
Vysoká škola evropských a regionálních studií, o. p. s.

České Budějovice

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**HAVÁRIE JADERNÝCH ELEKTRÁREN A JEJICH
BEZPEČNOST**

Autor práce: Milan Koblenc
Studijní obor: Bezpečnostně právní činnost ve veřejné správě
Forma studia: Prezenční studium
Vedoucí práce: plk. Mgr. Štěpán Kavan, Ph.D.
Katedra: Katedra právních oborů a bezpečnostních studií

2013

Autorská doložka

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně na základě vlastních zjištění a s použitím odborné literatury a materiálů uvedených v této práci.

Souhlasím, aby práce byla uložena v knihovně Vysoké školy evropských a regionálních studií v Českých Budějovicích a zpřístupněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění.

.....
autor

Poděkování

Rád bych poděkoval panu plk. Mgr. Štěpánu Kavanovi, Ph.D. za jeho odborné vedení bakalářské práce a podnětné připomínky. Dále bych chtěl poděkovat své přítelkyni Bc. Michaele Supové, která mě po celou dobu mého studia, i během zpracovávání této práce podporovala a pomáhala.

ABSTRAKT

KOBLINC, M. *Havárie jaderných elektráren a jejich bezpečnost: bakalářská práce.*

České Budějovice: Vysoká škola evropských a regionálních studií, o. p. s., 2012 60 s.

Vedoucí bakalářské práce: mjr. Mgr. Štěpán Kavan, Ph.D.

Klíčová slova: jaderná havárie, bezpečnostní opatření, Černobyl, Three Mile Island, Fukušima, Temelín, jaderná energetika.

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku bezpečnosti jaderných energetických zařízení. Zabývá se především zhodnocením bezpečnostních opatření v případě havárií jaderných elektráren z hlediska jejich vývoje, zhodnocením bezpečnostních opatření na základě zkušeností při předchozích haváriích. Mapuje a analyzuje dostupné údaje o největších jaderných haváriích ve světě v historii (Černobyl, Three Mile Island a Fukušima), snaží se o posouzení havárií jaderných elektráren z hlediska identifikace chybných postupů.

ABSTRACT

KOBLENC, M. *Accidents of nuclear power plants and their safety : Bachelor thesis.*
České Budějovice: The College of European and Regional Studies, o. p. s. 60 p.
Supervisor: mjr. Mgr. Štěpán Kavan, Ph.D.

Keywords: nuclear accidents, safety measures, Chernobyl, Three Mile Island, Fukushima, Temelin, nuclear engineering

The bachelor thesis is focused on the safety of nuclear power facilities. It mainly deals with the evaluation of the safety measures in case of accidents at nuclear power plants in terms of their development, the evaluation of security measures based on experience in previous disasters. Describes and analyzes the available data on the biggest nuclear disaster in world history (Chernobyl, Three Mile Island and Fukushima), tries to assess nuclear accidents in terms of identification of erroneous procedures.

Obsah

1	ÚVOD.....	8
2	CÍLE A METODIKA A BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	9
3	JADERNÁ ENERGETIKA.....	10
3.1	Historie jaderné energetiky	10
3.2	Aspekty rozvoje jaderné energetiky	10
3.3	Atom a jeho energie – podstata štěpné reakce	11
4	JADERNÉ ELEKTRÁRNY	13
4.1	Vývoj jaderných elektráren	13
4.2	Jaderný reaktor a palivo	14
4.2.1	Jaderné palivo.....	16
4.2.2	Obohacování uranu	16
5	JADERNÁ BEZPEČNOST	17
5.1	Jaderná bezpečnost a státní dozor – SÚJB	17
5.1.1	Působnost státního úřadu pro jadernou bezpečnost	18
5.1.2	Organizační uspořádání SÚJB	19
5.2	Legislativa spojená s dozorem nad jadernou bezpečností.....	19
5.3	Radioaktivita a ionizující záření.....	20
5.3.1	Účinky ionizujícího záření	21
5.3.2	Ochrana před ionizujícím zářením.....	22
5.4	Mimořádná událost.....	23
6	OCHRANA OBYVATELSTVA.....	24
6.1	Integrovaný záchranný systém	25
6.2	Zajištění ochrany obyvatelstva.....	26
6.2.1	Zajištění ochrany obyvatelstva za normálního, abnormálního provozu havarijních podmínek	26
6.2.2	Zajištění ochrany obyvatelstva v případě vzniku těžkých havárií na jaderné elektrárně.....	26
6.2.3	Ochranná opatření	28
7	HAVÁRIE JADERNÝCH ELEKTRÁREN	32
7.1	Černobyl	32
7.1.1	Obecná fakta.....	32
7.1.2	Popis a rozsah havárie v Černobyli	33

