
**VYSOKÁ ŠKOLA EVROPSKÝCH A REGIONÁLNÍCH
STUDIÍ, O. P. S., ČESKÉ BUDĚJOVICE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**HAVÁRIE JADERNÉ ELEKTRÁRNY ČERNOBYL
Z BEZPEČNOSTNÍHO HLEDISKA**

Autor práce: Marie Pražáková

Studijní obor: Bezpečnostně právní činnost

Forma studia: Kombinované

Vedoucí práce: mjr. Mgr. Štěpán Kavan

Katedra: Katedra právních oborů a bezpečnostních studií

2010

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s využitím uvedených pramenů a literatury.

Souhlasím, aby práce byla uložena v knihovně Vysoké školy evropských a regionálních studií v Českých Budějovicích a zpřístupněna ke studijním účelům.

.....

Na tomto místě bych chtěla poděkovat v první řadě mému manželovi Ing. Vítězslavu Pražákovi, který mě po celou dobu mého studia, i během zpracování této práce, podporoval a pomáhal. Chtěla bych poděkovat i mjr. Mgr. Štěpánu Kavanovi za podnětné připomínky.

Autorka

OBSAH

1	ÚVOD	6
1.1	POČÁTKY JADERNÉ ENERGETIKY	6
1.2	ROZVOJ A SOUČASNOST JADERNÉ ENERGETIKY	7
2	CÍLE A METODIKA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	8
3	JADERNÁ BEZPEČNOST	9
3.1	JADERNÁ BEZPEČNOST.....	9
3.2	ORGÁNY JADERNÉ BEZPEČNOSTI	10
3.2.1	<i>Mezinárodní orgány</i>	10
3.2.2	<i>Orgány v ČR</i>	11
3.3	HAVÁRIE A JEJICH PŘÍNOS PRO BEZPEČNOST	12
3.4	KLASIFIKACE HAVÁRIÍ.....	12
4	HAVÁRIE V JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ ČERNOBYL	16
4.1	OBECNÁ FAKTA O HAVÁRII.....	16
4.1.1	<i>Poloha jaderné elektrárny Černobyl</i>	16
4.1.2	<i>Historie elektrárny</i>	17
4.1.3	<i>Objektivní popis a rozsah havárie</i>	18
4.1.4	<i>Následky</i>	20
4.2	PŘÍČINY HAVÁRIE, ANALÝZA Z VÍCE ZDROJŮ	24
4.2.1	<i>Anketa</i>	24
4.2.2	<i>Anatolij Stěpanovič Djatlov</i>	25
4.2.3	<i>Grigorij Ustinovič Medveděv</i>	26
4.2.4	<i>INSAG-7</i>	27
4.3	BEZPEČNOSTNÍ SELHÁNÍ.....	29
4.3.1	<i>Bezprostřední reakce na havárii</i>	29
4.3.2	<i>Situace 26. dubna 1986 přes den a později</i>	30
4.4	ZÁVĚR Z ANALÝZY PŘÍČIN A BEZPEČNOSTNÍCH SELHÁNÍ	32
5	HAVÁRIE V JE THREE MILE ISLAND	34
5.1	OBECNÁ FAKTA O HAVÁRII.....	34
5.1.1	<i>Poloha jaderné elektrárny Three Mile Island</i>	34

5.1.2	<i>Historie elektrárny</i>	34
5.1.3	<i>Objektivní popis a rozsah havárie</i>	35
5.1.4	<i>Následky</i>	36
5.2	PŘÍČINY HAVÁRIE V JE THREE MILE ISLAND	39
5.2.1	<i>Kemenyho komise</i>	40
5.2.2	<i>Three Mile Island Alert (TMIA)</i>	42
5.3	ZÁVĚRY Z ANALÝZY PŘÍČIN NEHODY	43
6	POROVNÁNÍ JE ČERNOBYL A JE TEMELÍN	44
6.1.1	<i>Bezpečnostní rozdíly JE Černobyl a JE Temelín</i>	44
6.1.2	<i>Havarijní připravenost</i>	45
	EVAKUAČNÍ OPATŘENÍ	46
7	JADERNÉ ENERGETIKY A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	49
8	OCHRANA OBYVATELSTVA V ČR.....	51
8.1	ÚVOD DO OCHRANY OBYVATELSTVA.....	51
8.2	OPATŘENÍ K OCHRANĚ OBYVATELSTVA.....	52
8.3	VNĚJŠÍ OPATŘENÍ.....	52
8.3.1	<i>Preventivní opatření</i>	52
8.3.2	<i>Reakční opatření</i>	54
8.4	VNITŘNÍ OPATŘENÍ	58
8.4.1	<i>Preventivní opatření</i>	58
8.4.2	<i>Reakční opatření</i>	59
9	ZÁVĚR.....	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
	ABSTRAKT	65
	ABSTRACT	66

1 ÚVOD

Tato kapitola představí oblast problematiky, do které spadá téma této bakalářské práce. Je jí jaderná energetika a nejvýznamnější havárie, které se během jejího, relativně krátkého, rozvoje udály. Shrne historická data a současnou celosvětovou situaci v oblasti této energetiky a uvede priority jejího dalšího vývoje.

1.1 Počátky jaderné energetiky

Jaderná energetika vychází z převratných objevů spadajících převážně do prvních desetiletí dvacátého století. Dosavadní představa o stabilitě a další nedělitelnosti atomů jako základních stavebních kamenů hmoty byla zcela otřesena. V roce 1942 Enrico Fermi jako první na světě realizoval řízenou štěpnou řetězovou reakci. Ta je základním procesem při přeměnách jaderné v tepelnou energii v současných reaktorech.

Jaderná energetika má svůj počátek v druhé polovině padesátých let, kdy se začala využívat pro výrobu elektrické energie v jaderných elektrárnách. K elektrické síti pro komerční využití byla jaderná elektrárna poprvé připojena v roce 1956, bylo to ve Velké Británii – Calder Hall. Jaderná energetika je tedy obor relativně velmi mladý, necelých 60 let. Ve své dnešní podobě představuje skutečně jen počátek a má další obrovské vývojové možnosti. Vyznačuje se velmi dynamickým rozvojem a v současné etapě je již významným světovým zdrojem a v některých zemích dokonce podstatným až dominujícím zdrojem elektrické energie.

Jaderná energetika se již od samého počátku vyznačovala mimo jiné i tím, že k její aplikaci byla často zaujímana spíše extrémní stanoviska. Počáteční období všeobecného nadšení nad prvými úspěchy v padesátých letech, vystřídala etapa určitého vystřízlivění, provázející průmyslové vyzrání energetického reaktoru, schopného konkurence s klasickými elektrárnami i v podmínkách levných cen fosilních paliv, typických pro šedesátá léta. Technické problémy spojené s rozvojem bezpečného, spolehlivého a ekonomicky přijatelného reaktoru se však ukázaly podstatně náročnější, než se původně očekávalo a řada realizovaných experimentálních prototypů nespĺnila původní očekávání.

1.2 *Rozvoj a současnost jaderné energetiky*

Prudká eskalace cen ropy v sedmdesátých letech znamenala další mohutný impuls pro průmyslové nasazení štěpných jaderných reaktorů. Tento vývoj však již probíhal ve zcela jiné atmosféře pod tlakem zvýšeného zájmu odborníků i části veřejnosti o otázky ochrany životního prostředí před účinky radioaktivního záření, který v některých zemích postupně přerostl v organizovanou protijadernou opozici. Od konce 80. let je nárůst mnohem pozvolnější. Proti využití jaderné energie se v mnoha zemích zvedla vlna odporu, založená jednak na obavách z nehody (černobylská havárie), jednak na strachu z radiace (např. Rakousko, Itálie)¹.

V současnosti dochází k vzestupu jaderné energetiky. Jaderné elektrárny se provozují v celkem 43 státech světa a jejich celkový výkon instalovaný ve 436 blocích je více než 372 600 MWe. Ve výstavbě je 53 bloků s výkonem přes 51 000 MWe. V několika státech je jaderná energetika dominantním, v jiných významným zdrojem elektrické energie. Jadernou energetiku masivně rozvíjejí asijské státy a podstatně zvýšit podíl jádra na výrobě elektřiny chce i Rusko a Ukrajina. Pro stavbu dalších jaderných elektráren se rozhodla také Velká Británie a příprava stavby jaderné elektrárny v nové lokalitě začala i ve Švýcarsku. O stavbě nových jaderných elektráren rozhodlo Turecko, Spojené arabské emiráty a Egypt².

V České republice se podle státní energetické koncepce schválené usnesením vlády Česka č. 211, ze dne 10. března 2004 mezi roky 2020 až 2025 počítá s provozem dalšího 7. jaderného bloku JE Temelín a mezi roky 2025 a 2030 jejího 8. jaderného bloku. V roce 2008 doporučila tzv. Pačesova komise další rozvoj jaderné energetiky v Česku³.

Další rozvoj jaderné energetiky bude nepochybně postrádat atmosféru všeobecného nadšení, provázející vždy nové velké objevy a vynálezy. Ale ani všeodmítající kritická, emocionální skepse není konstruktivním přístupem. Jadernou energetiku je třeba rozvíjet koncepčně, s vědomím plné odpovědnosti vůči současným i budoucím generacím, s jasně vymezenými prioritami: **bezpečnost**, spolehlivost a ekonomika, bez ohledu na lokální zájmy a krátkodobé cíle.

¹ Prof. Ing. KLIK F., Ing. DALIBA J., *Jaderná energetika*, Vydavatelství ČVUT, 1995, s. 162-165

² *World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements*. [online]. 2010 [cit. 2010-01-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.world-nuclear.org/info/reactors.html>>

³ *Současnost, situace jaderné energetiky v Česku*. [online]. 2010 [cit. 2010-01-31]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1_energetika>

2 CÍLE A METODIKA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tato bakalářská práce si klade za cíl analyzovat 2 vybrané incidenty v historii jaderné energetiky z pohledu selhání bezpečnosti a ochrany obyvatelstva. Shrne základní nedostatky a příčiny, které k němu vedly. Nakonec zhodnotí přínos těchto událostí pro rozvoj jaderné bezpečnosti a bezpečnosti společnosti a ukáže na příkladu ze současnosti, jak byly poznatky z těchto událostí aplikovány. Postup je následující:

- analýza příčin katastrofy v jaderné elektrárně Černobyl z bezpečnostního hlediska.
- porovnání s havárií jaderné elektrárny Three Mile Island v USA.
- řešení obdobné modelové situace v jaderné elektrárně Temelín.

Budou shromážděny informace z více nezávislých zdrojů, analyzovány, jednotlivě zhodnoceny a následně porovnány. Na základě tohoto postupu budou v souladu se stanovenými cíli formulovány příslušné závěry.

3 JADERNÁ BEZPEČNOST

Cílem této kapitoly je objasnění pojmu jaderná bezpečnost a seznámení s orgány, které jadernou bezpečnost zajišťují ve světovém i národním měřítku. Budou popsány obtíže spojené s provozem komerčních jaderných zařízení a jejich potenciál pro neustálé zlepšování parametrů zařízení, včetně bezpečnosti. Bude vyložena mezinárodní stupnice klasifikace jaderných havárií, včetně konkrétních příkladů.

3.1 Jaderná bezpečnost

Jadernou bezpečností můžeme laicky rozumět jako bezproblémovému provozu jaderných zařízení, nakládání s jadernými palivy, jeho zpracování, transportu atd. tak, aby tato činnost co nejméně ovlivňovala své okolí a jeho vliv byl srovnatelný nebo i nižší, než je radioaktivita přírodního pozadí. Tato bezpečnost se musí plánovat, zajišťovat i kontrolovat.

Legislativně se jadernou bezpečností, podle zákona č. 18/1997 Sb. ze dne 24. ledna 1997 (tzv. „Atomový zákon“), §2 odst. d), rozumí *„stav a schopnost jaderného zařízení a osob obsluhujících jaderné zařízení zabránit nekontrolovatelnému rozvoji štěpné řetězové reakce nebo nedovolenému úniku radioaktivních látek nebo ionizujícího záření do životního prostředí a omezovat následky nehod.“*⁴ Tento pojem je tedy zakotven i v zákoně. Stát vykonává také dohled a kontrolu nad jadernou bezpečností, a to i v širokých návaznostech, o které budou uvedeny dále. Tento dohled a kontrola se děje prostřednictvím státních institucí.

V této oblasti působí rovněž mezinárodní instituce, které s těmi státními úzce spolupracují. O orgánech, zajišťujících mimo jiné jadernou bezpečnost, pojednávají následující dvě kapitoly.

⁴ Zákon č. 18/1997 Sb. ze dne 24. ledna 1997 („Atomový zákon“), §3. [online]. 2003 [cit. 2010-01-14]. Dostupný z WWW: <http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?number1=18%2F1997&number2=&name=&text=>

3.2 *Orgány jaderné bezpečnosti*

Jaderná bezpečnost je závažné společenské téma, neboť provoz jaderných zařízení a veškerá manipulace s jaderným materiálem má velký potenciál k ohrožení bezpečnosti obyvatelstva. Je tedy velmi důležité mít nad touto oblastí nezávislou, transparentní, odbornou a kompetentní kontrolu. Tu zajišťují jak mezinárodní, tak národní orgány.

3.2.1 *Mezinárodní orgány*

Hlavním mezinárodním orgánem pro jadernou bezpečnost je MAAE - Mezinárodní agentura pro atomovou energii (anglická zkratka a název IAEA International Atomic Energy Agency). MAAE vznikla na základě obav z používání jaderné energie v r. 1957 a jejímu vzniku předcházelo schválení stanov MAAE v r. 1956, které značně čerpaly z vystoupení tehdejšího prezidenta USA, Dwighta D. Eisenhowera na Valném shromáždění OSN 8. prosince 1953. MAAE je nezávislou mezivládní organizací v systému OSN pro vědu a technologii v oblasti mírového využívání jaderné energie v souladu se Smlouvou o nešíření jaderných zbraní (Non-Proliferation of Nuclear Weapons Treaty; NPT). MAAE byla založena v roce 1957 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).⁵

V současné době je členem MAAE 151 států celého světa. Tyto státy jsou vázány řadou mezinárodních úmluv, které se podílejí na vytváření zvyšování jaderné bezpečnosti. To má velký význam, protože potenciální dosah bezpečnostních rizik přesahuje v případě jaderné energetiky hranice. Mezi úmluvy s největším vlivem na jadernou bezpečnost patří:

- **Úmluva o fyzické ochraně jaderného materiálu**
- **Úmluva o včasném oznamování jaderné nehody**

⁵ MAAE - Mezinárodní agentura pro atomovou energii, *Poslání MAAE*. [online]. 2010 [cit. 2010-01-31]. Dostupný z WWW: <http://www.mzv.cz/mission.vienna/cz/organizace_v_pusobnosti_mise/ostatni_mezinarodni_organizace/mezinarodni_agentura_pro_atomovou/index.html>

- **Úmluva o jaderné bezpečnosti** - V rámci pravidelného hodnocení se projednávají národní zprávy, garantem v ČR je Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB), viz. kapitola 3.2.2.
- **Společná úmluva o bezpečnosti při nakládání s vyhořelým palivem a o bezpečnosti při nakládání s radioaktivními odpady** – opět se hodnotí národní zprávy, podobně jako v případě Úmluvy o jaderné bezpečnosti.

3.2.2 *Orgány v ČR*

Jak již bylo řečeno, národním garantem jaderné bezpečnosti je stát, potažmo státní instituce. V případě ČR je to Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Tento úřad vykonává, dohled a kontrolu nad jadernými zařízeními a obecně zastřešuje v národním měřítku dění v oblasti jaderné energie. Z řady úkolů, mající přímý vztah k jaderné bezpečnosti a které tomuto úřadu určuje v kapitole 3.1 zmíněný zákon č.18/1997 Sb., je možno zmínit zejména (výňatek ze zákona):

- vykonává státní dozor nad jadernou bezpečností, jadernými položkami, fyzickou ochranou, radiační ochranou, havarijní připraveností a technickou bezpečností vybraných zařízení a kontroluje dodržování povinností podle tohoto zákona.
- schvaluje dokumentaci, programy, seznamy, limity, podmínky, způsob zajištění fyzické ochrany, havarijní řady, a po projednání vazeb na vnější havarijní plán s příslušným krajským úřadem a dotčenými obecními úřady obcí s rozšířenou působností, vnitřní havarijní plány a jejich změny.
- ustavuje státní a odborné zkušební komise pro ověřování zvláštní odborné způsobilosti vybraných pracovníků nebo jiných fyzických osob a vydává statut těchto komisí a stanovuje činnosti mající bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany.
- zajišťuje pomocí celostátní radiační monitorovací sítě a na základě hodnocení radiační situace podklady pro rozhodování o opatřeních vedoucích ke snížení nebo odvrácení ozáření v případě radiační havárie.
- stanovuje technické požadavky k zajištění technické bezpečnosti vybraných zařízení.

3.3 Havárie a jejich přínos pro bezpečnost

Jako každou oblast lidské činnosti, provázely a provázejí i jadernou energetiku rizika, která se pohybují od zanedbatelných až po ta nejzávažnější, ohrožující lidské životy. Velikost jejich vlivu na okolí a společnost je pak úměrná rozsahu a složitosti problematiky, kterou jaderná energetika pokrývá. V souladu s výše uvedeným, potkávaly průkopníky tohoto technického odvětví různé problémy, překážky a také mimořádné události, některé až do velikosti havárií, s přímým vlivem jak na jejich bezprostřední okolí, tak na globální prostředí. Neplánované, neprojektované události jsou při rozvoji nových technologií nevyhnutelné a mohou být zdrojem mnoha cenných informací. Ty pak následně umožňují dosáhnout dalších, vyšších stupňů vývoje ve všech parametrech.

Paradoxně jsou tak, či spíše mohou být, havárie a mimořádné události zdrojem budoucího pokroku. V případě jaderné energetiky je, kvůli jejímu nespornému dopadu na celou společnost, nejdůležitějším parametrem **bezpečnost** provozovaných zařízení a právě několika závažným haváriím vděčí za to, že se stala jedním z nejbezpečnějších technických odvětví vůbec. Takové zlepšení ale může být dosaženo pouze za předpokladu, že neúspěchy jsou správně a důsledně analyzovány a vyhodnoceny. K tomu slouží i informace a hodnocení problému z více zdrojů, tedy podobnou analýzou, jaká bude použita ke zkoumání jaderných incidentů v této bakalářské práci.

