **8.2. Preventivní opatření**

Preventivní opatření vycházejí z povinností provozovatele jaderné elektrárny daných zákonem uvedených v předchozím textu. Mimo technických opatření je jednou z hlavních činností provádění informační kampaně pro obyvatelstvo tak, aby každý občan v zóně havarijního plánování věděl jak se zachovat v případě radiační havárie. K tomuto účelu vydává společnost ČEZ Příručku pro ochranu obyvatel v případě radiační havárie. Jsou v ní uvedeny informace, podle kterých by měli obyvatelé postupovat v případě vyhlášení poplachu.

### 8.3. Zóna havarijního plánování

Zóna havarijního plánování v níž se ochranná opatření plánují a připravují, je pro jadernou elektrárnu Dukovany rozdělena do tří pásem představujících kružnice (pásma) o poloměrech 5 km, 10 km (vnitřní zóna) a 20 km (vnější zóna) od JE a dále na 16 kruhových výsečí po 22,5°.



Obrázek 1. Zóny havarijního plánování jaderné elektrárny Dukovany

V případě jaderné elektrárny Temelín představuje vnější zónu havarijního plánování kružnice o poloměru 13 km vymežující území okolo jaderné elektrárny. Vnitřní zóna je daná kružnicí o poloměru 5 km. Stejně jako v případě Dukovan jsou zóny rozdělené na 16 výsečí.



Obrázek 2. Zóny havarijního plánování jaderné elektrárny Temelín s vyznačenými evakuačními trasami

Rozměry zóny havarijního plánování u JE Temelín jsou menší než u JE Dukovany, protože dokonalejší ochranná bariéra kontejmentu Temelína vytváří předpoklady pro menší rozsah úniku radioaktivních látek.

Opatření vyplývající z vnějšího havarijního plánu jsou v případě vyhlášení radiačního poplachu ve vnitřní zóně uplatňována bez ohledu na stav meteorologických podmínek a výsledky monitorování radiační situace. Ve vnější zóně jsou opatření uplatňována pouze v ohrožených výsečích v závislosti na směru větru a monitorování situace.

#### **8.4. Reakce na radiační havárii**

Prvním krokem při vzniku radiační havárie je vyrozumění orgánů státní správy o vzniku radiační havárie. Děje se tak i při vzniku mimořádné neradiační havárie. Odpovědnost leží na

provozovateli jaderné elektrárny. Vyrozumění má zásadní význam pro svolání osob podílejících se na řízení a provádění opatření k ochraně obyvatelstva.

Dalším navazujícím krokem je vyhlášení varování pro obyvatelstvo v celé zóně havarijního plánování. Varování se provádí pomocí elektrických nebo elektronických sirén pomocí varovného signálu „všeobecná výstraha“ (kolísavý tón sirény po dobu 140 sekund). Obyvatelé by měli na tento signál okamžitě reagovat ukrytím v budovách a zapnutím televizních a rozhlasových přijímačů. Prostřednictvím vysílání potom občané obdrží další informace o vzniku havarijního stavu a pokyny pro provedení konkrétních ochranných opatření jako je ukrytí, jodová profylaxe, evakuace a další činnosti.

První reakcí na varování je tedy ukrytí obyvatelstva. To se plánuje a provádí v celé zóně havarijního plánování neprodleně po vyhlášení varování a to bez vyčkání na výsledky monitorování skutečné radiační situace. Obyvatelé musí zůstat ukrytí po celou dobu, která jim byla oznámena prostřednictvím sdělovacích prostředků. Z hlediska ochrany obyvatelstva má toto opatření velký vliv, hlavně v prvních fázích vývoje radiační havárie. Během prvních fází havárie a po dobu průchodu radioaktivního oblaku je nutné dát přednost ukrytí obyvatelstva před evakuací. Délka ukrytí obyvatelstva se řídí podle výsledků monitorování v jednotlivých oblastech zóny havarijního plánování.

Dalším neodkladným opatřením prováděným okamžitě po ukrytí je jodová profylaxe. Ta se provádí podle pokynů v příručce pro ochranu obyvatelstva v případě radiační havárie nebo podle instrukcí ve sdělovacích prostředcích. Doporučené dávky jsou uvedeny v tabulce:

Tabulka 7. Doporučené dávkování jodidu draselného [13]

Novorozenci	Kojenci a děti do 3 let	Děti od 3 do 12 let	Osoby starší 12 let
¼ tablety	½ tablety	1 tableta	2 tablety
16 mg KI	32 mg KI	65 mg KI	130 mg KI

Při radiační havárii se požije první dávka okamžitě po varování obyvatelstva bez čekání na výsledky radiačního monitorování.

Dalším předem připravovaným opatřením je evakuace obyvatelstva. Ta se provádí pouze z míst, kde by ukrytí a jodová profylaxe nebyly dostatečnou ochranou před následky havárie. Většinou se tedy evakuace provádí z vnitřní zóny havarijního plánování a z 5-ti výsečí ve směru větru z vnější zóny. Evakuační trasy jsou předem připraveny. Návrat obyvatelstva se řídí podle monitorování situace v poúnikové fázi. V některých případech je možné, že návrat nebude možný a proto bude nutné přistoupit k přesídlení.

Přesídlení obyvatelstva je dlouhodobé opatření, předem není naplánováno a provádí se až po vyhodnocení stavu oblasti po havárii. Jeho smyslem je zabránit pobytu obyvatelstva v oblastech dlouhodobě kontaminovaných radioaktivními látkami.