7.1.3	Příčiny havárie v Černobylu	34
7.1.4	Následky havárie v Černobylu	35
7.1.5	Užitek havárie v Černobylu	37
7.1.6	Bezpečnostní opatření při černobylské havárii	38
7.1.7	Jak ovlivnila černobylská havárie a její důsledky systémy havarijní připravenosti	40
7.2	Three Mile Island	42
7.2.1	Obecná fakta.....	42
7.2.2	Průběh a příčiny havárie v TMI	43
7.2.3	Následky havárie v TMI.....	45
7.3	Fukušima	46
7.3.1	Obecná fakta.....	46
7.3.2	Průběh a příčina havárie.....	46
7.3.3	Následky havárie	47
7.3.4	Závěrem.....	49
8	JADERNÁ ELEKTRÁRNA TEMELÍN	50
8.1	Historie elektrárny a technické parametry.....	50
8.2	Ochrana před vnějšími vlivy	51
8.3	Monitorování radiační situace	53
8.3.1	Bezpečnost jaderné elektrárny Temelín.....	53
9	ZÁVĚR	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	57

1 ÚVOD

Lidstvo s rostoucí populací potřebuje stále více energie. Jako nejvýhodnější cestou se jeví jaderná energetika, protože jaderné elektrárny mají na životní prostředí méně škodlivý vliv, než ostatní významné zdroje výroby elektřiny. Neprodukují totiž skleníkové plyny, jejich (radioaktivní) odpady a výpusti jsou zcela pod kontrolou, nespotřebovávají takové primární zdroje, které by šlo využít k něčemu jinému. Kromě toho na malé ploše dokáží poskytnout velký výkon.¹

Jaderná energetika vychází z převratných objevů energie vystupující z nitra hmoty již na počátku 20. století. A již v průběhu 2. světové války se lidstvo muselo potýkat s ničivou silou této energie v rámci použití jaderných zbraní v Hirošimě a Nagasaki. Atom se stal v minulém století fenoménem, jaderná energetika má svá nesporná pozitiva, stejně jako negativa. Ta spočívají především v historii proběhnuvších ničivých jaderných haváriích a jejich vlivu nejen na zdraví obyvatel, ale i na životní prostředí. V jaderných elektrárnách mohou nastat nestandardní situace, které se odlišují od normálu, mohou být způsobeny chybou lidského faktoru, jako tomu bylo při jaderné havárii v Černobylu, může se jednat o technickou závadu, anebo o škodlivé působení přírody, což dokazuje nedávná jaderná havárie ve Fukušimě, případně o kombinaci těchto faktorů. Přesto i v důsledku jaderných havárií můžeme nalézt pozitivní stránku a tou je vliv těchto havárií na bezpečnostní strategie a opatření v ochraně obyvatelstva.

Po jaderných haváriích se ve světě objevují dva zásadní problémy. První z nich je: jak do budoucna předejít haváriím jaderných elektráren a druhým problémem je otázka zajištění bezpečnosti jaderných elektráren. V bakalářské práci se budu zabývat zhodnocením bezpečnostních opatření v případě havárií jaderných elektráren z hlediska jejich vývoje a posouzením havárií jaderných elektráren z hlediska chybných postupů.

¹ Skupina ČEZ: Mýty a realita. SKUPINA ČEZ. www.cez.cz [online]. 2013 [cit. 2013-02-07]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/realita-a-myty-o-jaderne-energii.html>

2 CÍLE A METODIKA A BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tato bakalářská práce si klade za cíl analyzování havárií jaderných elektráren v Černobylu, v Three Mile Island a ve Fukušimě a jejich posouzení z hlediska bezpečnostních opatření a chybných postupů. Dílčím cílem bude charakteristika základních příčin a nedostatků, které k haváriím vedly s důrazem na řešení a předcházení obdobným chybám v současnosti.

Metodologický postup při řešení práce:

- Vyhledání odborných literárních pramenů;
- Obsahová analýza českých i zahraničních publikačních zdrojů (odborné časopisy, knižní literatura, vědecké databáze);
- Analýza příčin havárií jaderných elektráren v Černobylu, Three Mile Island, Fukušimě a jejich komparace
- Souhrn poznatků o těchto haváriích a zlepšení zabezpečení provozu jaderných elektráren z hlediska jejich bezpečnosti.

Pro svou bakalářskou práci jsem si vybral deskriptivní metodu. Budu shromažďovat informace z více nezávislých zdrojů, jednotlivě je zhodnotím a porovnáám. Na základě tohoto postupu budou v souladu se stanovenými cíli formulovány příslušné závěry.