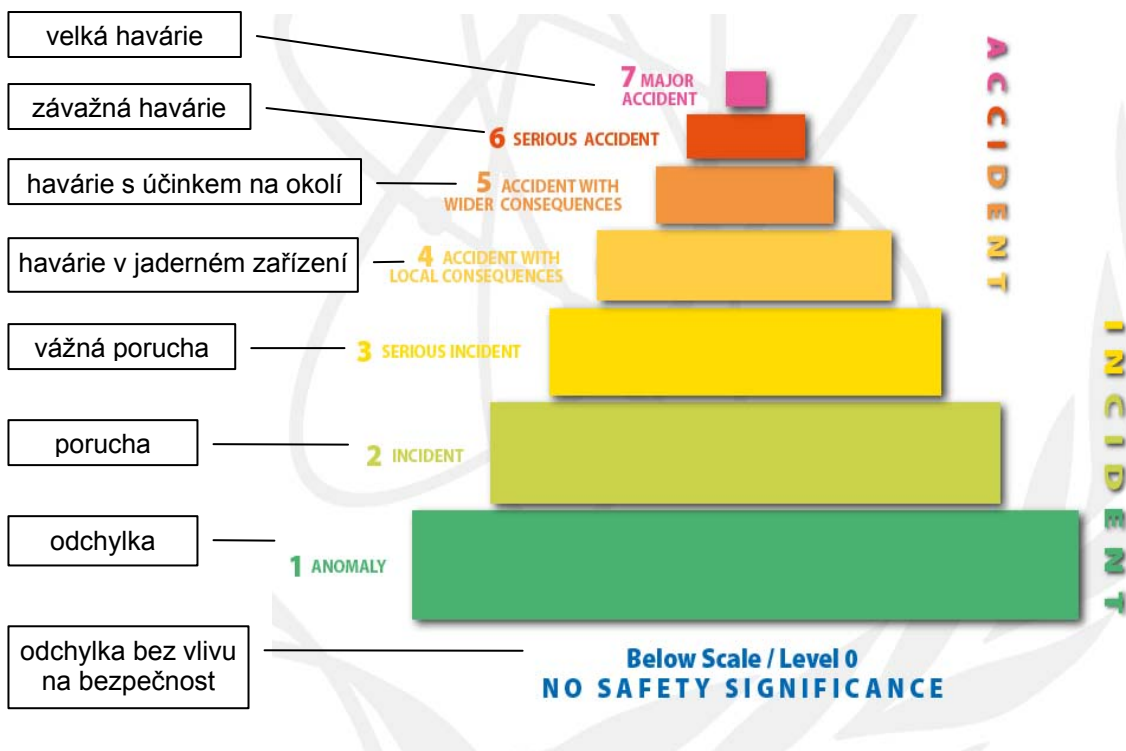
3.4 Klasifikace havárií

Ke klasifikaci havárií v jaderné oblasti se používá mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí, mezinárodní zkratka pro tuto stupnici je INES (International Nuclear Events Scale). Je určena k pohotovému komunikaci s veřejností v terminologii, která je v souladu s bezpečnostním významem událostí hlášených na jaderných zařízeních. Byla vytvořena mezinárodní skupinou expertů a uzpůsobena tak, aby umožňovala použití ve všech zařízeních spojených s civilním jaderným průmyslem. V současné době je úspěšně používána v 60-ti zemích. Tato stupnice může být použita pro jakoukoliv událost spojenou s radioaktivním materiálem a/nebo s radiací a pro jakoukoliv událost, která by se vyskytla v průběhu přepravy radioaktivního materiálu.⁶ Tuto stupnici, graficky znázorňuje obrázek 1 na další straně.

⁶ *Příklady událostí.* [online]. 2010 [cit. 2010-01-31].
Dostupný z WWW: < http://www.sujb.cz/?c_id=282 >

Komunikační síť informačního systému INES dostává a dále šíří informace o událostech národním koordinátorům v 60-ti státech světa. Informace je vytvořena pomocí speciálního formuláře, kterým je událost zhodnocena. Tato data pak představují oficiální informaci o události, včetně jejího hodnocení na stupnici INES. Zúčastněné státy dále vytvořily vlastní interní sítě, které zajišťují, že veškeré události jsou pohotově předávány a hodnoceny, kdykoliv jsou hlášeny.

Obr. 1: Mezinárodní stupnice hodnocení jaderných událostí (INES)⁷



Jednotlivé úrovně této stupnice představují určitý rozsah a závažnost události, či havárie, která se udála. Úrovně jsou uspořádány odspodu nahoru, od události bez vlivu na bezpečnost až po tu nejzávažnější havárii. V průběhu roku se neustále stávají události, které jsou hlášeny z různých zemí, vyhodnocovány a zaznamenávány.

Přehled hlášení těchto událostí za posledních 6 měsíců, je k nahlédnutí například na internetových stránkách informačního servisu Mezinárodní agentury pro atomovou energii www-news.iaea.org/news. Pro představu o závažnosti událostí, které jsou běžně hlášeny, je možno uvést počet událostí za období červen – prosinec 2009. Podle výše uvedeného odkazu bylo hlášeno 15 událostí se stupněm závažnosti od 0 do 2, tj. nepřekročily stupeň „porucha“.

⁷ Mezinárodní stupnice hodnocení jaderných událostí (INES). [online]. 2010 [cit. 2010-01-31]. Dostupný z WWW: <<http://www-news.iaea.org/news/whatsnew/ines.pdf>>

V minulosti se samozřejmě staly mnohem závažnější události, o čemž také pojednává tato bakalářská práce. Pro jejich stručný přehled lze jako příklad uvést havárie, které jsou zmíněny jako příklad jednotlivých stupňů havárií ve výkladové tabulce 1 stupnice INES. V levém sloupci tabulky je stupeň závažnosti, v prostředním sloupci popis typu události příslušný stupni závažnosti, v pravém pak příklad události na reálném jaderném zařízení.

Tab. 1: Popis stupnice INES s konkrétními příklady havárií⁸

INES	Popis typu události	Příklad
1	Anomálie od schváleného režimu, ale se zbývající významnou hloubkovou ochranou, důsledkem poruchy zařízení, lidské chyby nebo nedostatků postupů. Mohou nastat v jakékoliv oblasti (provoz jaderné elektrárny, transport radioaktivního materiálu, manipulace s jaderným palivem a skladování odpadů).	Porušení technických nebo přepravních předpisů, bez přímých důsledků. Odhalí nedostatky organizace, bezpečnosti, menší defekty v potrubí.
2	Nehoda s významným selháním bezpečnostních opatření, ale se zbývající dostatečnou hloubkovou ochranou k vypořádání se s dodatečnými poruchami. Zahrnuje události, kde by skutečné události byly klasifikovány stupněm 1, ale odhalují významné dodatečné organizační nedostatky.	Mihama 2 jaderná elektrárna Japonsko, 1991
	Událost ústící v dávku pracovníkovi, která překračuje povolený roční limit nebo událost, která vede k přítomnosti významných množství radioaktivity uvnitř zařízení v prostorách, kde to projekt nepředpokládal, a které vyžadují nápravná opatření.	Pickering A-B jaderná elektrárna Kanada, 2003
3	Únik radioaktivních materiálů do okolí s následkem dávky pro kritickou skupinu v řádu desetin milisievertů. Při takovém úniku nemusí být vnější ochranná opatření zapotřebí.	Vandellos jaderná elektrárna Španělsko, 1989
	Událost uvnitř zařízení s důsledkem takového ozáření zaměstnanců, že by způsobilo akutní zdravotní následky nebo událost s výsledkem těžkého rozšíření kontaminace, například několika tisíc TBq aktivity uvolněné v sekundárním kontejnmentu, kde lze materiál vrátit do vyhovujících skladovacích prostor.	Davis Besse-1 jaderná elektrárna USA, 2002
	Nehoda, při níž by další porucha bezpečnostních systémů mohla vést k havarijním podmínkám, nebo situace, ve které by nebyly bezpečnostní systémy schopné zabránit havárii, pokud by nastaly určité iniciační události.	Paks jaderná elektrárna Maďarsko, 2002

⁸ *Příklady událostí.* [online]. 2010 [cit. 2010-01-31].
Dostupný z WWW: < http://www.sujb.cz/?c_id=282 >

INES	Popis typu události	Příklad
4	Únik radioaktivních látek do okolí s následkem dávky pro kritickou skupinu v řádu několika milisievertů. S takovým rozsahem úniku by pravděpodobně obecně nebyly spojovány žádné vnější ochranné zásahy s výjimkou místní kontroly potravin.	Windscale Pile přepřeracovatelský závod Velká Británie, 1973
	Významné poškození zařízení. Taková havárie může zahrnovat poškození vedoucí k velkým potížím uvnitř zařízení, jako je částečné tavení aktivní zóny v energetickém jaderném reaktoru a srovnatelné události v zařízeních bez reaktoru.	Saint Laurent jaderná elektrárna Francie, 1980
	Takové ozáření jednoho nebo více zaměstnanců, že je vysoká pravděpodobnost rychlého úmrtí.	Tokaimura závod na výrobu paliva Japonsko, 1999
5	Únik radioaktivních materiálů do okolí (s aktivitou stovek až tisíců TBq ¹³¹ I). Takový únik by pravděpodobně vyústil do částečného uplatnění protipatření zahrnutých v místních havarijních plánech ke zmenšení pravděpodobnosti zdravotních následků.	Windscale Pile Velká Británie, 1957
	Těžké poškození jaderného zařízení. Může to zahrnovat těžké poškození velké části aktivní zóny energetického reaktoru, velká havárie s kritičností, nebo velký požár či exploze uvolňující velké množství radioaktivity uvnitř zařízení.	Three Mile Island jaderná elektrárna USA, 1979
6	Únik radioaktivních materiálů do okolí (s aktivitou tisíce až desítky tisíc TBq ¹³¹ I). Takový únik by pravděpodobně vyústil do plného uplatnění protipatření zahrnutých v místních havarijních plánech ke zmenšení pravděpodobnosti zdravotních následků.	Kyštym, přepřeracovatelský závod SSSR, 1957
7	Únik značné části radioaktivních materiálů z velkého zařízení (například z aktivní zóny energetického reaktoru) do okolí. Typicky obsahující směs radioaktivních štěpných produktů s dlouhými i krátkými poločasy rozpadu (s aktivitou přesahující desítky tisíc TBq ¹³¹ I). Takový únik by vyústil do možnosti akutních zdravotních účinků; zpožděné zdravotní účinky v rozsáhlé oblasti s možností zasažení více než jedné země; dlouhodobé důsledky pro životní prostředí.	Jaderná elektrárna Černobyl SSSR, 1986

Následující kapitoly této práce se budou zabývat příčinami, následky a závěry z nejnámějších havárií na jaderných energetických zařízeních, které zároveň patří mezi ty nejzávažnější, které se v historii jaderné energetiky staly. Půjde o havárii stupně závažnosti 7 na Černobylské jaderné elektrárně v bývalém Sovětském svazu a o havárii stupně závažnosti 5 na jaderné elektrárně Three Mile Island v USA.

4 HAVÁRIE V JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ ČERNOBYL

V první části této kapitoly budou uvedena obecná fakta o havárii v jaderné elektrárně Černobyl v bývalém Sovětském svazu, její popis, rozsah následků jak lokálních, tak celosvětových. V druhé části kapitoly budou shrnuty a analyzovány příčiny výše uvedené havárie z více nezávislých zdrojů a bude proveden rozbor.

4.1 Obecná fakta o havárii

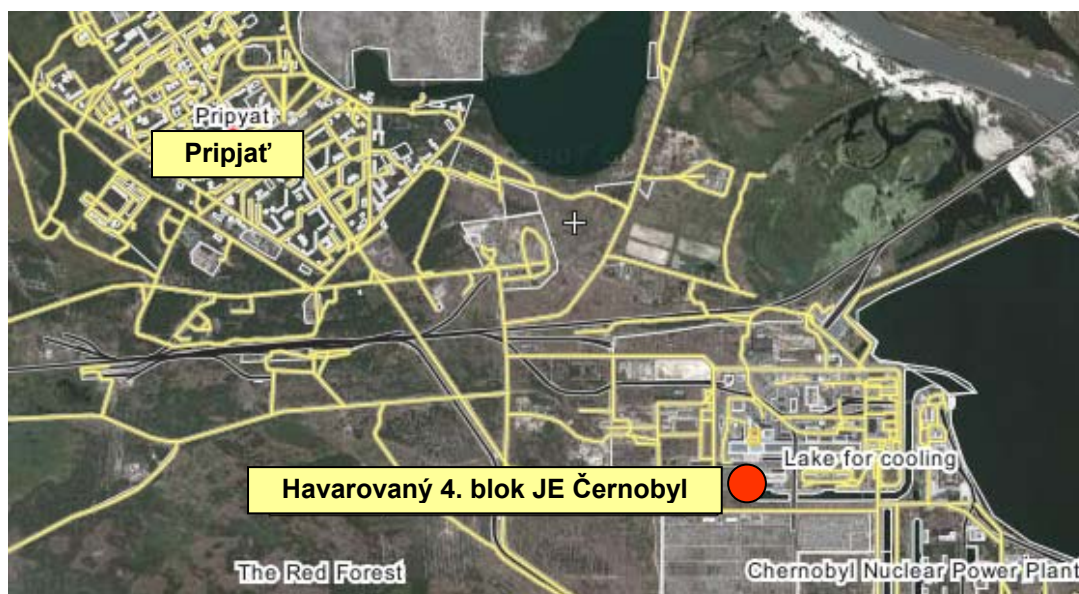
4.1.1 Poloha jaderné elektrárny Černobyl

Jaderná elektrárna v Černobylu (JE Černobyl) se nachází v blízkosti města Pripjať na Ukrajině, 15 km severozápadně od města Černobyl, 16 km od hranic Ukrajiny a Běloruska a asi 110 km severně od Kyjeva. Před výstavbou JE Černobyl nebyla oblast hustě osídlena, na počátku roku 1986 však žilo v 30-ti kilometrové zóně okolo elektrárny na 100 000 osob, z toho 50 000 v městě Pripjať, které leží západně od jejího 3 - kilometrového ochranného pásma.

Obr. 2: Poloha JE Černobyl na mapě střední Evropy.



Obr. 3: JE Černobyl a havarovaný 4. blok na mapě Pripjat'ské oblasti.



4.1.2 Historie elektrárny

Historie jaderné elektrárny Černobyl započala 1. etapou výstavby v letech 1970-1977, kdy byly postaveny její první dva bloky. Pokračovala 2. etapou, během které byly postaveny bloky 3 a 4. Tato etapa byla ukončena v roce 1983. Konečně v roce 1981 začala poslední fáze výstavby – stavba bloků 5 a 6, které jsou od prvních čtyřech vzdáleny asi 1,5 km.⁹

Elektrárna v Černobylu byla osazena jadernými reaktory typu RBMK (Reaktor Bolšoj Moščnosti Kanalnyj), které byly vyvíjeny a provozovány pouze na území bývalého Sovětského svazu. První blok o větším jmenovitém výkonu (1000 MWe) s reaktorem tohoto typu byl spuštěn v leningradské jaderné elektrárně v roce 1974.

Kvůli nedostatku elektřiny byly zbývající 3 reaktory po nehodě 4. bloku ponechány v provozu. V roce 1991 bylo poškozeno kabelové vedení reaktoru číslo 2 a rozhodnutím ukrajinské vlády byl odstaven. Reaktor číslo 1 byl pak odstaven v listopadu 1996 a v listopadu 2000 ukrajinský prezident Leonid Kučma slavnostně odstavil reaktor 3. bloku a odstavil tím definitivně celou elektrárnu.¹⁰

⁹ ČESKOSLOVENSKÁ KOMISE PRO ATOMOVOU ENERGIÍ, *Havárie v černobylské jaderné elektrárně*, Ústřední informační středisko pro jaderný program, 1986, s. 7-8

¹⁰ *Elektrárna po havárii*. [online]. 2010 [cit. 2010-02-06].

Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cernobylsk%C3%A1_hav%C3%A1rie#Elektr.C3.A1rna_po_hav.C3.A1rie>

4.1.3 *Objektivní popis a rozsah havárie*

Obecně vzato se havárie v JE Černobyl stala během nezdařeného experimentu. Během jeho průběhu došlo k takové situaci v systému reaktoru, která vyústila v největší radiační havárii v historii jaderné energetiky.

Program experimentu by následující:

- Snížení výkonu reaktoru na úroveň 700 – 1000MWt
- Odpojení systému havarijního chlazení k zamezení jeho falešného zapůsobení během testu.
- Přepojení napájecích čerpadel tak, aby byla 4 čerpadla napájena z vnější sítě a 4 z turbogenerátoru.
- Odstavení turbíny č.8.

Cílem experimentu bylo ověřit možnost krytí spotřeby čerpadel havarijního chlazení z doběhu turbíny do té doby, než naběhnou nouzové diesellové agregáty, které kryjí spotřebu bloku při odstavení turbíny.

O havárii jsou známy následující objektivní fakta¹¹:

- dne 26. dubna 1986 v 1h 23min 44s došlo na 4. bloku jaderné elektrárny v Černobylu k těžké havárii jaderného reaktoru.
- došlo k explozi, při které byly do okolního prostoru rozptýleny různé materiály.
- při druhé explozi došlo k vyvržení jaderného paliva a grafitu.
- mimo budovu reaktoru byly nalezeny grafitové bloky a fragmenty paliva
- došlo ke značnému poškození budov
- jeřáb a zavážecí stroj (paliva do reaktoru) se zřítily
- horní deska reaktoru byla přemístěna směrem vpravo uvnitř reaktorové haly
- byly poškozeny všechny kanály aktivní zóny
- řetězová reakce se zastavila

¹¹ ČESKOSLOVENSKÁ KOMISE PRO ATOMOVOU ENERGIÍ, *Havárie v černobylské jaderné elektrárně*, Ústřední informační středisko pro jaderný program, 1986, s. 15, s. 22, s. 24

Aktivní zóna reaktoru obsahovala v době havárie radioaktivitu ca. $4 \cdot 10^{19}$ Bq (Becquerel, jednotka radioaktivity, definovaná 1 radioaktivním rozpadem za sekundu). Na základě měření po havárii bylo odhadnuto, že z reaktoru uniklo do okolí 1-7% jejího radioaktivního inventáře. V tom nejsou započítány radioaktivní vzácné plyny (xenon a krypton), u kterých se předpokládá, že unikly všechny. Mechanismus úniku je možné rozdělit na mechanický únik a únik výparem¹².