Mezi předem plánovaná opatření patří také regulace pohybu osob. Plánuje se v celé zóně havarijního plánování. Úkolem regulace pohybu osob na ohroženém území je zabránit vstupu osob do ohroženého prostoru, zajistit průjezdnost komunikací pro zasahující jednotky a

umožnit bezproblémovou evakuaci obyvatelstva. Dalším úkolem je zajistit bezpečnost osob a majetku. Regulace je organizována jednotkami Policie ČR, které mohou být doplněny jednotkami Armády ČR. Regulační místa jsou předem stanovená. Na výstupu z ohrožené oblasti se vytvářejí místa pro dozimetrickou kontrolu osob a vozidel, případně materiálu vyváženého z kontaminované oblasti. V blízkosti těchto regulačních míst se zřizují také místa pro provádění dekontaminace.

Dalším plánovaným opatřením je regulace používání potravin, vody a krmiv. Toto opatření má dva rozměry, krátkodobý a dlouhodobý. Krátkodobým úkolem tohoto opatření je zabránit vnitřní kontaminaci obyvatelstva radioaktivními látkami, které mohou být obsaženy ve vodě a potravinách, kontaminovaných při úniku radioaktivních látek. Dlouhodobým úkolem je potom zabránění kontaminace a bioakumulace radioaktivních látek především u hospodářských zvířat a v prostředí v zasažené oblasti.

## 9. Závěr

Jak ukázaly zkušenosti z minulých radiačních havárií jsou pečlivě naplánovaná a provedená opatření pro ochranu obyvatelstva v případě radiační havárie klíčovým prvkem, který může minimalizovat důsledky takové havárie na obyvatelstvo. Minulé zkušenosti ukázaly, že jedním z hlavních problémů je informovanost obyvatelstva při přípravě na havárii a v průběhu havárie a schopnost rozhodovat o opatřeních tak, aby bylo vykonáno vše co je nutné pro ochranu obyvatelstva a zároveň aby se nezvyšovala stresová zátěž obyvatelstva a nedošlo k vyvolání paniky.

Ve své práci jsem se soustředil na identifikaci rizik, které hrozí při radiační havárii (druhy záření a jeho vliv na organismus), na legislativní rámec upravující problematiku ochrany obyvatelstva a na opatření, která jsou plánována a prováděna v případě radiační havárie.

Součástí mé práce je také krátká studie havárie jaderné elektrárny Černobyl a vlastní návrh kapesní příručky pro obyvatelstvo v zóně havarijního plánování.



## Seznam použitých zdrojů

- [1] KROUPA, Miroslav, ŘÍHA, Milan. *Průmyslové havárie*. 1. vyd. Praha : ARMEX PUBLISHING s.r.o., 2007. 170 s. ISBN 978-80-86795-49-2.
- [2] HÁLA, Jiří. *Radioaktivita, ionizující záření, radioaktivita*. 1. vyd. Brno: Konvoj, 1998. 311 s. ISBN 80-85615-56-8
- [3] BYRNES, Mark E., KING, David A., TIerno, Philip M. *Nuclear, Chemical and Biological Terrorism : Emergency Response and Public Protection*. 1st edition. CRC Press LLC, 2003. 185 s. ISBN 1-56670-651-3.
- [4] *Nuclear power plants in Europe*  
URL: <<http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/n/nuclear-power-plant-europe.htm>>  
[cit. 09-05-16]
- [5] ZEMAN, Miloš, MIKA, Otakar J. *Ochrana obyvatelstva*. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2007. 118 s. ISBN 978-80-214-3449-3.
- [6] *International Atomic Energy Agency (IAEA)*  
URL: <<http://www.iaea.org/index.html>> [cit. 09-05-16]
- [7] *Havárie jaderné elektrárny Černobyl*  
URL: <<http://www.cernobyl.cz/>> [cit. 09-05-16]
- [8] SÚJB. *Patnáct let od havárie Černobylu : Důsledky a poučení*. 1. vyd. Praha : Ing. Břetislav Janík, 2001. 34 s.
- [9] *SÚJB - Úvod*  
URL: <<http://www.sujb.cz/>> [cit. 09-05-16]
- [10] *Technologie a zabezpečení | Elektrárny a životní prostředí | Skupina ČEZ*  
URL: <<http://www.cez.cz/cs/energie-a-zivotni-prostredi/jaderna-energetika/jadernoelektrarny-cez/edu/technologie-a-zabezpeceni.html>> [cit. 09-05-16]
- [11] *Historie a současnost | Elektrárny a životní prostředí | Skupina ČEZ*  
URL: <<http://www.cez.cz/cs/energie-a-zivotni-prostredi/jaderna-energetika/jadernoelektrarny-cez/ete/historie-a-soucasnost.html>> [cit. 09-05-16]
- [12] Kolektiv autorů, Editor: KELNER Vladislav. *Principy a praxe radiační ochrany*. 1. vyd. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. 619 s. ISBN 80-238-3703-6
- [13] MAŠEK, Ivan, MIKA, Otakar J., ZEMAN, Miloš. *Prevence závažných průmyslových havárií*. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2006. 98 s. ISBN 80-214-3336-1.

## Seznam zkratk a symbolů

A – Intenzita záření zdroje (Aktivita)

D – Dávka

E – Efektivní dávka

H<sub>T</sub> – Ekvivalentní dávka

IAEA – International Atomic Energy Agency

JE – jaderná elektrárna

KI – Jodid draselný

MAAE – Mezinárodní agentura pro atomovou energii

SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

VVER – Vodou chlazený, Vodou moderovaný energetický reaktor

## **Seznam příloh**

1. Kapesní příručka pro obyvatelstvo v zóně havarijního plánování.