3 JADERNÁ ENERGETIKA

3.1 Historie jaderné energetiky

Objev energie vystupující z nitra hmoty (1896 Becquerel) způsobil skutečný otřes v celém tehdejší přírodovědném poznání. Původ vyzařované energie byl naprosto záhadný a navíc vedl k přeměně jednoho prvku v druhý. Celý tehdejší svět se dostal do horečného pohybu, poznání se stalo nebyvale vzrušujícím dobrodružstvím. Následovala řada vynikajících objevů spojených se jmény takových velikánů vědy, jako byli např. manželé Curiovy, Rutherford, Einstein, Hahn, Meitnerová, Fermi, a další.²

Objev štěpení jádra atomu není dílem jedinice, celá plejáda odborníků vkládala kaménky poznání do velké mozaiky lidského vědění. Od počátku tohoto století pracovali na řešení stejných problémů v Cambridži, Kodani, Göttingenu, v Moskvě a Leningradu a také v Berlíně. Když se v Německu dostali k moci fašisté, mnozí vědci museli odtud emigrovat do Dánska, do USA a dalších států. Blížil se rok 1938, když se profesoru Otto Hahnovi podařilo v Berlíně rozštěpit jádro atomu. A jeho spolupracovnice Lise Meitnerová vypočetla, že se přitom uvolňuje velké množství energie. To byl vlastně začátek nové epochy v dějinách lidstva, které říkáme atomová.

Dne pátého srpna roku 1945 se nad japonským městem Hirošimou zvedl zlověstný atomový hřib. V jeho stínu našlo smrt kolem dvě stě tisíc lidí. Dalších sedmdesát pět tisíc obětí padlo za oběť americké plutoniové pumě, která vybuchla nad městem Nagasaki.³ Člověk dostal tímto objeven do rukou obrovskou zodpovědnost, na něm záleží, zda půjde cestou pozitiv jaderné energie pro lidstvo, cestou pomoci, anebo zvolí cestu zániku.

3.2 Aspekty rozvoje jaderné energetiky

Rozvoj užití jaderné energie pro mírové účely začal prakticky konferencí a výstavou „Atomy pro mír“ v Ženevě v roce 1955, kde jednotlivé státy, především pak jaderné velmoci, informovaly světovou veřejnost o prvních dávkách elektřiny z jaderných zařízení do veřejné sítě a o výhledech stavby a spouštění jaderných elektráren.⁴ Během 2. světové války se rozběhl jaderný program v řadě zemí. První

² KLIK, F., DALIBA, J. Jaderná energetika. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998., s. 5

³ SEDLÁČEK, K., TŮMA, J. Atom skrývá naději. 1. Vyd. Praha: Naše vojsko, 1987, s. 7 a 8

⁴ DUBŠEK, F. Jaderná energetika. Brno: PC-DIR spol. s. r. o., 1994, s. 3

řízená řetězová štěpná reakce se uskutečnila 2. prosince 1942 v reaktoru CP-1, který postavil Enrico Fermi v podzemí stadionu Chicagské univerzity.

K výrobě elektřiny byl jaderný reaktor poprvé využit v roce 1951 ve výzkumné stanici EBR-I poblíž Arca (Idaho) v USA. Za první jadernou elektrárnu bývá označována elektrárna spuštěna v městě Obninsk v Sovětském svazu v roce 1954.⁵ Ke komerční elektrické síti byla jaderná elektrárna poprvé připojena v roce 1956 ve Velké Británii (Velká Británie – Calder Hall).⁶

Výše uvedený prudký rozmach lze vysvětlit životními podmínkami lidské společnosti, v níž elektřina pevně zakotvila a kdy se zásoby fosilních paliv pro její výrobu stávají více a více úzkým profilem. Závislost lidí na elektrické energii bude neustále vzrůstat. Tlak na výrobu energie v dalších desetiletích stále poroste a to v důsledku životního a s ním spojeného průmyslového rozmachu především v tzv. méně vyvinutých zemích. Pro tyto země je to jediná alternativa získání hospodářské soběstačnosti a nezávislosti. Ukazuje se stále více a více správnost prognózy, že jediným východiskem bude rozvoj jaderné energetiky.⁷

3.3 Atom a jeho energie – podstata štěpné reakce

Atom je nejmenší nedělitelnou částicí hmoty. Jádro atomu, složené z protonů a neutronů, je sto tisíckrát menší než jeho elektronové slupky. Počet protonů určuje druh prvku a jeho pořadí v tabulce prvků. Každý ze sto devíti dosud známých prvků charakterizují dvě čísla, která se připsují k jejich mezinárodním symbolům. Ke značce prvku jako index vlevo dolů připsuje tzv. protonové číslo, prozrazuje počet protonů v jádru a tím i počet elektronů v obalu prvku. Vlevo nahoru jako index se připsuje tzv. nukleonové číslo, udávající celkový počet protonů a neutronů v jádru.