Únik radioaktivních látek neprobíhal během jedné velké události, ale byl rozdělen do několika dílčích fází. První den uniklo přibližně 25% celkového úniku radioaktivních látek a další únik byl rozprostřen do období trvajícího přes 9 dní. Během tohoto děje byly shromažďovány vzorky vzduchu a usazených materiálů v okolí. Na základě vyhodnocení vzorků byl časový průběh úniku rozdělen na čtyři fáze:

- počáteční intenzivní únik v průběhu prvního dne po havárii
- pětidenní období s 6-ti násobným poklesem úniku v porovnání s prvním dnem
- prudké zvýšení úniku až na 70% původní hodnoty v dalších 4 dnech
- náhlý pokles úniku devátý den na méně než 1% počátečního úniku s pokračujícím poklesem.

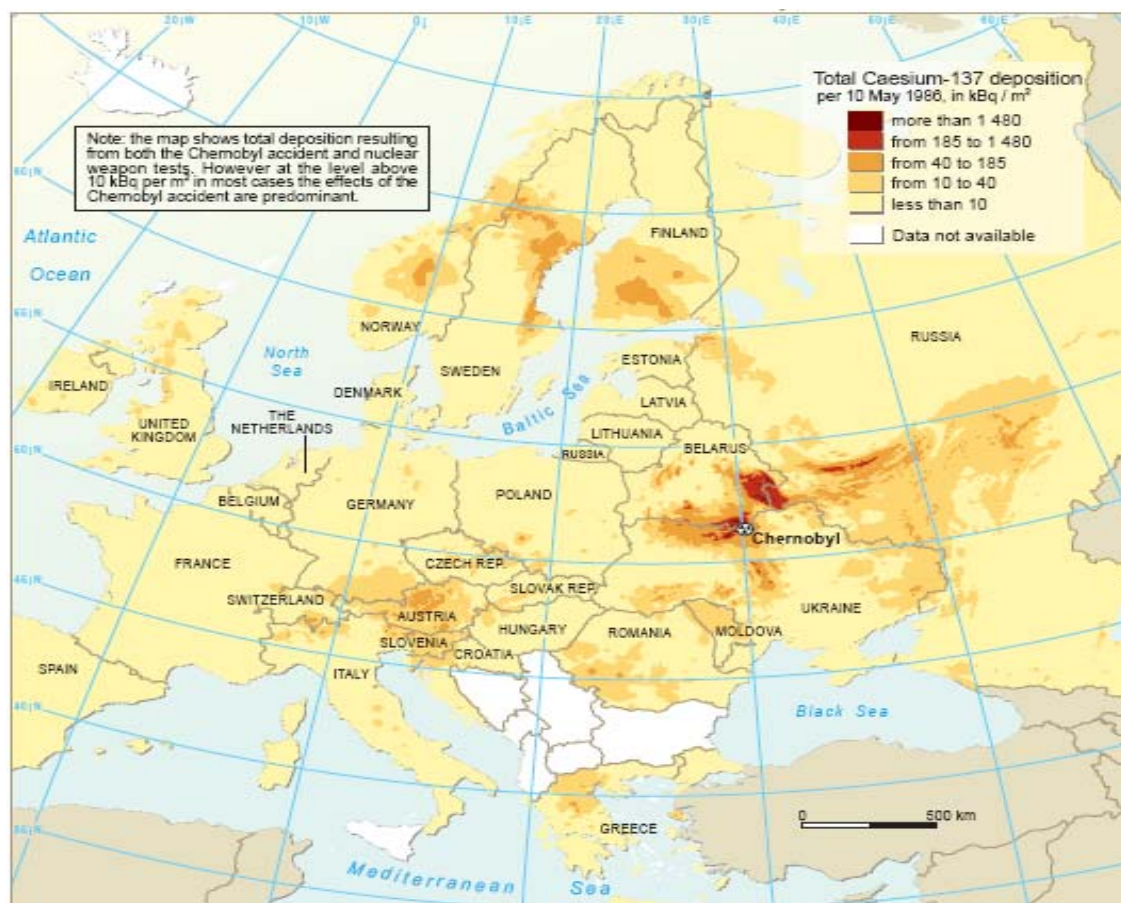
Dvě poslední zmíněné fáze nemají konečné vysvětlení a jsou předmětem několika hypotéz¹². Uniklé radioaktivní látky nezasáhly pouze bezprostředního okolí elektrárny, ale stopy radioaktivity z havárie lze nalézt po celé Evropě, především však v Bělorusku a části bývalého Sovětského svazu. Obrázek 4 na další straně ukazuje zasažení Evropy radioaktivním Cesium-137 dne 10. května 1986 (v kBq/km²)¹³.

¹² ČESKOSLOVENSKÁ KOMISE PRO ATOMOVOU ENERGIÍ, *Havárie v černobylské jaderné elektrárně*, Ústřední informační středisko pro jaderný program, 1986, s. 25

¹³ *The continental scale of the Chernobyl accident*. [online]. 2010 [cit. 2010-02-16].

Dostupný z WWW: < <http://maps.grida.no/go/graphic/the-continental-scale-of-the-chernobyl-accident> >

Obr. 4: Zasažení Evropy Cesium-137 v kBq/km², stav 10.5.1986¹⁴.



Source: European Commission, Joint Research Center, Environment Institute; Institute of Global Climate and Ecology (Moscow); Roshydromet (Russia); Minchernobyl (Ukraine); Belhydromet (Belarus). Atlas of Caesium Deposition on Europe after the Chernobyl Accident.1998.

Map by UNEP/GRID-Arendal, May 2007

4.1.4 Následky

Jak naznačuje výše uvedený rozsah havárie, událost samozřejmě nemohla zůstat bez následků na široké okolí elektrárny, zdraví zaměstnanců elektrárny a obyvatel postižené oblasti, ale i společnost a ekonomiku. Stručně je možné následky rozdělit na 3 kategorie.

- poškození ekosystému
- přímé účinky na zdraví
- sociální a ekonomické dopady

¹⁴ *The continental scale of the Chernobyl accident.* [online]. 2010 [cit. 2010-02-16].

Dostupný z WWW: < <http://maps.grida.no/go/graphic/the-continental-scale-of-the-chernobyl-accident> >

Poškození ekosystému¹⁵

Jak již bylo zmíněno, tak velké úrovně radioaktivity, uniklé během havárie, musely poškodit ekosystém v 30-ti kilometrovém pásmu okolo elektrárny. Odumřely asi 4 km² borového lesa a několik desítek km² bylo poškozeno. Ukázalo se, že listnaté stromy byly vůči radiaci odolnější, než jehličnaté. Již několik měsíců po havárii a v roce 1987 se poškozené stromy začaly uzdravovat, ačkoli byly pozorovány vývojové odchylky na nových listech a stromy měly méně pylu. Několik let po havárii byl rovněž pozorován určitý poměr mikromutací u pšenice.

Ačkoli přímých důkazů o úhynu mezi zvířaty není mnoho, je pravděpodobné, že v nejméně postižených oblastech se úhyn živočichů vyskytl. V roce 1986 poklesla v 30-ti kilometrové zóně populace hlodavců a vyskytla se zvýšená úmrtnost embryí. Během roku 1987 však populace opět vzrostla v důsledku migrace a snížené lidské přítomnosti v oblasti. Mezi bezobratlými živočichy se například projevila zvýšená asymetričnost křídel vážek. Díky stínícímu efektu vody byly vodní organismy zasaženy obecně méně než suchozemské.

Při hodnocení dopadů na ekosystém je třeba uvažovat jak nepříznivé účinky radiace, tak naopak příznivé účinky vlivem snížení lidské činnosti v oblasti. S odstupem času se ukazuje, že ačkoli existují určité důkazy (často protichůdné) o pokračujícím poškozování organismů, jsou relativně malé. Naproti tomu byl zaznamenán dramatický nárůst populace malých savců a ptáků a zničená příroda se nejen uzdravila, ale je nyní mnohem hojnější a rozmanitější. Rakovina, způsobovaná radiací, je spíše považována za nemoc pokročilejšího věku. Divoká zvířata se však mohou dožít pokročilejšího věku jen výjimečně, a proto se u nich vliv radiace tolik neprojevuje.

Je tak zřejmé, že důsledky na lidskou populaci dalekosáhle převážily důsledky na ekosystém. Rovněž je zřejmé, že odolnost zvířecí populace a rostlinstva proti radiaci je řádově vyšší, než u lidí. Divoká příroda proto prospívala v zakázané zóně, považované za nevhodnou pro obývání lidmi.

¹⁵ SMITH T. J., BERESFORD A. N., *Chernobyl-Catastrophe and consequences*, Springer and Praxis Publishing, 2005, s. 294-296

Přímé účinky na zdraví¹⁶

Bezprostředně po havárii zahynulo 28 lidí na akutní nemoc z ozáření, dalších 11 lidí, ze 134 potvrzených případů nemoci z ozáření, zemřelo v průběhu let 1987-1998. Příčinami byly různé choroby srdce, cirhóza jater a choroby kostní dřeně. Do roku 2003 bylo zaznamenáno 4000 případů rakoviny štítné žlázy u dětí a adolescentů, převážně způsobené působením jódu I¹³¹. Ačkoli je toto onemocnění velmi vážné, je naštěstí léčitelné. Například z počtu 1152 pacientů, léčených v Bělorusku v období 1986-2002 zemřelo 14 pacientů, což představuje 1,2 %.

Vystavení radiaci rovněž potenciálně vede ke zvýšenému výskytu leukémie. Podle poznatků na přeživších z Hirošimy a Nagasaki se toto onemocnění většinou projevilo 15 let po vystavení dávce. V případě Černobylu není žádný jasný důkaz, že by se výskyt tohoto onemocnění zvýšil. V porovnání s oběťmi v Hirošimě a Nagasaki však dokonce i pracovníci „likvidační skupiny“ v Černobylu dostali o dva řády nižší dávky radioaktivity. Existují důkazy, že riziko rakoviny je vyšší při akutních vyšších dávkách radioaktivity, než při dlouhodobějším vystavování nižším hodnotám.

Na rozdíl od jasných, méně než 100 úmrtí, které jsou přímo spojené s radiací během havárie, nebo krátce po ní, aktuální počet úmrtí, které se dají této havárii přičíst je velmi těžké odhadnout. Některé odhady hovoří o 2000-2500 obětí mezi likvidátory havárie a obyvateli kontaminovaných oblastí. Ty však vycházejí z extrapolace hodnot získaných mezi oběťmi z Hirošimy a Nagasaki a jsou jistě zatíženy velkou chybou a uvádějí, že je velmi těžké tyto nárůsty rozpoznat mezi očekávanými celkovými počty úmrtí v oblasti. I když přesné počty nebudou nikdy známy je zřejmé, že zprávy médií, uvádějící 125 000 obětí v prvních 10-ti letech po havárii, byly zavádějící. Toto číslo představovalo ve skutečnosti celkový počet úmrtí v postižených oblastech ze všech příčin a nemělo žádnou vazbu na ozáření radiací.

¹⁶ SMITH T. J., BERESFORD A. N., *Chernobyl-Catastrophe and consequences*, Springer and Praxis Publishing, 2005, s. 296-300

Sociální a ekonomické dopady¹⁶

Přesun více než 300 000 tisíc lidí ze zasažené oblasti měl samozřejmě katastrofální sociální a ekonomické dopady, zvláště ve spojení s celkovým ekonomickým úpadkem bývalého Sovětského svazu a jeho rozpadem, se ztrátami ve výrobě a zatížením obnovou postižených oblastí. Vědci tyto dopady v porovnání s účinky radiace podcenili, avšak enormní psychologické (a sociální) poškození může mít v konečném důsledku reálné zdravotní dopady.

Populace v zasažených oblastech byla vystavena vysokým hladinám stresu a vykazuje vyšší návštěvnost zdravotnických zařízení a užívání léků než v standardní populaci. Média uvádějí zprávy o vysokých počtech potratů, neboť matky měly obavy o zdraví nenarozených dětí. Evakuovaným lidem se také v některých případech společnost vyhýbala, protože byli považováni za „kontaminované“. Stejně jsou vnímány i oblasti, které byly v minulosti zasaženy havárií. Populace klesá, protože mladí lidé se z těchto oblastí stěhují a jsou také problémy s nedostatkem některých profesí, jako lékařů a učitelů. Ekonomické problémy se v důsledku projeví i v ozáření populace. Pokračovala konzumace kontaminovaných potravin z přírody, protože jsou často zdrojem obživy pro řadu chudých lidí. Ekonomické a sociální dopady byly také zesíleny tendencí (nejen) sovětské vlády bagatelizovat účinky havárie. Důvěra veřejnosti se jen těžko vrací zpět.

Někteří vědci tvrdí, že trvalá evakuace obyvatelstva ze zasažených oblastí byla chyba. Průměrné individuální dávky populace, žijící ve většině zasažených oblastí by se pohybovaly do 6 mSv/rok a byly by srovnatelné s dávkami pro pracovníky některých profesí (piloti, horníci) a jsou pod úrovní přírodního pozadí v mnoha světových oblastech. Podle doporučení Mezinárodní komise pro radiační ochranu jsou evakuační zásahy ospravedlnitelné nad individuální dávkou 100 mSv/rok a v žádném případě nejsou ospravedlnitelné pod 10 mSv/rok.

Nepřesné údaje o riziku radiace jsou považovány za příčinu změny chování jisté části postižených lidí, kteří rezignují na zdravý způsob života s tím, že již byli tak jako tak ozáření a zemřou. Ve skutečnosti obdrželi členové likvidačních týmů dávky v řádu 100 mSv, což znamená potenciální riziko rakoviny 0,5%. Naproti tomu v případě kouření je toto riziko 50%.

4.2 Příčiny havárie, analýza z více zdrojů

Zdroje k analýze příčin havárie na Černobylské jaderné elektrárně, použité v této práci, budou 3. Jednak ze strany aktérů nehody, pak z nezávislých zdrojů a nakonec ze strany vyšetřovacích orgánů. Z účastníků havárie budou analyzovány vzpomínky zástupce hlavního inženýra elektrárny A. S. Djatlova, který vedl tým operátorů na kritické směně, dále pak publikace zástupce vedoucího výrobního oddělení Ministerstva energetiky bývalého SSSR pro výstavbu jaderných elektráren G. U. Medveděva a nakonec bude použita zpráva expertního týmu Mezinárodní agentury pro atomovou energii (INSAG-7). Aby bylo prozkoumáno povědomí a představa veřejnosti o této události, byla provedena rovněž malá anketa, jejíž výsledky zde budou prezentovány.

4.2.1 Anketa

Je zajímavé vědět, jak je vůbec nehoda a její následky vnímána veřejností dnes, po 24 letech od události. Jistě na toto vnímání mělo vliv i informování veřejnosti médií a různými zájmovými skupinami. Aby byl nástin tohoto veřejného mínění odhalen, byla provedena stručná anketa v okolí autora práce. Bylo osloveno 13 respondentů ve věku od 16 do 64 let. Ve vzorku je zastoupeno 30% lidí s vysokoškolským vzděláním, 62% se středoškolským a 8% se základním vzděláním. Její výsledky ukazuje níže uvedená tabulka 2.

Tab. 2: Výsledky ankety veřejného mínění na téma Havárie v JE Černobyl.

otázka	odpověď respondentů
Co Vám říká Černobyl?	100% dotazovaných odpovědělo, že se jedná o havárii jaderné elektrárny - katastrofu
Jaké byly příčiny havárie v Černobylu?	62% dotazovaných se domnívá, že příčinou je lidský faktor 15% tvrdí, že příčinou je konstrukce reaktoru spolu s lidským faktorem 15% neví 8% se domnívá, že příčinou je konstrukce reaktoru
Jaké byly následky havárie v Černobylu?	100% radiace až v Evropě, smrt z ozáření
Může se něco takového stát v JE Temelín?	54% ano 46% ne

Z výsledků vyplývá, že povědomí o existenci havárie je velmi dobré. Z příčin je plných 62% dotázaných přikládá důsledku lidského faktoru, tj. selhání obsluhy bloku. Z hlediska oficiálních míst je zajímavé, že i po mnohaletých masivních kampaních na ovlivnění veřejného mínění ve prospěch jaderné energetiky a situace kolem JE Temelín vůbec, se více než polovina dotázaných domnívá, že k podobné havárii by mohlo dojít i tam.

4.2.2 *Anatolij Stěpanovič Djatlov*¹⁷

Anatolij Stěpanovič Djatlov se narodil 3. března 1931. Studoval na Moskevském inženýrsko-fyzikálním ústavu, který absolvoval s vyznamenáním v oboru inženýr-fyzik, specializace elektronika a automatizace.

Působil v loděnicích, kde pracoval jako vedoucí fyzikální laboratoře. Uváděl do provozu energetická zařízení jaderných ponorek. Od roku 1973 pracoval na budování jaderné elektrárny v Černobylu, kde se od zástupce náčelníka reaktorového oddělení vypracoval na zástupce hlavního inženýra elektrárny. V době nehody 26.dubna 1986 obdržel dávku záření alespoň 5,5 Sv. Verdiktem nejvyššího soudu byl považován za jednoho z viníků nehody a odsouzen k 10-ti letům vězení. 1. října 1990 byl A. S. Djatlov předčasně propuštěn na svobodu pro nemoc. Nemoc z ozáření postupovala velmi rychle a i přes pomoc německých lékařů z oddělení popálenin univerzitní kliniky v Mnichově 13. prosince 1995 A. S. Djatlov zemřel.

A. S. Djatlov byl přímým účastníkem událostí 26. dubna 1986. Jeho svědectví tedy sice může být postiženo zaujatostí, ale poskytuje vzácný pohled z druhé strany. Dále budou vypsány příčiny havárie tak, jak by je popsal A. S. Djatlov.

Hlavní příčina nehody je v neodzkoušené konstrukci reaktoru, která vykazovala řadu nedostatků. Reaktory typu RBMK byly poprvé instalovány v jaderné elektrárně Leningrad a bez odzkoušení bylo rovnou rozhodnuto i o výstavbě v jaderných elektrárnách Kursk a Černobyl. Kritizuje dávání za vinu operátorům, což je všeobecně rozšířená verze příčin nehody – viz. výše uvedená anketa. Podle něj byl výsledek vyšetřování „na objednávku“ - obvinít operátory především s cílem nezdiskreditovat sovětskou techniku.

¹⁷АНАТОЛИЙ СТЕПАНОВИЧ ДЯТЛОВ. *Чернобыль. Как это было.* [online]. 2010 [cit. 2010-04-01] Dostupný z WWW: <<http://atomas.ru/isp/shernobl/>>

Jednou z hlavních technických příčin jsou fyzikální vlastnosti reaktoru RBMK, především tendence k rozvoji jaderné reakce s rostoucím výkonem reaktoru. Operátoři měli k dispozici koeficient rozvoje reakce v závislosti na obsahu páry v aktivní zóně. Ve skutečnosti však byl tento koeficient 4-5x vyšší, reaktor měl tedy 4-5-ti násobně vyšší tendenci zvyšovat výkon, než uváděla informace, kterou měli operátoři k dispozici.