Z = atomové číslo = počet protonů

N = neutronové = počet neutronů

$A = Z + N$ = hmotové číslo = celková počet protonů a neutronů

Termínem nuklid se rozumí konkrétní druh atomového jádra, př. ${}^A_Z X^A$ čili ${}_{92}U^{235}$ nebo zkráceně U^{235} .⁸ Čisté prvky jsou v přírodě výjimkou. Izotop zaujímá v tabulce prvků stejné místo jako prvek, z něhož byl odvozen. Odlišuje se jen větším nebo

⁵ První elektřina z jaderné elektrárny - Jaderná energetika: Svět energetiky. In: KUSALA, Jaroslav. Wwww.cez.cz [online]. 2004 [cit. 2013-02-13].

Dostupnéz: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k35.htm>

⁶ KLIK, F., DALIBA, J. Jaderná energetika. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998., s. 5

⁷ DUBŠEK, F. Jaderná energetika. Brno: PC-DIR spol. s. r. o., 1994, s. 3

⁸ KLIK, F., DALIBA, J. Jaderná energetika. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998., s. 20

menším počtem neutronů. V prvním případě pak mluvíme o izotopech těžších, v druhém případě o lehčích.

Za vytvoření a hlavně udržení atomového jádra jsou odpovědny tzv. silné síly. Musí je udržet pohromadě proti odpuzivým silám kladných nábojů protonů, neboť stejnojmenné náboje se odpuzují. Existují i menší částice než protony, neutrony a elektrony a to jsou kvarky, které se dělí ještě na šest druhů.⁹

Impulsem pro štěpení jádra atomu je interakce jádra s neutronem. Neutron nenese elektrický náboj a nemusí tedy překonávat bariéru elektrických sil. Štěpící se jádro se deformuje, protahuje, až odpuzivé elektrické síly převáží a kladná dceřiná jádra se od sebe rozletí (rychlostí asi 10 000 km/s). Tato jádra o obrovské kinetické energii se srážejí s dalšími atomy, odebírají jim elektrony a tvoří si z nich nové elektronové obaly. Postupně se uklidňují a jejich kinetická energie přechází až na energii kmitů atomů a molekul. Tedy do formy tepelné energie, kterou lze využít v jaderné elektrárně. Při štěpení jádra uranu, které se stalo základem jaderné energetiky, se vždy uvolní i dva až tři neutrony, ty pak mohou narazit do dalších jader uranu a vyvolat další štěpení. Vzniká řetězová štěpná reakce, kterou může obsluha elektrárny řídit zachycením přebytečných neutronů.

Pokud bychom však neutrony pouze zpomalovali a neregulovali jejich počet, došlo by k exponenciálnímu růstu počtu štěpení a k neřízené řetězové reakci – výbuchu. Pro záchyt přebytečných neutronů mohou sloužit například jádra atomů bóru, který se ve formě kyseliny borité přidává do chladiva primárního okruhu. Štěpná reakce se také řídí pomocí tyčí absorbujících neutrony, které se buď zasouvají, nebo vytahují z aktivní zóny reaktoru.¹⁰

Zatímco klasické hořením získáváme z hmoty jen zcela nepatrný zlomek v ní skryté energie, při jaderném štěpení jeto až desetina procenta klidové energie štěpeného jádra. Po technickém zvládnutí termojaderné fúze (opak technologie štěpení), by bylo možné z klidové energie slučovaných částic získat téměř jedno procento energie. Palivem jaderných elektráren v České republice je oxid uraničitý UO_2 s uranem mírně obohaceným o štěpitelný izotop 235 (na 2-4% celkového množství uranu, v přírodním uranu je jen asi 0,7% izotopu 235).¹¹

⁹ SEDLÁČEK, K., TŮMA, J. Atom skrývá naději. 1. Vyd. Praha: Naše vojsko, 1987, s. 18

¹⁰ Jaderný reaktor. In: www.jaderna-energie.cz [online]. 2012 [cit. 2013-02-08]. Dostupné z: <http://www.jaderna-energie.cz/stepeni-jadra-atomu.htm>

¹¹ Princip štěpení jádra atomu. In: www.jaderna-energie.cz [online]. 2012 [cit. 2013-02-08]. Dostupné z: <http://www.jaderna-energie.cz/stepeni-jadra-atomu.htm>

4 JADERNÉ ELEKTRÁRNY

Mírové využití jaderné energie je jedním z nejperspektivnějších způsobů zajištění energetických potřeb lidstva v současnosti i budoucnosti. Z hlediska vlivu na životní prostředí patří jaderné elektrárny mezi velmi šetrné zdroje výroby elektrické energie. Při jejich provozu není poškozováno životní prostředí, nevznikají skleníkové plyny, nespotřebovává se kyslík a neobnovitelné suroviny (ropa, uhlí). Vliv atomové elektrárny na zdraví lidí je prakticky nulový.¹²

Jaderná elektrárna je výrobní elektrické energie resp. technologické zařízení, sloužící k přeměně vazebné energie jader těžkých prvků na elektrickou energii. Skládá se obvykle z jaderného reaktoru, parní turbíny s alternátorem a z mnoha dalších pomocných provozů. V principu se jedná o parní elektrárnu, ve které se energie získaná jaderným reaktorem používá k výrobě páry v parogenerátoru. Tato pára pohání parní turbíny, které pohání alternátory pro výrobu elektrické energie.¹³

4.1 Vývoj jaderných elektráren

První jaderné elektrárny, které pracovaly do sítě, byly uvedeny do provozu v padesátých, respektive počátkem let šedesátých. Stavební a provozní náklady těchto elektráren byly relativně vysoké, neboť s tímto druhem jaderně energetického zařízení nebyly zatím žádné zkušenosti. Několik typů jaderných elektráren z tohoto období výstavby však již přece obstálo v soutěži s elektrárnami na fosilní paliva, a tak byla požadována výstavba dalších.

Na tyto požadavky však nebyl strojírenský průmysl zařízen a to vedlo k dočasnému odsunu rozvoje výstavby jaderných elektráren. To se změnilo v letech sedmdesátých, tato změna spočívala v obtížích zásobování vhodnými fosilními palivy a také ve zhoršování situace životního prostředí.¹⁴

V roce 2009 bylo v provozu 436 jaderných reaktorů ve 31 zemích světa. Za tento rok vyrobily 2558 TWh elektrické energie, což bylo 13-14% světové poptávky. Dalších 30 reaktorů je ve výstavbě (zvláště v asijských zemích, v Rusku a Finsku) a řada zemí (USA, Bulharsko, Slovensko, Litva) rozhodly o jejich nové výstavbě.

¹² Jaderná energetika. In: www.jaderna-energie.cz [online]. 2012 [cit. 2013-02-08]. Dostupné z: <http://www.jaderna-energie.cz/stepeni-jadra-atomu.html>

¹³ JIROTKA, Tomáš. Jaderné elektrárny - Úvod. In: [Www.fyzika.net](http://www.fyzika.net) [online]. 2008 [cit. 2013-02-15]. Dostupné z: <http://www.fyzika.net/view.php?cislocianku=2004092801>

¹⁴ DUBŠEK, F. Jaderná energetika. Brno: PC-DIR spol. s. r. o., 1994, s. 108

Díky provozu jaderných elektráren ročně nemusí být vypuštěno 1,8 mld. t CO₂. Nejvíce energie z jaderných elektráren se vyrábí v Litvě (79,9 % k roku 2003) Francii (77 % k roku 2003), Německu (28,1 % k roku 2003), USA (19,9 % k roku 2003), Japonsku a Rusku. V Rusku však přežívají staré jaderné elektrárny, některé z nich podobného typu jako Černobyl a se zastaralou technologií. K zastavení některých z nich je Rusko tlačeno mezinárodním společenstvím. V Česku jsou v provozu dvě jaderné elektrárny (Temelín a Dukovany) s celkovým výkonem 3760 MW; pokrývají přibližně 31 % celkové spotřeby elektřiny v Česku.¹⁵

4.2 Jaderný reaktor a palivo

Jaderný reaktor je zařízení, v němž se energie uvolněná při jaderném štěpení přeměňuje na energii tepelnou, která se pak v klasické elektrárenské části využívá k výrobě elektrické energie. Reaktory mají rozmanité konstrukce, princip činnosti i oblast využití.¹⁶

Jaderný reaktor se skládá z následujících složek:

- Jaderné palivo, v němž dochází ke štěpení a uvolňuje se převážný podíl energie.
- Moderátor (kromě rychlého reaktoru) tj. látka, ve které se účinkem srážek neutronů s jádry atomů doprovázených změnou směru, snižuje kinetická energie neutronů bez jejich výrazného zachytu látkou samou.
- Chladivo, tj. tekutiny odvádějící vznikající tepelnou energii vně reaktoru, chladivo odvádí teplo z reaktoru prostřednictvím speciálního systému odvodu tepla.
- Stavební materiál, který tvoří jednak ochranný obal paliva moderátoru, a dále vnitřní vestavby reaktoru.
- Reflektor je část reaktoru přiléhající k aktivní zóně a sloužící k odrážení co největšího počtu unikajících neutronů zpět do aktivní zóny.
- Regulační a ovládací zařízení dovolují formou absorpce neutronů, např. tyčemi s neutrony absorbujícího materiálu či jinými opatřeními, udržovat hustotu toku neutronů a výkon reaktoru na žádoucí hodnotě.

¹⁵ Jaderná elektrárna. WIKIMEDIA. *Www.wikipedia.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0%C4%9Bpn%C3%A1_jadern%C3%A1_reakce

¹⁶ Jaderná energetika: Svět energetiky. In: KUSALA, Jaroslav. *Www.cez.cz* [online]. 2004 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k35.htm>

-
- Ochranný kryt, který chrání obsluhu reaktoru před zářením vznikajícím v reaktoru.