Hlavní technickou příčinou nehody uvádí konstrukci havarijních tyčí, které jsou aktivovány tzv. tlačítkem AZ-5. Po jeho aktivaci by měl být reaktor bezpečně havarijně odstaven. Toto tlačítko skutečně operátoři použili, přesto však došlo k explozi reaktoru. Nedostatky konstrukce tyčí operátorům nebyly známy.

Zároveň popírá obvinění, která jsou vůči operátorům kladena – údajný zákaz provozu na výkonu pod 700MWt, který podle něj neexistoval. V jeho prospěch svědčí to, že reaktor byl vybaven regulátory na výkon v řádech 100 – 200MWt. Experiment začal při ustáleném výkonu 200MWt. Dále popírá vypnutí některých havarijních ochran, u nichž prý údajně pouze snížili parametry v rámci povoleného rozsahu.

4.2.3 Grigorij Ustinovič Medveděv¹⁸

Grigorij Ustinovič Medveděv pracoval jako zástupce vedoucího výrobního oddělení na ministerstvu energetiky SSSR pro výstavbu jaderných elektráren. Nebyl přímým účastníkem nehody, na místě havárie pobýval od 9. do 16. května 1986. Byl pověřen úkolem pochopit a posoudit situaci a podat na ministerstvo zprávu.

Také G. U. Medveděv připouští, že cílem sovětských oficiálních orgánů bylo nepoškodit jméno sovětské techniky, protože byly obavy z dopadů výsledků vyšetřování na rozvoj jaderné energetiky, který pokládaly za klíčové pro země RVHP.

I když i on vidí nedostatky konstrukce reaktoru velkou váhu viny přikládá lidskému faktoru. Například pokládá za nekompetentní zástupce generálního projektanta a generálního dodavatele, kteří měli schválit průběh experimentu. Za nekompetentního považuje i zástupce hlavního inženýra A. S. Djatlova, který vedl tým operátorů, provádějící experiment. Ve své knize však popisuje nedostatky havarijních

¹⁸ ГРИГОРИЙ УСТИНОВИЧ МЕДВЕДЕВ. *Чернобыльская тетрадь* [online]. 2010 [cit. 2010-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://library.narod.ru/tetr/tetr.htm>

tyčí tak, jak je uvedl i A. S. Djatlov a přiznává, že operátoři neměli dostatek informací o jejich pozitivních účincích na nárůst výkonu reaktoru. Tuto jejich vlastnost však nevidí jako kritickou.

Je toho názoru, že havárie mohla být odvrácena nebo mohl být zmenšen její rozsah tím, že by nedošlo k vyřazení systému havarijního chlazení. Jak však bylo uvedeno v úvodu kapitoly, toto vyřazení bylo nutné vzhledem k charakteru experimentu.

G. U. Medveděv mimo jiné dochází i k závěru, že konstrukce RBMK nezohledňuje základní pravidlo konstrukce jaderných reaktorů – při nepředpokládaných rozvoji reakce musí mít schopnost s rostoucím výkonem tento rozvoj potlačovat, tj. musí mít tzv. samozhášecí schopnost¹⁹.

4.2.4 INSAG-7

Mezinárodní poradní skupina pro jadernou bezpečnost (International nuclear safety advisory group - INSAG) je poradní skupinou generálního ředitele Mezinárodní agentury pro atomovou energii, jejíž hlavní funkce jsou²⁰:

- Poskytovat prostor pro výměnu informací o obecných otázkách jaderné bezpečnosti mezinárodního významu
- Identifikovat důležité současné otázky jaderné bezpečnosti a vyvodit závěry na základě výsledků aktivit v oblasti jaderné bezpečnosti v rámci MAAE a dalších informací.
- Poskytovat poradenství v oblasti jaderné bezpečnosti, kde může být vyžadována výměna informací a / nebo další činnosti.
- Formulovat, kde je to možné, společně sdílené bezpečnostní koncepty.

Expertní zprávu INSAG lze rozdělit na dvě oblasti. První se týká konstrukce reaktoru a druhá lidského faktoru.

¹⁹ ГРИГОРИЙ УСТИНОВИЧ МЕДВЕДЕВ. *Чернобыльская тетрадь* [online]. 2010 [cit. 2010-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://library.narod.ru/tetr/tetr.htm>>

²⁰ INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP. *The Chernobyl accident: updating of INSAG-1: INSAG-7*, International Atomic Energy Agency, 1992, s. 6

Konstrukce

Ve zprávě se uvádí rychlost zásahu havarijních tyčí, která činí 18 sekund²¹. Tato rychlost je považována za pomalou, danou konstrukcí reaktoru a palivových kanálů. Konstrukce havarijních tyčí je navíc taková, že v určitých shodách okolností může paradoxně vést (a také vedla) k přispění rozvoje řetězové reakce²¹. To je v přímém protikladu s jejich primární funkcí, kterou je řetězovou reakci zastavit.

Řízení reaktoru RBMK při nízkých výkonech je velmi obtížné za podmínek, kdy je prováděno pouze ručními zásahy obsluhy. Informace pro operátory, poskytované zařízením, jsou nedostatečné a dochází ke zpoždění v informačním toku. Zvládnutí provozu je v této situaci proto závislé na zkušenostech a odhadech obsluhy²¹.

Zpráva rovněž poukazuje na to, že mohou existovat i další situace, které by vedly k podobnému nebo stejnému výsledku, jakým byla havárie 26. dubna 1986²¹. Sled událostí, které se tedy na kritické směně udály, byly spíše spouštěcím mechanismem, než příčinou havárie. Za tu lze nejpravděpodobněji pokládat fyzikální vlastnosti reaktoru RBMK, jeho přivedení do stavu, který nebyl popsán předpisy a nebyl dopředu prozkoumán nezávislými bezpečnostními orgány. Hlavní příčina je, že fyzikální charakteristiky reaktoru umožnily jeho nestabilní chování²².

Lidský faktor

Vypnutí systému havarijního chlazení shledává zpráva jako v souladu s navrženým zkušebním programem a na vznik a rozvoj havárie nemělo vliv²². Zpráva však poukazuje na to, že tato ochrana byla vypnuta 11 hodin provozu reaktoru až do havárie. Bylo to v důsledku přerušení průběhu experimentu. To sice nemělo na havárii žádný vliv, ale je to ukázkou bezpečnostní kultury obsluhy reaktoru. To se netýká pouze obsluhy 4. bloku černobylské elektrárny, ale celého systému SSSR, který zahrnuje ministerstva, dozorní orgány, konstruktéry atd. Před černobylskou havárií se totiž staly další dvě nehody, z nichž jedna, na leningradské elektrárně v roce 1975, by se dala považovat za její přímou předchůdkyni²³. K žádnému poučení z chyb ale nedošlo

²¹ INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP. *The Chernobyl accident: updating of INSAG-1: INSAG-7*, International Atomic Energy Agency, 1992, s. 4-5, s. 13

²² INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP. *The Chernobyl accident: updating of INSAG-1: INSAG-7*, International Atomic Energy Agency, 1992, s. 10

²³ INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP. *The Chernobyl accident: updating of INSAG-1: INSAG-7*, International Atomic Energy Agency, 1992, s. 23

a nedošlo ani k přenosu zkušeností mezi výše uvedenými subjekty. Rovněž vada konstrukce havarijních tyčí se projevila již v roce 1983 na elektrárně Ignalina²⁴. Opět nedošlo k žádnému opatření ani přenosu poznatků dále. Operátoři v černobylské elektrárně tak měli jen málo informací o tom, jak nestabilně se jejich reaktor může chovat.

Původní obvinění operátorů z provozu na zakázané hladině výkonu (200 MWt) bylo vyvráceno, protože se nenašel žádný předpis ani instrukce, která by provoz na této hladině výkonu zakazovala. Z tohoto pohledu tedy experiment začal na normální, nezakázané, hladině výkonu²⁵. Původní plán experimentu však předpokládal výkon 700 MWt. Tento předpoklad si operátoři upravili sami a dostali se tak do situace, kdy byl reaktor nestabilní. To nebylo zařízením indikováno a jeho nestabilita se dala pouze odhadnout²⁶.

4.3 Bezpečnostní selhání

Ačkoli se většina pozornosti při zkoumání událostí 26. dubna 1986 v černobylské jaderné elektrárně zaměřuje na vznik havárie a její příčiny, není to jediný okamžik, kdy došlo k selhání. Když už se nehoda stane, záleží velikost škod a jejich dopadů také na tom, jak rychle a jak účinná opatření se na zmírnění následků aplikují. A právě v tomto je jádro dalšího černobylského selhání – jak bude ukázáno níže, v další části práce, následky havárie bylo pravděpodobně možné výrazně zmírnit.

4.3.1 Bezprostřední reakce na havárii

K výbuchu reaktoru došlo v 1h 23min, 45s 26. dubna 1986. První požární jednotka přijela na místo havárie v 1h 30min a začala s lokalizací a likvidací požáru. Je třeba říci, že požární jednotky si počínaly odhodlaně a rozhodně a zabránily dalšímu rozšíření požáru²⁷. Na bojových pozicích začala první výměna probíhat ve 3h 30min, měli těžkou otravu a jevíli příznaky ozáření. Celou tuto dobu požárníci zasahovali, aniž

²⁴ INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP. *The Chernobyl accident: updating of INSAG-1: INSAG-7*, International Atomic Energy Agency, 1992, s. 23

²⁵ INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP. *The Chernobyl accident: updating of INSAG-1: INSAG-7*, International Atomic Energy Agency, 1992, s. 11

²⁶ INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP. *The Chernobyl accident: updating of INSAG-1: INSAG-7*, International Atomic Energy Agency, 1992, s. 19

²⁷ A.V.ILLEŠ, A.E.PRALNIKOV, *Reportáž z Černobylu*, Československá komise pro atomovou energii, 1989, s.8

by byl znám charakter havárie, která byla těžce radiační. První hlášení o úrovni radiace bylo k dispozici až ve 4h 20min, tedy téměř 3h po nehodě (!). Bez této informace nemohly být zasahující jednotky účinně chráněny a byly zbytečně vystaveny vysokým dávkám radiace²⁸.

V závěrečné obžalobě je uvedeno, že bývalý ředitel elektrárny Brjuchanov, který dorazil na místo havárie po výbuchu, neorganizoval radioaktivní průzkum. V elektrárně chyběly příslušné prostředky k odpovídajícímu provedení těchto prací. Údaje o namátkových měřeních, které mu byly sděleny, zakázal oznámit. Sám pak, když informoval nadřízené orgány, snížil v hlášení úroveň radioaktivity více než desateronásobně. V soudní síni zazněly dokonce i takové formulace: „Absence otevřené informace o stavu radioaktivity“. Odborníci zastávají názor, že Brjuchanov a bývalý vedoucí směny elektrárny Boris Rogožkin jsou odpovědní za to, že nebyla provedena opatření obsažená v plánu evakuace (podobné plány jsou vypracovány pro každou jadernou elektrárnu a pro havárie různého charakteru). Zcela zbytečně zůstala navíc v elektrárně téměř celá ranní směna, která pracovala od 8h ráno²⁹.

Obyvatelstvo Pripjati nebylo upozorněno na havárii, nebyl předán příslušný signál do štábu civilní obrany. Tam se žádná opatření nerealizovala, protože chyběly zprávy o situaci. V důsledku toho město žilo svým normálním rytmem sobotního dne. Děti si hrály na ulicích, někdo jel na ryby, ve školách se učilo, byly otevřeny obchody a kavárny. Evakuace byla zahájena teprve 36h po havárii a byla prováděna podle nově zpracovaného plánu²⁹

4.3.2 Situace 26. dubna 1986 přes den a později

Zkreslování informací se týkalo i oficiálních míst. Na tiskové konferenci 6. května 1986 v Moskvě místopředseda Rady ministrů SSSR a předseda Státního výboru pro atomovou energii SSSR uvedli, že radioaktivita v oblasti reaktoru je pouze 0,015 Rentgenů za hodinu. Ve skutečnosti však byla např. v ulicích Pripjati (tj. více než 3 km západně od reaktoru) celý den 26. dubna 1986 úroveň radiace

²⁸ A.V.ILLEŠ, A.E.PRALNIKOV, *Reportáž z Černobylu*, Československá komise pro atomovou energii, 1989, s.12

²⁹ A.V.ILLEŠ, A.E.PRALNIKOV, *Reportáž z Černobylu*, Československá komise pro atomovou energii, 1989, s.100

0,5-1 Rentgen za hodinu. Ředitel elektrárny Brjuchanov nechal v nevědomosti všechny a argumentoval, že radiační situace ve městě je normální a není větší, než přírodní pozadí. První takovou zprávu vydal již ve 3h ráno. Na otázky odborníků, kteří zahájili šetření na místě, odpovídal vyhýbavě a snažil se nebezpečí bagatelizovat. Příkladem byla otázka, proč se všude kolem havarovaného bloku povalují kusy grafitu (pozn. grafit – moderátor použitý v reaktoru). Ředitel Brjuchanov odpověděl, že jde pravděpodobně o úlomky grafitu z rozestavěného 5. bloku elektrárny³⁰. Tento blok se ale od místa havárie nachází 1,5 km.(!)

Náčelník štábu civilní obrany jaderné elektrárny S. S. Vorobjev požadoval, na základě zjištěné úrovně radiace, naléhavou evakuaci. Také se pozastavoval nad tím, že neexistuje žádná prevence pomocí jódové profylaxe. Ředitelem Brjuchanovem mu však bylo sděleno, aby situaci nezveličoval. Vysokou úroveň radiace, a to ve velké vzdálenosti od zdroje, odhadoval podle stavu pacientů na lékařských jednotkách i zástupce ministerstva zdravotnictví V. D. Turov. Rovněž i on požadoval okamžitou evakuaci a byl odmítnut s tím, že pokud by jeho informace byla mylná, došlo by pouze ke zbytečné panice³⁰.

Dlouho panovaly pochybnosti o tom, zda je reaktor porušený, či nikoli. Podle výše uvedeného je zřejmé, že management elektrárny zastával názor, že reaktor je neporušený a snažil se snížit vážnost situace. Zničení reaktoru bylo možné dokázat pouze vizuálně, a to pomocí pozorování z vrtulníků, k čemuž došlo až odpoledne 26. dubna 1986. Ani poté odpovědná místa nevzala na vědomí vážnost havárie, se stále stejným argumentem o nešíření paniky³⁰.

O evakuaci bylo rozhodnuto až na nočním jednání z 26. na 27. dubna 1986. Měla se uskutečnit brzo ráno, to se však ukázalo organizačně jako nereálné. Během rána 27. dubna 1986 se alespoň začalo s rozdávaním jódové profylaxe. Celková informovanosti byla na velmi nízké úrovni. Ačkoli obyvatelé dostali jódovou profylaxi, nikdo jim neřekl o kontaminovaných potravinách. To ilustruje případ stařenky, která profylaxi zapíjela kontaminovaným keřem³¹. Toto se ale týkalo i vyšetřovací odborné komise, jejíž příslušníci se až do večera 27. dubna 1986 v klidu stravovali v městských

³⁰ ГРИГОРИЙ УСТИНОВИЧ МЕДВЕДЕВ. *Чернобыльская тетрадь* [online]. 2010 [cit. 2010-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://library.narod.ru/tetr/tetr.htm>

³¹ A.V.ILLEŠ, A.E.PRALNIKOV, *Reportáž z Černobylu*, Československá komise pro atomovou energii, 1989, s.19

restauracích. Poté začaly být vydávány studené příděly. Před budovou, kde vyšetřovací komise, sídlila přistávaly a vzlétaly vrtulníky, které vířily radioaktivní prach s fragmenty štěpení. V budově se tak nedalo pořádně ani dýchat, o dodatečné zbytečné kontaminaci osob ani nemluvě³². Nakonec byla evakuace zahájena až 27. dubna 1986 ve 14 hodin. Alespoň postupovala rychle a během 3 hodin bylo evakuováno 50.000 osob pomocí 1.100 autobusů³³.

4.4 Závěr z analýzy příčin a bezpečnostních selhání

Katastrofa v Černobylu byla největší jadernou nehodou v historii lidstva. Oproti všeobecně rozšířenému mínění by však bylo chybou se domnívat, že byla způsobena pouhou nedbalostí hrstky lidí ve velíně černobylské jaderné elektrárny. Příčiny nehody byly založeny mnohem dříve, než v roce 1986 a jde o zřejmou systémovou chybu, která se táhne napříč celým tehdejším systémem SSSR. To je vidět i na přístupu managementu elektrárny a některých státních orgánů bezprostředně po nehodě i během vyšetřování. Ten je charakterizovaný snahou vše tajit a neinformovat, ať už je příčinou nedbalost (př. nepředávání zkušeností při zjištění nedostatků na prvních RBMK), osobní prospěch (př. postup ředitele elektrárny Brjuchanova), nebo vyšší zájmy (př. neohrožovat obchodní zájmy SSSR).

Co se týká samotného vzniku nehody je při bližším zkoumání zřejmé, že reaktory typu RBMK měly řadu konstrukčních nedostatků, o kterých se vědělo již před nehodou. Protože však nebyla zavedena žádná opatření na jejich odstranění a dokonce ani nebyl zajištěn dostatečný přenos informací o těchto nedostacích dále, bylo jen otázkou času, kdy tyto nedostatky vyústí ve vážnou nehodu. Události 26. dubna 1986 tak byly pouze spouštěcím mechanismem předprogramovaného neštěstí. To potvrzují i dodatečné konstrukční úpravy na reaktorech RBMK po nehodě v Černobylu. Je tragické, že muselo dojít k takovému neštěstí, aby se úpravy konečně realizovaly. Černobyl, stejně jako řada jiných nehod, ukázal, že není možné zakládat bezpečnost složitých technických zařízení na zkušenostech, pohotovosti, schopnostech a momentální kondici obslužného personálu. Každé takové zařízení musí být koncipováno tak, aby vliv lidského faktoru v žádném případě neměl vliv na jeho

³² ГРИГОРИЙ УСТИНОВИЧ МЕДВЕДЕВ. *Чернобыльская тетрадь* [online]. 2010 [cit. 2010-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://library.narod.ru/tetr/tetr.htm>

³³ A.V.ILLEŠ, A.E.PRALNIKOV, *Reportáž z Černobylu*, Československá komise pro atomovou energii, 1989, s.23

bezpečnost. Ekonomické a další aspekty můžeme ponechat stranou. Zásada tzv. „vrozené bezpečnosti“ je základem pro vývoj a stavbu nových komerčních jaderných zařízení.