K reaktoru patří ještě systém výměny paliva a řada pomocných systémů a systém měření.¹⁷

Existují různé typy jaderných reaktorů. Prvním je jaderný reaktor PWR, VVER (Pressurized light-Water moderated and cooled Reactor, Vodo-Vodjanoj Energetičeskij Reaktor). Tento tlakovodní reaktor PWR nebo ruský typ VVER je dnes ve světě nejrozšířenějším typem jaderného reaktoru (asi 57 % všech jaderných reaktorů). Tento typ pracuje jak v jaderné elektrárně Dukovany, tak v jaderné elektrárně Temelín. Původně byl vyvinut v USA, později koncepci převzalo Rusko. Stejně reaktory jsou pro svou vysokou bezpečnost používány kromě jaderných elektráren i k pohonu jaderných ponorek. Jaderným palivem je obohacený uran ve formě tabletek oxidu uraničitého uspořádaných do palivových tyčí. Moderátorem i chladičem je obyčejná voda. Výměna paliva probíhá při odstaveném reaktoru zpravidla jednou za rok (nahradí se jedna čtvrtina použitého paliva).

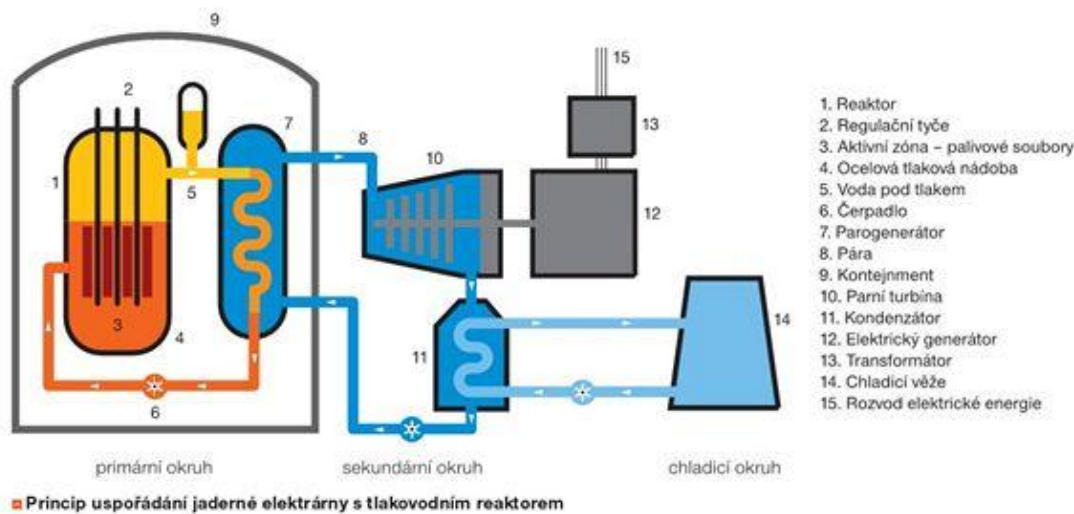
Varný reaktor BWR je druhým nejrozšířenějším typem. Palivem je mírně obohacený uran ve formě válečků oxidu uraničitého uspořádaných do palivových tyčí. Palivo se mění stejně často jako v případě PWR. Obdobná je i aktivní zóna a obyčejná voda coby chladič a moderátor. Voda se ohřívá až k varu přímo v tlakové nádobě a v horní části reaktoru se hromadí pára. Když se zbaví vlhkosti, žene se přímo k turbíně. Reaktory BWR jsou jednookruhové.

Dalšími typy jsou například těžkovodní reaktor CANDU, který byl vyvinut v Kanadě, jaderný reaktor MagNOx GCR, který je chlazen plynem a používá se ve Velké Británii atd.¹⁸

¹⁷ DUBŠEK, F. Jaderná energetika. Brno: PC-DIR spol. s r. o., 1994, s. 10 a 11

¹⁸ Typy jaderných reaktorů. In: www.jaderna-energie.cz [online]. 2012 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: <http://www.jaderna-energie.cz/stepeni-jadra-atomu.htm>

Obr. 1 Princip uspořádání jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem¹⁹



4.2.1 Jaderné palivo

Nejdůležitější složkou jaderného reaktoru je jaderné palivo. Pod tento pojem zahrnujeme uran a thorium, nejedná se o nijak vzácné prvky, avšak neexistují v přírodě v čistém stavu, ale jsou vázány na řadu dalších prvků, především na kyslík. Dále je uran obsažen asi ve sto nerostech, z nichž nejrozšířenější je uranit čili smolinec, gumonit, autunit, davinit atd. V případě thoria jsou to nerosty jako thorianit, zirkelit, thorit a monazit. Koncentrace U a Th v těchto nerostech je různá. Dnes se považuje 0,1% obsahu U_3O_8 v rudě za zcela rentabilní.²⁰

4.2.2 Obohacování uranu

Z kovového přírodního uranu se vyrábí tzv. obohacený uran, tj. uran se zvýšeným obsahem U 235. Jedině jeho prostřednictvím bylo možné nejen zvětšovat měrný výkon reaktorů, ale i na únosnou míru upravit technické podmínky aplikace konstrukčních materiálů, chladiv a moderátorů v projektu a konstrukci reaktorů.