Konání nejrůznějších orgánů po havárii, rovněž nese výše uvedené znaky selhání. Především včasná informovanost na všech úrovních mohla zabránit ztrátě řady lidských životů a mohla potlačit důsledky této události na zdraví obyvatel, společnost a životní prostředí. Jódová profylaxe byla podávána až 30 hodin po havárii, obyvatelé nebyli včas a dostatečně informováni o nebezpečí, které jim hrozilo při pobytu venku i při konzumaci potravin. Evakuace byla provedena až po 36 hodinách. Toto vše bylo způsobeno liknavostí, neochotou převzít zodpovědnost a čekáním na řešení situace shora, ze strany orgánů centrální moci. Výsledkem byla zcela zbytečná zdržení v řešení situace, poskytování pomoci a delší vystavení obyvatel radioaktivitě, než bylo nezbytně nutné.

Jako tečku za analýzou černobylské havárie lze použít slova sovětského vědce, člena Akademie lékařských věd SSSR, specialisty na léčbu leukémie A. I. Vorobjeva. Toto řekl v souvislosti s černobylskou katastrofou³⁴: *"Můžete si představit, co se stane s planetou, pokud se rozbombarduje jaderná elektrárna, a to i s konvenčními hlavicemi bez jaderných zbraní? Představit si lidstvo v takové zdevastované formě, nemůže žádný civilizovaný člověk. Myslím si, že po této nehodě by mělo skončit středověké myšlení lidstva. Velice mnoho dnes vyžaduje přehodnocení. Ačkoliv je počet obětí nehody ve výsledku omezen, většina z obětí zůstala naživu a uzdravila se. To, co se stalo v Černobyli nám ukázalo rozsah případné katastrofy a mělo by doslova nově definovat naše myšlení, včetně myšlení každé osoby, ať už to je pracující nebo vědec. Koneckonců, ani jedna nehoda se nestane náhodou. Pak by mělo být zřejmé, že atomový věk vyžaduje stejnou přesnost, s níž se počítá trajektorie rakety. Atomový věk nemůže spočívat jen v atomech, je důležité pochopit, že lidé by dnes měli vědět, například, co jsou takové chromozómy, stejně dobře jako vědí, jak funguje spalovací motor. Bez toho nejde žít. Chceš žít v atomovém věku - vytvoř novou kulturu, nový způsob myšlení ... "*

³⁴ ГРИГОРИЙ УСТИНОВИЧ МЕДВЕДЕВ. *Чернобыльская тетрадь* [online]. 2010 [cit. 2010-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://library.narod.ru/tetr/tetr.htm>>

5 HAVÁRIE V JE THREE MILE ISLAND

V první části této kapitoly budou uvedena obecná fakta o havárii v jaderné elektrárně Three Mile Island na východním pobřeží USA, její popis a rozsah následků. V dalších částech kapitoly budou shrnuty a analyzovány příčiny výše uvedené havárie. Nakonec bude porovnána s havárií v JE elektrárně Černobyl.

5.1 Obecná fakta o havárii

5.1.1 Poloha jaderné elektrárny Three Mile Island

Americká jaderná elektrárna Three Mile Island (JE TMI) je situovaná ve střední Pennsylvánii asi 16 km jižně od města Harrisburg v okrese Londonderry. Ležící na stejnojmenném ostrově v řece Susquehanna, ze které také odebírá technologickou vodu. V 8-mi kilometrovém ochranném pásmu elektrárny žilo v době nehody 36 000 osob.

Obr. 5: Poloha JE Three Mile Island na mapě severovýchodního pobřeží USA.



5.1.2 Historie elektrárny

První blok jaderné elektrárny Three Mile Island (TMI-1) byl spuštěn v září 1974. Byl následován blokem TMI-2, který byl uveden do provozu v prosinci 1978. Rozpočet na jeho výstavbu byl překročen a termín spuštění byl rovněž zpožděn.

Oba bloky jsou vybaveny tlakovodními reaktory o výkonu 800 a 906 MWe od firmy Babcock-Wilcox, umístěné v tlakové obálce, tzv. kontejmentu. Ten chrání jak

okolí elektrárny před případnými vlivy havárie zevnitř, tak samotný reaktor před poškozením zvenčí.



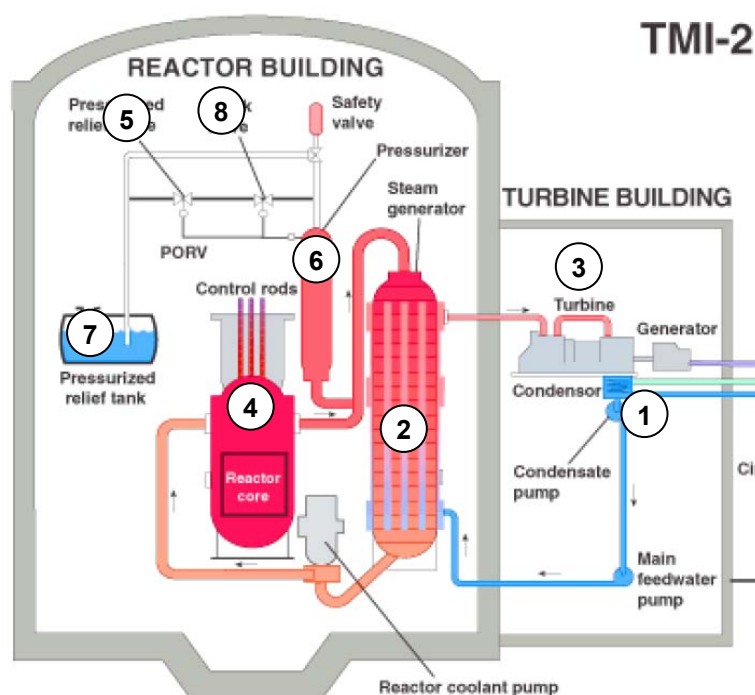
Blok byl v provozu pouhých 90 dní, až do nehody, která se udála 28. března 1979. Je to 1/120 původně plánované doby provozu. TMI-1 je v provozu dodnes, blok TMI-2 byl po havárii odstaven a uzavřen a jeho provoz již nebyl nikdy obnoven. Jeho úplná dekontaminace není dosud vyřešena.

Obr. 6: JE Three Mile Island, Pennsylvania, USA

5.1.3 *Objektivní popis a rozsah havárie* ³⁵

Havárie začala poruchou a automatickým odstavením napájecího čerpadla (obrázek 7 pozice 1) sekundárního okruhu. Zapojilo se havarijní čerpadlo, voda, dodávaná havarijním čerpadlem se však do cirkulačního okruhu parního generátoru (obrázek 7 pozice 2) nedostala, neboť byl za čerpadlem proti předpisům uzavřen blokovací ventil, chyba obsluhy, která byla cca po 8 minutách odstraněna. Sekundární strana parního generátoru proto zůstala bez vody a postupně se zcela vysušila. V důsledku toho došlo během několika sekund po iniciující poruše k automatickému odstavení turbíny (obrázek 7 pozice 3) a reaktoru (obrázek 7 pozice 4). Jelikož byl zhoršený odvod tepla z primárního okruhu, došlo zde k narůstání teploty a tlaku. Zařízení si začalo odfukovat přes přepouštěcí ventil (obrázek 7 pozice 5) na kompenzátoru objemu (obrázek 7 pozice 6) do barbotážní nádrže (obrázek 7 pozice 7). Tím tlak v primárním okruhu klesal, ale došlo ke komplikaci. Přepouštěcí ventil se zasekl v otevřené poloze, takže výtok chladiva z primárního okruhu pokračoval. Proto se automaticky zapojil systém havarijního chlazení aktivní zóny, který doplňoval vodu do primárního okruhu. Provozní personál ale tento systém ručně vypnul, protože stoupala hladina vody v kompenzátoru objemu. Přerušil tak doplňování unikajícího chladiva do aktivní zóny. Stoupání hladiny v kompenzátoru objemu je však způsobeno

³⁵ Prof. Ing. KLIK F., Ing. DALIBA J., *Jaderná energetika*, Vydavatelství ČVUT, 1995, s. 181-182



počínajícím varem vody v aktivní zóně (při poklesu tlaku a při nedostatečném odvodu tepla přes parní generátor) a vytlačováním vody vznikajícími bublinami. Asi za 10 minut po iniciující poruše je barbotážní nádrž přeplněna vodou, která se přes prasklou pojišťovací membránu začíná rozlévat do prostoru kontejmentu.

Obr. 7: Schéma bloku JE TMI-2

V primárním okruhu roste obsah páry a dochází k rázům v potrubí a je nutné odstavit cirkulační čerpadla. Horní část aktivní zóny je v páře, proto nedostatečně chlazená a přehřívá se. Dochází k jejímu začínajícímu poškození, které se projevuje růstem radioaktivity vody v primárním okruhu i v kontejmentu. Personál činí nápravná opatření – zavírá blokovací ventil z kompenzátoru objemu (obrázek 7 pozice 8) a zapíná systém havarijního chlazení. Po nějaké době dochází k mírným explozím v kontejmentu, které svědčí o přítomnosti vodíku (reakce vody se zirkonem při vyšších teplotách). Přijíždějí pracovníci Jaderné regulační komise (NRC) a přebírají řízení provozu. Necháávají trvale zapnutý vysokotlaký podsystem havarijního chlazení a postupně odplyňují primární okruh – odstraňují vodní páru a vodík. Je obnoven provoz hlavních cirkulačních čerpadel a reaktor je opět pod kontrolou. Vzhledem k silné vnitřní kontaminaci však již blok TMI-2 zůstane trvale odstaven.

5.1.4 Následky

Ani tato havárie se samozřejmě neobešla bez následků pro své okolí. V porovnání s havárií v JE Černobyl byly však podstatně menšího rozsahu a jejich dopad byl lokálního charakteru. Když pomíneme zřejmé závažné ekonomické důsledky pro majitele elektrárny, dané tím, že blok byl zcela nový a vynaložené prostředky se

tedy nikdy nevrátily (právě naopak), dají se následky incidentu na TMI-2, bez ohledu na jejich závažnost, rozdělit následovně:

- únik radioaktivity
- zdravotní následky
- psychické následky

Únik radioaktivity³⁶

Je odhadováno, že primární okruh TMI-2 obsahoval $2,78 \cdot 10^{17}$ Bq radioaktivního jódu, 1. dubna 1979 bylo ve vodě, uniklé v prostoru kontejmentu, $3,9 \cdot 10^{17}$ Bq jódu a $1,33 \cdot 10^{15}$ Bq obsahovala atmosféra uvnitř kontejmentu. Většina tohoto jódu byla zachycena v budovách TMI-2 a neboť se rozpadla, nepředstavovala větší nebezpečí. Nebyly zaznamenány žádné známky úniku látek s dlouhým poločasem rozpadu, zejména cesia a stroncia, ačkoli jejich značné množství uniklo do vody primárního okruhu, prostoru kontejmentu a budov pomocných provozů.

Celkové množství radioaktivity, uniklé mezi 27. a 28. březnem 1979 se pohybuje mezi $4,8 \cdot 10^{11}$ a $6,3 \cdot 10^{11}$ Bq radioaktivního jódu a $8,8 \cdot 10^{16}$ a $4,8 \cdot 10^{17}$ Bq vzácných plynů. Největší část této radioaktivity unikla přes vypouštěcí a napouštěcí systémy chladiva v budově pomocných provozů a přes ventilační filtry, které měly netěsnost.

Dekontaminace reaktorového systému v TMI-2 trvala téměř 12 let a stála téměř miliardu dolarů. Zahrnovala vyčištění kontaminovaných povrchů elektrárny, voda, která byla použita musela být zpracována, okolo 100 tun poškozeného uranového paliva muselo být odstraněno z reaktorové nádoby. Dekontaminace začala v srpnu 1979 a skončila v roce 1991³⁷.

Zdravotní následky³⁶

Na základě dostupných měření byla odhadnuta celková kolektivní dávka, kterou obdržela populace mezi 28. březnem a 15. dubnem 1979 v ohruhu o poloměru 80 km kolem elektrárny. Pohybuje se okolo 20 manSv. Roční kolektivní dávka, kterou tato

³⁶PRESIDENT'S COMMISSION REPORT, *The nuclear accident at Three Mile Island* [online]. 2010 [cit. 2010-04-15]. Dostupný z WWW: < <http://www.pddoc.com/tmi2/kemeny/> >

³⁷WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Three Mile Island accident* [online]. 2010 [cit. 2010-04-17]. Dostupný z WWW: < <http://www.world-nuclear.org/info/inf36.html> />

populace obdržela od přírodního pozadí byla 2 400 manSv. Znamená to, že v důsledku havárie se kolektivní dávka zvýšila o méně než 1% oproti normálnímu stavu. Pro populaci žijící v ochranném 8 km pásmu okolo elektrárny bylo toto procentní zvýšení odhadnuto na 10% přírodního pozadí a pravděpodobně bylo nižší.

Maximální odhadnutá dávka, kterou mohl obdržet jednotlivec v okolí elektrárny byla 0,0007 Sv. Na základě vědeckých poznatků o vlivu radioaktivity na organismus, takto nízké dávky nemohly způsobit měřitelné dodatečné výskyty rakoviny, vývojových vad a genetických poruch jako výsledek nehody na TMI-2. To potvrzuje i výzkum vědců z University Pittsburgh, kteří zkoumali úmrtnost obyvatel v oblasti jaderné elektrárny Three Mile Island v letech 1979-1992. Ti sice zaznamenali zvýšený výskyt srdečních chorob, který však přestal být zřejmý po vyloučení vlivu přírodního pozadí a rušivých faktorů.³⁸

V období od března do června 1979 obdrželi 3 pracovníci TMI radiační dávky okolo 0,03-0,04 Sv, což překročilo maximální povolenou čtvrtletní dávku 0,03 Sv³⁹. To například představuje dávku odpovídající 1 – 2 rentgenovým vyšetřením zaživacího traktu. Větší případy ozáření se nevyskytly.

Psychické následky³⁹

Jako hlavní následek událostí na TMI-2 se nakonec jeví psychické problémy zaměstnanců elektrárny a lidí, žijících v okolí. Vyskytly se projevy okamžité mentální tísně v důsledku nehody, a to mezi obyvateli v pásmu do 30 km od elektrárny. Největší postižení bylo zaznamenáno mezi dospělými v 8 km okruhu elektrárny, mezi předškolními dětmi a mezi mladými lidmi, žijícími v 8 km okruhu od elektrárny, s předškolními sourozenci nebo jejichž rodiny opustily oblast. Zaměstnanci TMI zažili větší stres, než zaměstnanci jiných jaderných elektráren, byl větší mezi řadovými zaměstnanci a pokračoval v měsících po incidentu.

Pro ilustraci je možné použít úryvek z knihy autorů Phillipa L. Cantelona a Roberta C. Williamse: „*Překroucené komunikace, které byly zveřejněny médii*

³⁸ E.O.TALBOTT, *Mortality among the Residents of the Three Mile Island Accident Area:1979-1992*, Environmental health perspectives, Volume 108, Number 6, 2000, s.545

³⁹ PRESIDENT'S COMMISSION REPORT, *The nuclear accident at Three Mile Island* [online]. 2010 [cit. 2010-04-15]. Dostupný z WWW: < <http://www.pddoc.com/tmi2/kemeny/>>

vzbudily debatu o evakuaci. Pak se stalo to, zda byly nebo nebyly evakuační plány pouze akademickou diskuzí. Co se událo v pátek nebyla plánovaná evakuace, ale víkendový exodus, založený ne na tom, co se skutečně odehrávalo v TMI-2, ale na tom, co vládní představitelé a média vykreslily, že by se mohlo stát. V pátek zmatené komunikace vytvořily politiku strachu.“⁴⁰ Aby uklidnil veřejnost, šel příkladem dokonce i tehdejší prezident USA Jimmy Carter, který osobně navštívil TMI-2 dne 1. dubna 1979.



Obr. 8: Prezident USA Carter opouští Three Mile Island, 1. dubna 1979

5.2 Příčiny havárie v JE Three Mile Island

Pro účely analýzy příčin havárie na elektrárně Three Mile Island bude použita vyšetřovací zpráva tzv. Kemenyho komise, která byla sestavena na popud tehdejšího prezidenta USA Jimmyho Cartera a pak dokument neziskové občanské organizace Three Mile Island Alert, který reaguje na oficiální vyjádření americké Jaderné regulační komise (NRC) k havárii na TMI-2. Závěrem kapitoly bude udělán závěr z analýzy příčin nehody a nehoda bude porovnána s havárií na JE Černobyl.

⁴⁰ P.L. CANTELON, R.C. WILLIAMS, *Crisis Contained, The Department of Energy at Three Mile Island*, Southern Illinois University Press, 1982, s. 50

5.2.1 *Kemenyho komise*⁴¹

V názvu uvedená komise byla sestavena dva týdny po nehodě na TMI-2 tehdejším prezidentem USA Jimmem Carterem. Měla 12 členů a byla pověřena následujícími úkoly:

- zhodnotit technicky události a stanovit jejich příčiny
- analyzovat roli managementu zařízení
- odhadnout připravenost NRC a státních činitelů na toto a podobná nebezpečí
- vyhodnotit roli NRC ve spojení s touto nehodou

Protože komise dospěla k rozsáhlým obecným závěrům, bude rozsah analyzovaných příčin omezen pouze na konkrétní záležitosti bezprostředně se dotýkajících nehody.

Lidský faktor

Zpráva komise zmiňuje, že první výsledky šetření se snažily ukázat, že za havárií stály především chyby operátorů. Komise však odhalila mnohem širší základnu pro to, co se na TMI-2 stalo.

Na prvním místě uvádí, že výcvik operátorů byl shledán naprosto nedostatečným s ohledem na mimořádné události. Dostačoval spíše pouze k udržování reaktoru v chodu za běžného provozu. Hloubka znalostí, a to dokonce i u vedoucích pracovníků, nedosahovala úrovně připravenosti na situaci, do které se dostali. Provozní předpisy, které byly použity v průběhu události, jsou zavádějící, nejednoznačné a mohly být interpretovány tak, že operátoři udělali nesprávné závěry.

Zkušenosti, získané z předchozích incidentů na podobných zařízeních nebyly zpracovány a poslány dále, aby byly k dispozici operátorům na jiných elektrárnách. Jako příklad je uvedeno upozornění hlavního inženýra společnosti Babcock-Wilcox na incident na jiné elektrárně s podobným zařízením, jako na TMI-2. Došlo také k zaseknutí přepouštěcího ventilu z kompenzátoru a operátoři tam nesprávně

⁴¹ *Report of the President's Commission on The Accident at Three Mile Island* [online]. 2010 [cit. 2010-04-15]. Dostupný z WWW: < <http://www.pddoc.com/tmi2/kemeny/> >

manipulovali se systémem havarijního chlazení reaktoru, který byl však na malém výkonu, takže se nic nestalo. Hlavní inženýr však upozorňoval, že pokud by se událost stala za jiných okolností (jako se později stalo na TMI-2), mohlo by dojít k poškození reaktoru. Důrazně doporučoval vypracování instrukcí, ošetřujících tuto situaci. To se však nestalo.

Chyby byly nalezeny také hlavně na straně dozorujících orgánů, konkrétně NRC, která by měla dohlížet na jadernou bezpečnost. Ta sklídila velkou kritiku. Původně byla NRC součástí komise, která vedle regulace měla za úkol také propagovat atomovou energii. Později došlo k vydělení NRC, která měla zůstat výhradně kontrolním a regulačním orgánem. V její činnosti byly však nalezeny patrné známky původní filozofie propagace, a tím určitého protekcionalismu. Byly nalezeny náznaky toho, že NRC někdy vycházela vstříc zájmům průmyslu, než jaderné bezpečnosti. Proto komise doporučila totální restrukturalizaci NRC, včetně důkladné personální obměny.

Za významný nedostatek považuje komise fungování managementu TMI-2. Vedoucí směny byl zatížen administrativou, která neměla nic společného s dohlížením na práci operátorů a nemohl odpovídajícím způsobem plnit své povinnosti. Neexistovala žádná systematická kontrola stavu elektrárny a nastavení ventilů při předání směn.

Konstrukce

Nedostatky se týkaly i technického zázemí elektrárny. Jak již bylo výše uvedeno, závada zaseknutí přepouštěcího ventilu kompenzátoru se již vyskytla dříve, na obdobném zařízení od firmy Babcock-Wilcox, a to dokonce devětkrát. Lze ji proto považovat za systematickou. Na tuto chybu firma provozovatele svého zařízení neupozornila. Chyba souvisela s nedostatečnou kvalitou úpravy chladiwa reaktoru. To pak obsahovalo minerály, které mohly způsobit zanášení potrubí. TMI-2 mělo 18 měsíců před nehodou s touto chybou opakované problémy, ale nebyla učiněna žádná efektivní nápravná opatření. Do kontrolní místnosti bylo sice instalováno čidlo, které hlásilo, že byl vydán povel k uzavření přepouštěcího ventilu, již však nebylo hlášeno, zda k uzavření ventilu skutečně došlo.

Nedostatečná byla také vizualizace chyb operátorů. Na začátku incidentu se na kontrolním panelu operátorům rozsvítilo více než 100 chybových hlášení, bez rozlišení stupně závažnosti, což způsobilo počáteční zmatky. Tento problém byl opět znám již

delší dobu, avšak opět nedošlo k zavedení nápravného opatření. Některé klíčové indikátory byly osazeny na zadní straně kontrolního panelu, některé se dostaly mimo rozsah své stupnice a nemohly tak operátorům poskytnout potřebnou informaci. Počítač sledující důležité parametry a chybové signály pracoval s více než hodinovým zpožděním za skutečnými událostmi a v jeden okamžik se dokonce zasekl. Při jedné odchylce ve zkušebním provozu rok před havárií operátoři z kontrolní místnosti upozorňovali na problémy se signalizací, ale marně.

5.2.2 *Three Mile Island Alert (TMIA)*⁴²

Tato organizace je nezisková, nezávislá občanská organizace a dává si za cíl monitorovat radioaktivitu, dopady na zdraví obyvatel, hlídat jadernou bezpečnost atd. vše se zřetelem na TMI. Byla založena v roce 1977 a podle svého vyjádření získala za svou činnost i uznání od několika státních orgánů. Analýza bude zaměřena na reakci TMIA na oficiální dokument Jaderné regulační komise (NRC) k havárii na TMI-2, tzv. Fact Sheet on the TMI Accident. Bude uvedeno oficiální tvrzení z dokumentu NRC a k němu komentář ze strany TMIA.

V oficiálním vyjádření se tvrdí, že zařízení nedalo operátorům jasný signál, že ventil je otevřen. TMIA komentuje toto tvrzení tak, že TMI falšovala údaje o únicích chladiva z reaktoru v týdnech před nehodou. Únik mohl být totiž operátory rozpoznán ze vzrůstající teploty chladiva za kompenzátořem. Operátoři si ale na tuto skutečnost zvykli a nevěnovali jí pozornost. Kdyby tedy TMI při potížích s blokem standardně provedla odstávku a nedostatky odstranila, k nehodě by nikdy nedošlo. Ekonomické zájmy v tomto případě převážily nad bezpečností.

TMIA kritizuje fakt, že na místě nebyly k dispozici žádné prostředky k měření radioaktivity, a to ani mezi státními orgány. Jediný způsob, jak se radioaktivita prověřovala, bylo odebrání vzorků na místě a jejich analýza v laboratoři. Chyběla tak okamžitá informace o úrovni radiace. Terčem kritiky je i údajná okamžitá pomoc NRC operátorům elektrárny k získání kontroly nad reaktorem. TMIA naproti tomu tvrdí, že během prvního dne se NRC distancovala od TMI. Měla prohlásit, že jim nebude dávat rady, jak řídit elektrárnu, ale bude sledovat pouze záležitosti, které jsou předmětem regulace ze strany NRC.

⁴² THREE MILE ISLAND ALERT, *What's Wrong With the NRC's 2004 Fact Sheet on the TMI Accident?* [online]. 2010 [cit. 2010-04-17]. Dostupný z WWW: < <http://www.tmia.com/whatswrong> >

5.3 Závěry z analýzy příčin nehody

Podle všech údajů, které byly výše analyzovány je zřejmé, že nehodu způsobila kombinace technických nedostatků, ale mnohem více spíše lidských selháních na mnoha úrovních. I když se stala technická porucha, zařízení na nastalé komplikace reagovalo správně a bez zásahů obsluhy, které šly proti požadavkům systému, by se nehoda vyvíjela tak, že by pravděpodobně ke zničení aktivní zóny reaktoru nedošlo. Operátoři by měli dostatek času situaci analyzovat. Vinu však nelze přičítat řadovým operátorům, kteří měli k dispozici nedostatečné prostředky k vyhodnocení a zvládnutí nastalé situace. Jádrem problému leželo v nadřazení ekonomických zájmů jaderné bezpečnosti, a to jak ze strany managementu elektrárny, tak ze strany státních dozorních orgánů. Svoji roli sehrála i liknavost v přístupu k řešení dlouhodobě známých problémů technického rázu, pokud neznamenal bezprostřední ohrožení chodu elektrárny (a tím ztrátu zisku).

Chyby se staly i po nehodě, během řešení nastalé situace. Především šlo o komunikační nedostatky a nepřipravenost na mimořádnou událost na všech úrovních. Výsledkem byl chaos, dezinformace a panika mezi obyvatelstvem. V průběhu krize se dva dny po jejím začátku vyskytly dvě události, které přispěly k psychickému zatížení lidí. V pátek 30. března 1979 zjistili pracovníci Jaderné regulační komise (NRC) náhlé zvýšení tlaku v reaktoru, který naznačoval možný výbuch vodíku a dále nekontrolovatelné vypuštění radioaktivních plynů přímo nad budovou pomocných provozů 30. března 1979 ráno, které způsobilo dávku 0,012 Sv, avšak pouze přímo nad budovou pomocných provozů. To, co způsobilo výše uvedené závažným, byla série nedorozumění, částečně způsobená problémy v komunikaci mezi různými státními a federálními úřady. Tak se stalo, že vládní představitelé se domnívali, že dávka 0,012 Sv se týká celého okolí elektrárny. Také věřili, že výbuch vodíku je možný, že NRC nařídila evakuaci, a že je pravděpodobné roztavení aktivní zóny (až do úrovně destrukce reaktorové nádoby)⁴³.

Z preventivních opatření selhalo podávání jódové profylaxe. Ta nebyla na místě vůbec k dispozici a v průběhu událostí se teprve řešilo, kdo a jak ji dodá (!). První dávky se tak dostaly obyvatelstvu a pracovníkům TMI až 1. dubna 1979 ráno, tedy 4 dny po vzniku nehody (!)

⁴³ WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Three Mile Island accident* [online]. 2010 [cit. 2010-04-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.world-nuclear.org/info/inf36.html>>

6 POROVNÁNÍ JE ČERNOBYL A JE TEMELÍN⁴⁴

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, došlo po havárii v JE Černobyl a JE TMI k řadě vylepšení s ohledem na zvýšení jaderné bezpečnosti. V této kapitole budou ukázány některé rozdíly mezi JE Černobyl a JE Temelín, ze kterých vyplynou zásadní bezpečnostní odlišnosti u obou elektráren. Dále bude ukázána připravenost na případnou mimořádnou událost, která by mohla eventuálně v JE Temelín nastat.

6.1.1 Bezpečnostní rozdíly JE Černobyl a JE Temelín

Rozdíl bezpečnosti provozu obou elektráren můžeme rozdělit na dvě hlavní části. První část je zakódována přímo v použité technologii získávání tepelné energie z jaderného paliva, druhá je tvořena připraveností zařízení elektrárny na eventuální havarijní stav.

Technologie přeměny energie

Technologie získávání energie z jaderného paliva v obou elektrárnách je zcela odlišná. V případě Černobylu jde o varný reaktor, tzn. že tento reaktor produkuje přímo páru pro turbíny. Jako moderátor je použit grafit. Bez dalších technických detailů lze uvést, že tato kombinace technického řešení reaktoru má jeden zásadní nedostatek, který se v Černobylu naplno projevil. Jde o tzv. kladnou zpětnou vazbu na rostoucí výkon reaktoru. Znamená to, že pokud se zvýší výkon reaktoru, je jeho tendence rozvíjet štěpnou reakci čím dál větší. Tento fakt znamená, že štěpná reakce u reaktoru s takovouto charakteristikou se musí po zvýšení výkonu brzdít.

JE Temelín je vybavena tlakovodním reaktorem, kde je moderátorem obyčejná voda. Opět bez technických detailů je možno uvést, že tento typ reaktoru výše uvedený nedostatek postrádá. Jinými slovy je jeho zpětná vazba na rostoucí výkon záporná. V praxi to znamená, že pokud dojde k vnesení kladné reaktivity, výkon reaktoru se sám, na základě fyzikálních procesů (nikoli tedy na základě zásahu obsluhy nebo zařízení), ustálí na nové výkonnostní hladině (vyšší). Toto je základní konstrukční podmínka všech moderních typů reaktorů, která musí být u současných zařízení dodržena bez výjimky.

⁴⁴ Prof. Ing. KLIK F., Ing. DALIBA J., *Jaderná energetika*, Vydavatelství ČVUT, 1995, s. 162-169

Pasivní bezpečnost

Dalším významným rozdílem, znamenající podstatné zvýšení bezpečnosti provozu jaderné elektrárny, je umístění její jaderné části do hermetické obálky, tzv. kontejmentu. Ta zajišťuje hermetické oddělení radioaktivních látek z aktivní zóny od životního prostředí. Je v ní umístěn celý primární okruh – reaktor, čerpadla, potrubí, parogenerátory atd.. JE Černobyl takové vybavení postrádala, její reaktorová část byla umístěna pouze v šachtě s tenkým ocelovým pláštěm. Proto explozi prakticky nebránilo nic expandovat do okolí spolu se štěpnými troskami, grafitem a samozřejmě s uniklými radioaktivními plyny. Naproti tomu JE Temelín je vybavena plnotlakým kontejmentem, zhotoveným z předepjatého betonu s ocelovou vystýlkou. Tento kontejment je konstruován i na ochranu z vnějšku, musí např. vydržet pád vojenského letadla. Dále je vybaven sprchami, které se po havárii uvádějí automaticky v činnost, snižují teplotu v hermetickém prostoru a vymývají z páry některé radioaktivní látky.

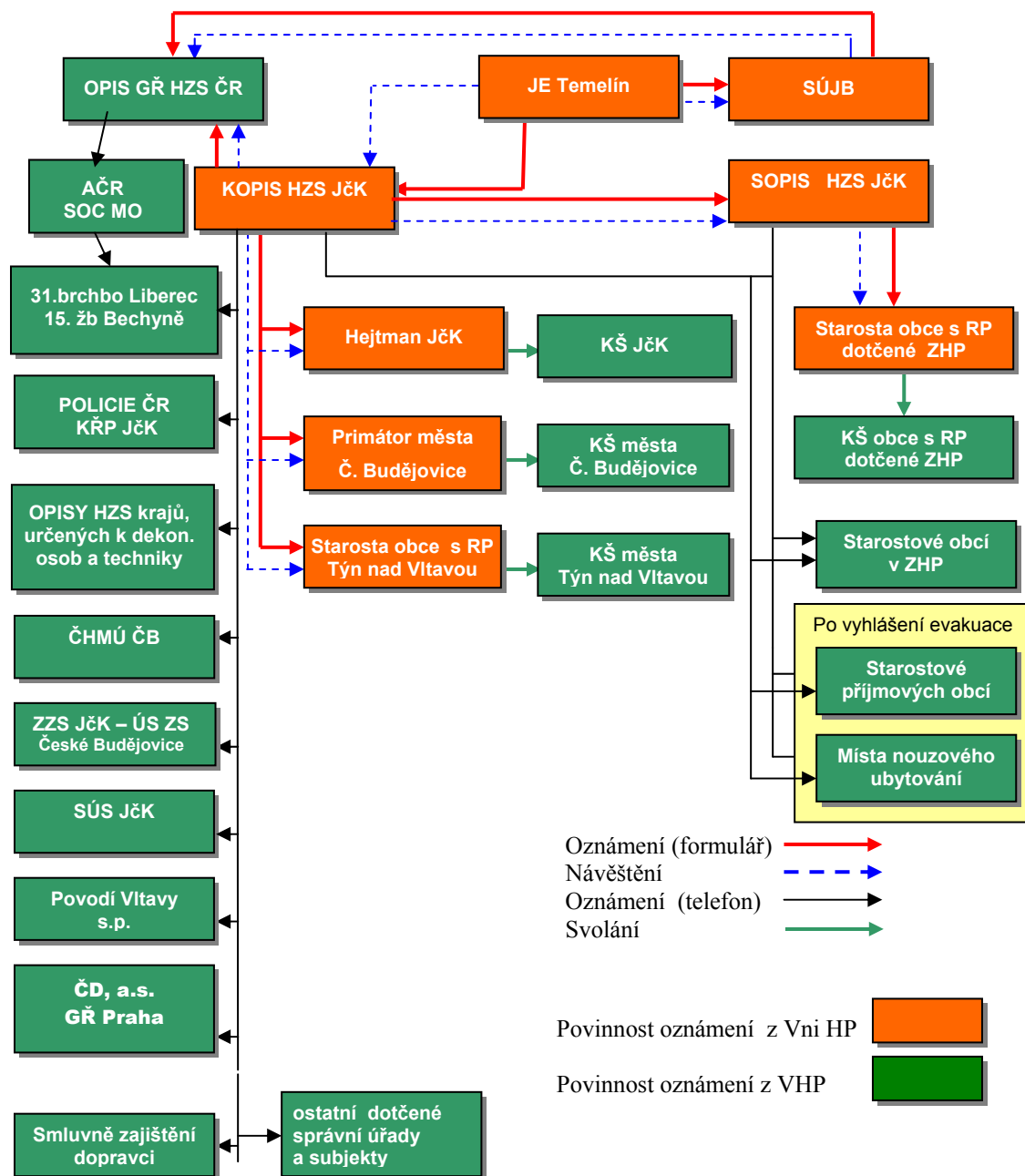
6.1.2 Havarijní připravenost

Jaké byly havarijní plány v Černobyli nelze v této práci hodnotit, můžeme však částečně zhodnotit připravenost na mimořádnou událost v případě JE Temelín. Jaderná elektrárna Temelín má například zpracovaný tzv. vnější havarijní plán. Je tedy předem známo, co se má podniknout, aby následky případné havárie pro okolí elektrárny byly co nejmenší.

Pokud vznikne v JE Temelín mimořádná událost 3. stupně, je povinna podle havarijního plánu (viz. Obr. 9) bezprostředně po jejím vzniku informovat SÚJB a zároveň krajské operační a informační středisko (KOPIS) HZS Jihočeského kraje, dále následuje předání informací HZS Jihočeského kraje na sektorové operační a informační středisko (SOPIS) HZS Jihočeského kraje a hejtmana Jihočeského kraje, primátora města České Budějovice a starostu obce s rozšířenou působností Týn nad Vltavou. SOPIS HZS Jihočeského kraje mezitím bezprostředně informuje starostu obce s rozšířenou působností dotčené zónou havarijního plánování (ZHP).

Kompletní informační tok při vzniku mimořádné události znázorňuje Obr. 9 na následující straně.

Obr. 9: Schématické znázornění postupu při oznamování vzniku MU 3



Evakuační opatření

Součástí havarijní připravenosti je i příprava na možnou evakuaci obyvatelstva. Pro případ radiální havárie JE Temelín je naplánována pro obyvatelstvo nacházející se:

- ve vnitřní části ZHP (5 km pásmo)
- ve vnější části ZHP (5-13 km pásmo) rozdělené na 16 sektorů.

V případě vzniku radiální havárie je rozsah evakuačních opatření (počet sektorů, správní území obcí), ze kterých bude provedena evakuace, stanoven v podkladu SÚJB k provedení evakuace. Evakuace se vztahuje na všechny osoby v místech ohrožených

mimořádnou událostí, kde byla evakuace nařízena s výjimkou osob, které se podílejí na záchranných pracích.

Provedení evakuace

Evakuace je prováděna zpravidla z celé vnitřní části ZHP, z vnější části ZHP se provádí pouze z určených sektorů v závislosti na směru šíření radioaktivních látek a s ohledem na výsledky monitorování radiační situace. Evakuace těchto sektorů je připravena v 16-ti variantách. Evakuují se zpravidla současně tři sousedící sektory.

Organizace evakuace

Evakuaci nařizuje a zabezpečuje velitel zásahu na základě doporučení o provedení evakuace vydaného SÚJB. Starosta evakuované obce organizuje evakuaci na správním území obce ve spolupráci s HZS Jihočeského kraje, který organizuje provedení evakuace obyvatelstva ze ZHP do míst náhradního ubytování. Hejtman Jihočeského kraje koordinuje evakuaci v rámci strategické koordinace záchranných a likvidačních prací.