K separaci izotopů, kterou obohacování uranu vlastně je, se používá fyzikální metody, dnes se uplatňují ve velkém tři metody. Separace difúzí, separace plynovými

¹⁹ Exkluzivní reportáž z modernizace jaderné elektrárny Temelín. In: *Www.technet.cz* [online]. 2007 [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/exkluzivni-fotoreportaz-z-modernizace-jadern-elektrarny-temelin-1fb-/tec_reportaze.aspx?c=A070827_101055_tec_reportaze_rja

²⁰ DUBŠEK, F. Jaderná energetika. Brno: PC-DIR spol. s. r. o., 1994, s. 12

ultracentrifugami a separace trysková. Každá z dnes používaných metod pracuje s plynným uranhexafluoridem, UF₆.²¹

5 JADERNÁ BEZPEČNOST

Jaderná bezpečnost je jednou z nejméně regulovaných oblastí z pozice státu a sledovaných oblastí z hlediska mezinárodního. Odtajněním převážné většiny činností spojených s využíváním jaderné energie, se jaderná bezpečnost stala i oblastí sledovanou širokou veřejností.²²

Podle Hály se jí rozumí stav a schopnost elektrárny a její obsluhy zabránit nekontrolovatelnému rozvoji řetězové štěpné reakce a nedovolenému úniku radioaktivních látek a ionizujícího záření do životního prostředí. Starost o maximální bezpečnost provází jadernou elektrárnu od výběru lokality a projektových prací, přes výrobu jednotlivých komponent a výstavbu až k rutinnímu provozu. Riziko provozu jaderné elektrárny spočívá v obrovské radioaktivitě štěpných produktů v aktivní zóně reaktoru. Základním požadavkem zajištění bezpečnosti je udržet aktivní zónu v neporušeném stavu, aby radioaktivní štěpné produkty nemohly uniknout a ohrozit obyvatelstvo a obsluhu elektrárny.²³

Naplněním tohoto cíle se zabývá tzv. „Atomový zákon“ (zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů) a jeho prováděcí předpisy, dále pak mezinárodní doporučení vydávané Mezinárodní agenturou pro atomovou energii ve Vídni a dalšími organizacemi (WANO, WENRA, NEA atd.).

5.1 Jaderná bezpečnost a státní dozor – SÚJB

Státní správu a dozor při využívání jaderné energie a ionizujícího záření, v oblasti radiační ochrany a v oblasti jaderné, chemické a biologické ochrany v ČR, zajišťuje Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Jeho věcná působnost je dána ustanovením § 3 atomového zákona. Velmi zjednodušeně řečeno, jeho hlavním úkolem je dbát na bezpečnost JE Dukovany a JE Temelín, sledovat možné negativní dopady

²¹ DUBŠEK, F. Jaderná energetika. Brno: PC-DIR spol. s r. o., 1994, s. 15

²² Jaderná bezpečnost. SKUPINA ČEZ. www.cez.cz [online]. 2013 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/odpovedna-firma/bezpecnost/jaderna-bezpecnost.html>

²³ HÁLA, J. Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie. Brno: Konvoj, 1998, s. 219,220

jaderné elektrárny na okolí, resp. je maximálně snižovat, a minimalizovat rizika atomové elektrárny, jejichž následkem by mohla být havárie elektrárny.

Výkon státní správy a dozoru nad jadernou bezpečností spočívá jak v kontrolní činnosti, tak ve správě (Státní úřad pro jadernou bezpečnost především vydává povolení a schvaluje zákonem předepsaných dokumenty). Řídí se přitom i požadavky, které vyplývají z mezinárodních úmluv a konvencí.

Státní úřad pro jadernou bezpečnost podporuje vědu a výzkum v oblasti využívání jaderné energie a spolupracuje s mezinárodně organizovanými skupinami, jako je např. WENRA (Western European Nuclear Regulators' Association) nebo Mezinárodní agentura pro atomovou energii se sídlem ve Vídni. Účastní se také harmonizace legislativních a technických požadavků na jadernou bezpečnost v rámci Evropské unie.