Evakuace se provádí s ohledem na charakter osídlení, infrastrukturu a časovou proveditelnost opatření, zejména:

- v předúnikové nebo poúnikové fázi radiační havárie
- v případě přítomnosti specifických skupin obyvatel
 - děti do 15 let,
 - pacienti ve zdravotnických zařízeních
 - osoby umístěné v sociálních zařízeních
 - osoby zdravotně postižené
 - doprovod osob uvedených v bodech 1 až 4
- dopravní situaci
- vysokou hustotu obyvatel
- existenci velké sídelní jednotky
- denní a noční dobu
- jiné specifické podmínky a situace

Časový průběh evakuace

Na základě dostupných informací je předpokládána doba evakuace, která je daná souhrnem přípravy a provedení evakuace od rozhodnutí o evakuaci do doby přijetí evakuovaných osob v místech ubytování, v rozmezí 6-12 hodin bez provedené dekontaminace a 12-24 hodin s jejím provedením.

Jódová profylaxe

Na rozdíl od situace při havárii v JE Černobyl a zejména JE TMI-2, jsou na všech místech v ochranném pásmu v JE Temelín, kde se vyskytují lidé, k dispozici tablety jodidu draselného, které slouží jako prevence proti kumulaci radioaktivního jódu v těle. Tablety jsou tedy k dispozici v domácnostech, školách, na pracovištích, nemocnicích, rekreačních zařízeních, hotelech, kempech atd.. Je zajištěno, aby byly dosažitelné v případě potřeby. Nemůže tak dojít, podobně jako při výše uvedených haváriích, k prodlevě při podání této preventivní ochrany.

7 JADERNÉ ENERGETIKY A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ⁴⁵

Jaderná energetika má pozitivní i negativní vlivy. Pozitivní vlivy jsou spojeny se zvýšeným počtem pracovních příležitostí v dané lokalitě, s vybudováním nové infrastruktury (silnice, železnice, vodovodní a kanalizační síť atd.) Negativní vlivy, zejména na životní prostředí, vznikají jak za normálního provozu, tak při eventuálních haváriích. Proto v této kapitole stručně rozebereme některé negativní vlivy.

Těžba a úprava uranových rud

Podobně jako těžba uhlí i těžba uranových rud vede k devastaci krajiny, záleží však na vytěženém objemu, potřebného k zajištění provozu elektrárny. U jaderné energetiky se jedná o objem asi 50x menší než u uhelné energetiky, proto i devastace krajiny je nesrovnatelně menší. Avšak na skládkách zůstává část radioaktivity obsažené ve vytěžené rudě, která klesá velmi pomalu. Proto je nutné skládky dlouhodobě stabilizovat proti větrné či vodní erozi a znemožnit použití odpadu jako stavebního materiálu pro lidská obydlí.

Výroba paliva a palivových článků

Hlavní rizika při výrobě paliva a palivových článků jsou dvě. První spočívá v toxicitě látek, se kterými se manipuluje (např. fluoridy uranu, plutonium). Bezpečné postupy manipulace jsou však již zvládnuty. Druhým rizikem je možnost dosažení nadkritické hmotnosti, a proto musí být vždy zajištěno, aby zpracovávané množství materiálů, v jakémkoli kroku výroby, bylo podkritické. Znamená to tedy, že řetězová reakce se nemůže samovolně spustit.

Přepřerování ozářeného paliva

Fáze přepřerování ozářeného paliva a ukládání příslušných odpadů ještě není definitivně vyřešeno, a tím pádem tento jev může vést ke zpomalení tempa rozvoje jaderné energetiky. Ve většině zemích, které rozvíjejí jadernou energetiku, není rozhodnuto, jak bude nakládáno s vyhořelým palivem. V závodě na zpracování ozářených paliv se ozářené palivové články chemicky rozpouštějí, a tím se uvolňují radioaktivní látky v nich uzavřené. Tyto vysoce radioaktivní odpady se dále zpracovávají s cílem jejich fixace do pevné, zpravidla skelné matrice (nitrifikace).

⁴⁵ Prof. Ing. KLIK F., Ing. DALIBA J., *Jaderná energetika*, Vydavatelství ČVUT, 1995, s. 178-180

Některé z nich jsou obtížně zachytitelné a vypouštějí se do biosféry. Proto také závody na přepracování ozářených paliv mají největší podíl na radioaktivním znečišťování životního prostředí.

Ukládání vysoce aktivních odpadů⁴⁶

Když je radioaktivní odpad zpracován v tuhé formě, ukládá se do kontejnerů z nerezavějící oceli a tyto se skladují ve vodních bazénech, dokud se neuvolní většina energie. Poslední fází je trvalé uložení odpadu do hlubinných geologických formací (staré solné a jiné doly apod.) tak, aby po dobu tisíciletí, nemohly proniknout do životního prostředí. Otázka konečné likvidace těchto odpadů není dosud uspokojivě vyřešena, avšak podle specialistů pracujících v této oblasti, jsou pro její zvládnutí vytvořeny všechny předpoklady.

Transport ozářených paliv a radioaktivních odpadů⁴⁶

Přeprava vyhořelého paliva a radioaktivních odpadů se někdy uskutečňuje i přes území několika států, řídí se přísnými mezinárodními předpisy. Vyhořelé palivové články se transportují ve speciálních přepravních kontejnerech, které zajišťují jejich dostatečné chlazení i stínění během přepravy. Po souši se dopravují nejčastěji po železnici na speciálních vagónech, nebo po silnici na speciálních podvozcích. Riziko představují dopravní havárie spojené s poškozením kontejneru, při níž by mohlo dojít k úniku radioaktivity do životního prostředí. Takovou možnost lze omezit vhodným projektem přepravního kontejneru, jenž musí bez porušení projít přísnými bezpečnostními zkouškami.

⁴⁶ Prof. Ing. KLIK F., Ing. DALIBA J., *Jaderná energetika*, Vydavatelství ČVUT, 1995, s. 179

8 OCHRANA OBYVATELSTVA V ČR

Cílem této kapitoly je vytvořit základní přehled o ochraně obyvatelstva v ČR se zaměřením na oblast jaderné energetiky. Kapitola shrnuje teoretickou základnu opatření ochrany obyvatelstva pro řešení podobných situací, které nastaly při událostech na jaderných elektrárnách popsanych v předchozích kapitolách. Tato kapitola má tak na ně přímou návaznost a je rozdělena do dvou částí. První částí je obecný stručný úvod do výše uvedené problematiky. Druhá část shrne základní opatření a konkrétní nástroje k zajištění cílů ochrany obyvatelstva a životního prostředí v souvislosti s provozem jaderných zařízení.

8.1 Úvod do ochrany obyvatelstva

Ochrana obyvatelstva je komplexní soubor opatření, která jsou použita při mimořádných událostech a krizových situacích, s cílem v co největší míře ochránit lidské životy, zvířata, kulturní hodnoty, životní prostředí apod.. V legislativě České republiky je tematika ochrany obyvatelstva upravena zákonem č.239/2000 Sb. o Integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů. Vyhláška ministerstva vnitra č. 380/2002 Sb. obsahuje přípravu a provádění úkolů k ochraně obyvatelstva. Ve vyhlášce jsou rozpracovány úkoly v oblasti informování obyvatelstva, evakuace, varování, ukrytí a zřizování zařízení civilní ochrany.

Výše uvedená opatření jsou uskutečňována složkami Integrovaného záchranného systému, především Hasičským záchranným sborem ČR. Tento systém je základem pro koordinování činností a postupů jeho jednotlivých složek při přípravě na mimořádné události, při záchranných pracích, při ochraně obyvatelstva, během vyhlášení stavu nebezpečí, nouzového stavu, stavu ohrožení státu atd. Nutným předpokladem pro efektivní realizaci opatření ochrany obyvatelstva je jejich zapracování do havarijních a krizových plánů a do plánů obrany. Odpovědnost za jejich provádění je pak rozdělena nejen na orgány státní správy a samosprávy, ale i na právnické, podnikající fyzické a fyzické osoby. To v praxi znamená, že se tato odpovědnost týká celé společnosti.⁴⁷

⁴⁷ KRATOCHVÍLOVÁ D., *Ochrana obyvatelstva*. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava, 2005, s. 3.

Protože se tato bakalářská práce zabývá oblastí jaderné energie, budou v další podkapitole uvedeny základní obecné součásti ochrany obyvatelstva, mající k této oblasti přímý vztah.

8.2 Opatření k ochraně obyvatelstva

Obecně lze jakákoli opatření proti mimořádným událostem, krizovým situacím, haváriím, chybovým situacím apod. rozdělit podle různých kritérií. S ohledem na jadernou oblast, kterou se tato práce zabývá, můžeme výše uvedená opatření rozdělit podle jejich realizátora na **vnější**, tj. opatření, která jsou realizována především pomocí Integrovaného záchranného systému a **vnitřní**, tj. opatření, realizovaná uvnitř právního subjektu (např. jaderná elektrárna). Oba tyto typy opatření můžeme dále rozdělit podle doby jejich působení na opatření **prevence (preventivní opatření)**, tj. opatření, sloužící k předcházení a odvracení následků výše uvedených událostí a dále na opatření **reakce (reakční opatření)**, tj. opatření, která reagují na výše uvedené události, pokud k nim dojde.

8.3 Vnější opatření

8.3.1 Preventivní opatření

Mezi tato opatření patří například:

- Havarijní a krizové plánování orgánů veřejné správy
- Kontrolní činnost státními dozorovacími orgány

Havarijní a krizové plánování orgánů veřejné správy

Havarijní plán je souhrn opatření k provádění záchranných a likvidačních prací k odvracení nebo omezení bezprostředního působení ohrožení vzniklých mimořádnou událostí a k odstranění následků způsobených mimořádnou událostí.

Havarijní plán kraje je základním dokumentem pro řešení mimořádných událostí v případě živelních pohrom, antropogenních havárií nebo jiných nebezpečí, která ohrožují životy, zdraví, značné majetkové hodnoty nebo životní prostředí. Je určen k plánování a řízení postupu Integrovaného záchranného systému a je závazným

dokumentem pro všechny obce, správní úřady, fyzické i právnické osoby nacházející se na území Jihočeského kraje.⁴⁸

Havarijní plán Jihočeského kraje byl zpracován na základě zákona 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, § 10, odst. 2), písmeno d), v rozsahu ustanovení § 25 vyhlášky Ministerstva vnitra č.328/2001 Sb. o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému. Obsah havarijního plánu kraje je stanoven v příloze č. 1 k citované vyhlášce⁴⁸.

Samozřejmě i tak komplexní zařízení, jako jsou ta jaderná, mají své havarijní plány. Dají se rozdělit na vnější a vnitřní. Např. JE Temelín má pro případ vzniku radiační havárie v tzv. zóně havarijního plánování ve vnějším havarijním plánu naplánovány úkoly a opatření k likvidaci radiační havárie a k omezení jejich následků, zaměřené na ochranu obyvatelstva a životního prostředí. Opatření stanovená ve vnějším havarijním plánu navazují na vnitřní havarijní plán JE Temelín a vzájemné vazby obou plánů havarijní připravenosti jsou projednány držitelem povolení k provozu jaderného zařízení s Krajským úřadem Jihočeského kraje a s dotčenými obecními úřady obcí s rozšířenou působností za účasti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB)⁴⁸. O tomto úřadě bude další odstavec.

Kontrolní činnost státními dozorovacími orgány

Státní úřad pro jadernou bezpečnost je ústředním orgánem státní správy ve smyslu zákona č. 2/1969 Sb. (úplné znění z č. 122/1997 Sb - §2). V jeho čele stojí předseda, který je jmenován vládou ČR. Úřad má samostatný rozpočet a je přímo podřízen vládě ČR⁴⁹. Z řady úkolů tohoto úřadu je možno zmínit zejména⁵⁰:

- vykonává státní dozor nad jadernou bezpečností, jadernými položkami, fyzickou ochranou, radiační ochranou, havarijní připraveností a technickou bezpečností vybraných zařízení a kontroluje dodržování povinností podle tohoto zákona.

⁴⁸ *Havarijní plán Jihočeského kraje*. [online]. 2009 [cit. 2010-01-14].

Dostupný z WWW: <[http://www.hzscb.cz/index.php?&kat\[\]=2&id_kat=183&id_h=7&id_m=0](http://www.hzscb.cz/index.php?&kat[]=2&id_kat=183&id_h=7&id_m=0)>

⁴⁹ *O Státním úřadu pro jadernou bezpečnost. Úvod*. [online]. 2000 [cit. 2010-01-14].

Dostupný z WWW: <http://www.sujb.cz/?c_id=116>

⁵⁰ *Zákon č. 18/1997 Sb. ze dne 24. ledna 1997 („Atomový zákon“), §3*. [online]. 2003 [cit. 2010-01-14].

Dostupný z WWW: <http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?number1=18%2F1997&number2=&name=&text=>>

- schvaluje dokumentaci, programy, seznamy, limity, podmínky, způsob zajištění fyzické ochrany, havarijní řády, a po projednání vazeb na vnější havarijní plán s příslušným krajským úřadem a dotčenými obecními úřady obcí s rozšířenou působností, vnitřní havarijní plány a jejich změny.
- ustavuje státní a odborné zkušební komise pro ověřování zvláštní odborné způsobilosti vybraných pracovníků nebo jiných fyzických osob a vydává statut těchto komisí a stanovuje činnosti mající bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany.
- zajišťuje pomocí celostátní radiační monitorovací sítě a na základě hodnocení radiační situace podklady pro rozhodování o opatřeních vedoucích ke snížení nebo odvrácení ozáření v případě radiační havárie.
- stanovuje technické požadavky k zajištění technické bezpečnosti vybraných zařízení.

8.3.2 Reakční opatření⁵¹

V logickém sledu můžeme obecně uvést tato vybraná **reakční opatření** ochrany obyvatelstva a životního prostředí:

- Varování a vyrozumění
- Ukrytí obyvatelstva
- Individuální ochrana
- Evakuace
- Jódová profylaxe
- Dekontaminace

Varování a vyrozumění

Na území ČR jsou zdrojem rizika vodní toky a díla, síť silnic a železnic, produktovody a chemické či jaderné provozy. Riziko umocňují nepříznivé klimatické jevy. Nelze také vyloučit vznik ozbrojených konfliktů a teroristických útoků.

⁵¹ KRATOCHVÍLOVÁ D., *Ochrana obyvatelstva*. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava, 2005, s. 11-17, s. 68, s. 28, s. 87-94

Základním a jedním z nejdůležitějších opatření realizované v oblasti minimalizace následků mimořádné události a krizových situací je včasné varování a vyrozumění, zároveň je jednou ze základních podmínek úspěšné realizace opatření na ochranu obyvatelstva a zahájení komunikace orgánů krizového řízení s obyvatelstvem v ohrožení. Pro zabezpečení varování a vyrozumění je na území ČR budován a provozován jednotný systém varování a vyrozumění. Odpovědnost za jeho technické, provozní a organizační zabezpečení má podle zákona č.239/2000 Sb. MV – HZS ČR.

Ukrytí obyvatelstva

Ukrytí obyvatelstva je jedním z neodkladných ochranných opatření obyvatelstva k omezení negativních dopadů ionizujícího záření a působení radioaktivních látek. Pokyn k ukrytí je vydáván prostřednictvím varovných relací ihned po varování obyvatelstva akustickým signálem.

K ochraně obyvatelstva ukrytím se využívá přirozených ochranných/stínících vlastností staveb, tj. domů, bytů, administrativních a společenských budov, s provedením úprav proti pronikání radioaktivních látek okny, dveřmi či jinými otvory. Je možné využít stálých úkrytů tam, kde jsou k dispozici (např. ve školách, na pracovištích apod.). Ukrytí velmi výrazně snižuje (2-10x) zevní i vnitřní ozáření osob z radioaktivního mraku v závislosti na charakteru stavby (materiálu a tloušťky stěn, počtu oken a dveří).

Individuální ochrana

Prostředky individuální ochrany jsou technické prostředky, které při včasné a dovedné používání zabezpečují spolehlivou ochranu před zasažením nebezpečnými látkami, které se rozdělují podle určení takto:

- prostředky k ochraně dýchacích orgánů, které mohou být:
 - a) filtračního typu (ochranné masky),
 - b) izolačního typu (izolační dýchací přístroje)

- prostředky ochrany povrchu těla, které se dělí na:
 - a) filtračního typu (filtrační oděv)
 - b) izolačního typu (izolační ochranný oděv)

Evakuace

Evakuace, jako jeden ze základních způsobů ochrany obyvatelstva, je souhrnem opatření zabezpečujících přemístění (odsun) osob, hospodářského zvířectva a věcných prostředků v daném pořadí priority z ohroženého prostoru na jiné území. Je to mimořádné opatření, používané v případech, kdy již nelze účinnou ochranu obyvatelstva zabezpečit jiným způsobem.

Jódová profylaxe

Jódová profylaxe je dalším neodkladným opatřením, kterým se provádí ochrana obyvatelstva za účelem omezení účinků záření při mimořádné události. Úkolem jódové profylaxe je zabránit přijetí radioaktivního jódu organismem. Do těla se může dostat vdechnutím, požitím kontaminovaných potravin či vody. Princip jódové profylaxe je takový, že požitím stanoveného množství tablet jodidu draselného (viz. tabulka č.3), se štítná žláza plně nasytí neradioaktivním jodem, a tím zabrání přijímání radioaktivního jódu do štítné žlázy a následnému poškození zdraví. Jódová profylaxe se provádí u všech osob včetně dětí, těhotných a kojících matek. Jodid draselný nemá žádné vedlejší účinky.

Tab. 3: Předepsané dávkování jodidu draselného:

Věková skupina obyvatel	Množství jodidu draselného			
	váha	1. dávka	2. dávka	3. dávka
Novorozenci do 1 měsíce	16 mg	¼ tablety	nepodává se	nepodává se
Kojenci a děti do 3 let	32 mg	½ tablety	¼ tablety	nepodává se
Děti do 12 let věku	65 mg	1 tableta	½ tablety	1 tableta
Děti nad 12 let věku	130 mg	2 tablety	1 tableta	1 tableta
Dospělé osoby	130 mg	2 tablety	1 tableta	1 tableta
Kojící matky a těhotné ženy	130 mg	2 tablety	1 tableta	nepodává se

V okolí jaderných elektráren jsou dávky jódových tablet distribuovány a uloženy v domácnostech, školách, na pracovištích, nemocnicích, rekreačních zařízeních, hotelech, kempech atd. Jódové tablety jsou skladovány tak, aby byla zajištěna jejich dostupnost v případě potřeby.

Dekontaminace

Dekontaminace z obecného pohledu je soubor metod, prostředků a postupů k účinnému odstranění kontaminantů z příslušného povrchu nebo prostředí, případně snížení jejich škodlivých účinků na nějakou, předem stanovenou, bezpečnostní úroveň. Nutnost dekontaminace je dána i tím, že pokud není kontaminant odstraněn, působí jak na kontaminovaný povrch, tak i na jeho bezprostřední okolí. Pojmu dekontaminace odpovídá termín speciální očista.

Z hlediska radioaktivních látek jsou nejdůležitějšími zdroji jaderná energetická zařízení, zejména jaderné reaktory, závody na zpracování využitého jaderného paliva, závody na výrobu jaderných paliv, uranové doly, sklady radioaktivních obalů, pracoviště a laboratoře s otevřenými (neizolovanými) zářiči.

Uvedené zdroje radioaktivní kontaminace produkují následující skupiny kontaminantů:

- štěpné produkty
- indukovanou radioaktivitu
- jaderná paliva
- cisuranové prvky

Dekontaminace je významné opatření aktivní ochrany proti únikům nebezpečných látek při provozních haváriích. Dekontaminace, odstraňování radioaktivních látek, se nazývá **dezaktivací**.

Dezaktivace se podle rozsahu použitých prostředků, dělí na:

- částečnou (většinou improvizovaná, po vyjití ze, nebo i v zamořeném prostoru)
- úplnou (mimo zamořený prostor na určeném místě, speciálními prostředky)

Dezaktivací postupy se pak dělí podle použití, resp. nepoužití kapalin na:

- suché (ometání, kartáčování, ofuk, vysávání, odstraněním povrchové vrstvy atd.)
- mokré (smývání, praní, ultrazvukem v kapalině, smývání rozpouštědly atd.)

8.4 Vnitřní opatření⁵²

8.4.1 Preventivní opatření

V případě jaderných zařízení můžeme preventivní opatření proti mimořádným, havarijním událostem, která vlastně v konečném důsledku zajišťují ochranu okolí zařízení a tím i ochranu obyvatelstva, rozdělit na:

- systémově-organizační
- technická

Preventivní systémově-organizační opatření

Prevence havárií patří mezi nejúčinnější a zároveň i mezi nejméně nákladná opatření k zajištění bezpečného provozu jaderných zařízení a ochrany obyvatelstva. Systémově-organizační opatření mají své místo již v samotné projektové fázi, kde je důležitá hluboká znalost probíhajících procesů, která se pak musí projevit nejen v samotné konstrukci reaktoru, ale odráží se i v kvalitě a efektivnosti provozních předpisů. Důležitá je i násobnost a nezávislost důležitých bezpečnostních systémů.

Vzhledem k vlivu lidského faktoru, který se v minulosti již na jaderných haváriích podílel, jsou klíčové i personální otázky – opatřením pak je pečlivý a náročný výběr a odborné vyškolení provozního personálu. Stejně důležitá je i jeho pracovní morálka. Aby pak mohl tento personál efektivně a bezpečně procesy kontrolovat, je nutné, aby měl neustále k dispozici veškeré a aktuální informace - dalším preventivním opatřením je tedy soustavná informovanost o probíhajících procesech.

Preventivní technická opatření

Jak už z názvu odstavce vyplývá, tato opatření umožňují předejít havárii předběžným nastavením podmínek procesů, nebo aktivním preventivním zásahem do procesů, které v jaderném energetickém zařízení probíhají. Tento zásah se většinou děje automatizovaně, nezávisle na obsluze, na základě nezávisle sledovaných parametrů. Z těchto opatření jde v případě klasické jaderné elektrárny především o:

- prevenci nekontrolovatelného rozvoje štěpné reakce – navržení poměrů v aktivní zóně reaktoru tak, aby při růstu výkonu reaktoru docházelo k potlačování rozvoje štěpné reakce – tzv. **záporná zpětná vazba**.

⁵² Prof. Ing. KLIK F., Ing. DALIBA J., *Jaderná energetika*, Vydavatelství ČVUT, 1995, s. 162-165

- Systém preventivního odstavení reaktoru – odstaví reaktor v případě, že dojde k odklonu sledovaných provozních parametrů od nastavených bezpečných hodnot, nebo při selhání důležitých agregátů jaderného zařízení.

8.4.2 *Reakční opatření*

Vnitřní nápravná opatření jsou realizována prakticky pouze aktivními technickými prostředky.

Reakční technická opatření

Pokud již k nějakému stupni havárie dojde, zasahují reakční technická opatření. Úkolem aktivní část z nich je zajistit „základní životní funkce“ jaderného zařízení a předejít jeho poškození, které by mohlo způsobit únik nebezpečných látek. Úkolem pasivní části opatření je znemožnit, popřípadě potlačit a omezit a kontrolovat únik nebezpečných látek do okolí.

Aktivní reakční opatření jsou zejména:

- Havarijní elektrické napájení – je realizováno dieselaagregátovou stanicí, která se aktivuje po vypadnutí vlastního napájení elektrárny. Zajišťuje provoz aktivních ochranných systémů a dalších důležitých systémů.
- Havarijní chlazení aktivní zóny – zajišťuje doplňování chladící vody reaktoru při malých netěsnostech chladícího okruhu, ale i cirkulaci nouzového oběhu chladící vody v reaktoru při velkých netěsnostech.
- Havarijní napájení parního generátoru vodou – zajišťuje napájení parního generátoru vodou při výpadku čerpadel – zajišťuje odvod tepla z reaktoru (resp. z chladící vody reaktoru)

Pasivním reakčním opatřením k zajištění ochrany okolí je uzavření celého reaktoru a jeho systémů do hermetických prostorů. Může jít o systém hermetických boxů, nebo, což je nejčastější řešení, o umístění reaktoru do celé hermetické budovy, tzv. kontejmentu. Toto řešení je jednodušší a účinnější. Navíc umožňuje nejen ochranu okolí před únikem nebezpečných látek, ale i jaderného zařízení před ohrožením zvenčí. Uniklé radioaktivní látky do kontejmentu mohou být odsávány a kontrolovaně vypouštěny ventilačním komínem.

9 ZÁVĚR

V předchozích kapitolách byly analyzovány jedny z největších havárií na jaderných elektrárnách v historii jaderné energetiky. Obě se staly přibližně ve stejném časovém období, ve zlatém věku jaderné energetiky a v historii tohoto oboru tvoří významný přelom. Obě události přitáhly pozornost veřejnosti a zdůraznily otázku jaderné bezpečnosti ve vztahu nejen k bezprostřednímu okolí elektrárny, ale na celou společnost, která se stala na otázky jaderné bezpečnosti vysoce citlivou.

Obě havárie vykazují velmi podobné znaky, i když jejich dopady byly diametrálně odlišné. Podobnost v technickém směru je malá, daná odlišnou konstrukcí reaktoru. Po technické stránce jsou si havárie podobné tím, že konstrukce reaktorů, resp. systémů primárního okruhu, vykazovala dlouhodobé nedostatky, které nebyly řešeny, a v tom je právě největší podobnost obou havárií. Jejich vznik byl samozřejmě podmíněn technickým selháním, ale to bylo spuštěno komplexním selháním lidského faktoru. Komplexním proto, že postihovalo řadu úrovní managementu, od řadových operátorů až po ministerstva, a de facto bylo selháním celého systému tvorby jaderných zařízení, od konstrukce reaktoru až po státní kontrolní orgány. Ačkoli byly v obou případech technické problémy, které vedly k havárii, známy roky dopředu, až do okamžiku nehody se nečinila žádná účinná opatření, aby se nehodám předešlo.

Co je rovněž zajímavé, je také podobné selhání v reakcích na havárie. Šlo o váhavý přístup k evakuaci, příp. její neorganizovanost, která neměla nic společného s plánováním. V případě JE Černobyl mělo toto zaváhání tragický dopad na obyvatelstvo, které bylo zcela zbytečně vystaveno dávkám radioaktivity. Oba případy ukázaly naprostou nepřipravenost příslušných orgánů a činitelů na havárii podobného charakteru. To se odrazilo např. v rychlosti podání jódové profylaxe obyvatelům, která podstatně zvyšuje šance na neonemocnění v důsledku ozáření. Zpoždění v případě TMI dosáhlo neuvěřitelných čtyř dnů od nehody.

Na základě rozboru v kapitole 6., lze zhruba odhadnout, jak by se vyvíjela situace, ke které došlo v JE Černobyl v případě JE Temelín. V první řadě by zafungovala prevence, která je představována samotnou provozní charakteristikou reaktoru. Reaktor v Temelíně postrádá zásadní nedostatek reaktoru RBMK, který zapříčinil konečný růst jeho výkonu do nezvladatelných mezí. Je jím kladná výkonová zpětná vazba. Tento klíčový okamžik nehody v JE Černobyl by tedy v JE Temelín z objektivních důvodů

nemohl nastat – nedošlo by tedy ani k destrukci reaktoru. Když pomineme tento fakt, můžeme předpokládat, že i kdyby k určité nehodě došlo, byla by na základě havarijní připravenosti elektrárny a všech složek IZS úspěšně zvládnuta, podstatně rychleji. To se týká i obyvatelstva v okolí elektrárny, které je na takovou událost připraveno minimálně, co se týká jódové profylaxe, která je všeobecně k dispozici a není nutné ji distribuovat dodatečně.

Vzhledem k výše uvedenému jsou obě nehody pro jadernou bezpečnost nesmírně přínosné, protože až teprve po nich se jí začala dodávat patřičná váha a byla zavedena řada technických, organizačních a systémových opatření, které úroveň a vnímání bezpečnosti jaderné energetiky podstatně zvedly. Přístup k otázkám jaderné bezpečnosti v energetice byl zcela změněn a celosvětově dosáhl nových kvalit.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Literární zdroje

1. A. V. ILLEŠ A A. E. PRALNIKOV, *Reportáž z Černobylu*, Ústav jaderných informací, Praha 1989, 112 s., ISBN 80-7073-006-4
2. ČESKOSLOVENSKÁ KOMISE PRO ATOMOVOU ENERGII, *Havárie v Černobylské jaderné elektrárně – Ústřední informační středisko pro jaderný program*, Praha 1986, 53 s.,
3. JIM T. SMITH AND NICHOLAS A. BERESFORD, *Chernobyl – Catastrophe and Consequences* – Springer and Praxis Publishing, Chichester UK 2005, 307 s., ISBN 3-540-23866-2
4. Prof. Ing. FRANTIŠEK KLIK, CSc. A Ing. JAROSLAV DALIBA – *Jaderná energetika, České vysoké učení technické*, Praha 1998, 189 s., ISBN 80-01-01280-8
5. ING. DANUŠE KRATOCHVÍLOVÁ, *Ochrana obyvatelstva, sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství*, Ostrava 2005, 140 s., ISBN 80-86634-70-1
6. Г. У. МЕДВЕДЕВ, *Чернобыльская тетрадь*, Книжная палата, 1990, 413 s., ISBN 5-7000-0223-X
7. А. С. ДЯТЛОВ, *Чернобыль, Как это было*, Научтехлитиздат, Москва 2000, 108 s.
8. PRESIDENT'S COMMISSION REPORT, *The nuclear accident at Three Mile Island*, 1979

Elektronické zdroje

1. *World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements*. [online]. 2010 [cit. 2010-01-31]. Dostupný z WWW: <http://www.world-nuclear.org/info/reactors.html>
2. *Současnost, situace jaderné energetiky v Česku*. [online]. 2010 [cit. 2010-01-31]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1_energetika
3. *Zákon č. 18/1997 Sb. ze dne 24. ledna 1997 („Atomový zákon“), §3*. [online]. 2003 [cit. 2010-01-14]. Dostupný z WWW: http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?number1=18%2F1997&number2=&name=&text=>
4. *MAAE - Mezinárodní agentura pro atomovou energii, Poslání MAAE*. [online]. 2010 [cit. 2010-01-31]. Dostupný z WWW: http://www.mzv.cz/mission.vienna/cz/organizace_v_pusobnosti_mise/ostatni_mezinarodni_organizace/mezinarodni_agentura_pro_atomovou/index.html

5. *Havarijní plán Jihočeského kraje*. [online]. 2009 [cit. 2010-01-14]. Dostupný z WWW: <[http://www.hzscb.cz/index.php?&kat\[\]=2&id_kat=183&id_h=7&id_m=0](http://www.hzscb.cz/index.php?&kat[]=2&id_kat=183&id_h=7&id_m=0)>
6. *Mezinárodní stupnice hodnocení jaderných událostí (INES)*. [online]. 2010 [cit. 2010-01-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.news.iaea.org/news/whatsnew/ines.pdf>>
7. *Příklady událostí*. [online]. 2010 [cit. 2010-01-31]. Dostupný z WWW: < http://www.sujb.cz/?c_id=282>
8. *Elektrárna po havárii*. [online]. 2010 [cit. 2010-02-06]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cernobylsk%C3%A1hav%C3%A1rie#Elektr.C3.A1rna_po_hav.C3.A1rii
9. *The continental scale of the Chernobyl accident*. [online]. 2010 [cit. 2010-02-16]. Dostupný z WWW:<<http://maps.grida.no/go/graphic/the-continental-scale-of-the-chernobyl-accident>>
10. АНАТОЛИЙ СТЕПАНОВИЧ ДЯТЛОВ. *Чернобыль. Как это было*. [online]. 2010 [cit. 2010-04-01]. Dostupný z WWW: <http://atomas.ru/isp/shernobl/>
11. INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP. *The Chernobyl accident: updating of INSAG-1: INSAG-7*, International Atomic Energy Agency, 1992, s. 6
12. WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, *Three Mile Island accident* [online]. 2010 [cit. 2010-04-17]. Dostupný z WWW: < <http://www.world-nuclear.org/info/inf36.html>>
13. E.O.TALBOTT, *Mortality among the Residents of the Three Mile Island Accident Area:1979-1992*, Environmental health perspectives, Volume 108, Number 6, 2000, s.545
14. PRESIDENT'S COMMISSION REPORT, *The nuclear accident at Three Mile Island* [online]. 2010 [cit. 2010-04-15]. Dostupný z WWW: < <http://www.pddoc.com/tmi2/kemeny/>>
15. P.L. CANTELON, R.C. WILIAMS, *Crisis Contained, The Department of Energy at Three Mile Island*, Southern Illinois University Press, 1982, s. 50

SEZNAM ZKRATEK

Zkratka	Popis
AZ-5	tlačítko havarijního odstavení reaktoru
ČR	Česká republika
HSZ ČR	Hasičský záchranný sbor České republiky
IAEA	International Atomic Energy Agency
INES	International Nuclear Events Scale
INSAG	International Nuclear Safety Advisory Group
INSAG-7	7. expertní zpráva International Nuclear Safety Advisory Group
JE	jaderná elektrárna
kBq/km ²	kilo becquerel na kilometr čtvereční
MAAE	Mezinárodní agentura pro atomovou energii
manSv	man sievert - jednotka kolektivní radioaktivní dávky
mSv	milisievert – jednotka radioaktivní dávky
MW	megawatt
MWe	megawatt elektrického výkonu
MWt	megawatt tepelného výkonu
NPT	Non-Proliferation of Nuclear Weapons Treaty
NRC	Nuclear regulatory commission
OSN	Organizace spojených národů
RBMK	Reaktor Bolšoj Moščnosti Kanalnyj
RVHP	Rada vzájemné hospodářské pomoci
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
Sv	sievert – jednotka radioaktivní dávky
TBq	tera Becquerel
TMI-1	první blok jaderné elektrárny Three Mile Island
TMI-2	druhý blok jaderné elektrárny Three Mile Island
TMIA	Three Mile Island Alert

ABSTRAKT

PRAŽÁKOVÁ, M. *Havárie jaderné elektrárny Černobyl z bezpečnostního hlediska : bakalářská práce.* České Budějovice : Vysoká škola evropských a regionálních studií, o. p. s., 2010. 66 s. Vedoucí bakalářské práce mjr. Mgr. Štěpán Kavan.

Klíčová slova: bezpečnostní selhání, Černobyl, černobylská havárie, jaderná bezpečnost, jaderná energetika.

Práce se zabývá problematikou bezpečnosti provozu jaderných energetických zařízení a jejich dopadu na okolní prostředí a společnost. Mapuje, shromažďuje a analyzuje dostupné údaje k největší radiační havárii v historii na komerční jaderné elektrárně Černobyl v bývalém Sovětském svazu. Popisuje dopady této havárie a na základě analýzy údajů z více nezávislých zdrojů stanovuje nejpravděpodobnější příčiny této havárie. Shrnuje bezpečnostní selhání, ke kterým během této havárie došlo. Porovnává ji s další havárií na jaderné elektrárně Three Mile Island v USA a činí z obou havárií závěr. Aplikuje analyzované příčiny havárie v Černobyli na modelovou situaci v jaderné elektrárně Temelín a porovnává tak obě jaderné elektrárny z bezpečnostního hlediska. V práci jsou uvedeny rovněž obecné dopady jaderné energetiky na životní prostředí. Závěrem je shrnuta teoretická základna opatření ochrany obyvatelstva pro řešení havárií na jaderných energetických zařízeních.

ABSTRACT

PRAŽÁKOVÁ, M. *Chernobyl nuclear power plant accident from the safety point of view : Bachelor thesis*. České Budějovice : The College of European and Regional Studies, o. p. s., 2010. 66 p. Supervisor: mjr. Mgr. Štěpán Kavan.

Key words: safety failure, Chernobyl, Chernobyl accident, nuclear safety, nuclear power engineering

The bachelor thesis deals with problems of the operation safety at the nuclear energy power facilities and their impacts on the environment. Surveys, collects and analyses available information about the biggest radiation accident in the history at the commercial nuclear power plant Chernobyl in former Soviet Union. Describes the impacts of this accident and on the basis of the analysis of the data from more independent sources determines the most probable causes of this accident. Resumes safety failures occurred during this accident. Compares the accident in Chernobyl with another accident at the nuclear power plant Three Mile Island in USA and makes conclusions from both. Applies analysed causes of the Chernobyl accident to the model situation at nuclear power plant Temelín and thus compares both power plants from the safety point of view. The thesis also contains overview of the general impacts of the nuclear power engineering on the environment. In the end of the thesis is summarized theoretical basis of the population protection measures for handling nuclear energy power facilities accidents.