5.1.1 Působnost státního úřadu pro jadernou bezpečnost

Do oblasti působnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost patří celá řada činností. K nejvýznamnějším patří státní dozor nad jadernou bezpečností vůbec, fyzickou ochranou jaderných zařízení, radiační ochranou a havarijní připraveností v prostorách jaderných zařízení nebo na pracovištích, kde se vyskytují zdroje ionizujícího záření. Úřad také např. povoluje umístování a provoz jaderného zařízení a pracovišť s významnými zdroji ionizujícího záření, nakládání se zdroji ionizujícího záření a radioaktivními odpady a činnosti týkající se přepravy jaderných materiálů a radionuklidových zářičů.

Státní úřad pro jadernou bezpečnost kromě jiného schvaluje dokumentaci související se zajištěním zákonem stanované jaderné bezpečnosti a radiační ochrany, s limity a podmínkami provozu jaderných zařízení a způsobem zajištění fyzické ochrany. Důležitou oblastí činnosti je i stanovení podmínek a požadavků radiační ochrany obyvatel a lidí pracujících se zdroji ionizujícího záření (např. stanovení limitů ozáření, vymezení kontrolovaných pásem), stanovení zóny havarijního plánování a požadavků havarijní připravenosti držitelů povolení podle atomového zákona.²⁴

²⁴ Jaderná bezpečnost - Úvod/Jaderná bezpečnost a státní dozor. SÚJB - Státní úřad pro jadernou bezpečnost [online]. 2010 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <http://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/uvod/dozor-nad-jadernou-bezpecnosti>

5.1.2 Organizační uspořádání SÚJB

Státní úřad pro jadernou bezpečnost je organizačně členěn na úsek jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a řízení a technické podpory. Úsek jaderné bezpečnosti se zabývá hodnocením jaderných zařízení, jejich kontrolou a jadernými materiály, jadernou energetikou, usměrňováním expozic, životním prostředím v souvislosti s radioaktivními odpady a licenční agenda má na starost úsek radiační ochrany. Úsek řízení a technické podpory se věnuje mezinárodní spolupráci a ekonomické problematice. V tomto úseku je zařazena i kancelář Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a působí v něm Národní úřady pro kontrolu zákazu chemických zbraní, bakteriologických a toxinových zbraní a všeobecný zákaz zkoušek jaderných zbraní.

Předsedovi Státního úřadu pro jadernou bezpečnost je přímo podřízeno samostatné krizové koordinační centrum, které zajišťuje výkon státního dozoru nad havarijní připraveností, činnost pracoviště krizového řízení a řízení radiační monitorovací sítě ČR. Předseda přímo řídí i tzv. „Europracoviště“, které zajišťovalo koordinaci aktivit úřadu spojených s přípravou na vstup do EU.²⁵

5.2 Legislativa spojená s dozorem nad jadernou bezpečností

Ústavní zákon č. 110/1998 Sb., o bezpečnosti České republiky je základním dokumentem pro stanovení povinností státu při zajišťování svrchovanosti a územní celistvosti České republiky, ochrany jejích demokratických základů, ochrany života, zdraví a majetku jejích občanů, stanovuje, kdo tuto bezpečnost provádí. Čl. 5 uvádí možnost vyhlášení nouzového stavu v případě živelních pohrom, ekologických nebo průmyslových havárií, nehod nebo jiného nebezpečí, které ve značném rozsahu ohrožují životy, zdraví nebo majetkové hodnoty anebo vnitřní pořádek a bezpečnost.²⁶

Základním legislativním dokumentem, který stanovuje požadavky na mírové využívání jaderné energie při provozu jaderných zařízení a pro výkon dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení je Atomový zákon - zákon č. 18/1997 Sb. v platném znění. Tento zákon je doplněn následujícími prováděcími předpisy, které stanovují podrobnosti k provádění jednotlivých činností majících vliv na jadernou bezpečnost nebo s jadernou bezpečností souvisejících:

²⁵ Jaderná bezpečnost a státní dozor. <Jaderná bezpečnost> www.jaderna-bezpecnost.cz [online]. 2011 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <http://www.youtube.com/watch?v=gnEgAHUSLoo>

²⁶ ČR. Ústavní zákon o bezpečnosti České republiky. In: zákon č. 110/1998 Sb. 1998. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=0&idBiblio=46612&recShow=4&nr=110~2F1998&rpp=15#parCnt>

-
- Vyhláška č. 144/1997 Sb., o fyzické ochraně jaderných materiálů a jaderných zařízení a o jejich zařazování do jednotlivých kategorií
 - Vyhláška č. 146/1997 Sb., stanovující činnosti, které mají bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost, a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, požadavky na kvalifikaci a odbornou přípravu, způsob ověřování zvláštní odborné způsobilosti a udělování oprávnění vybraným pracovníkům a způsob provedení schvalované dokumentace pro povolení k přípravě vybraných pracovníků, ve znění vyhlášky č. 315/2002 Sb.
 - vyhláška č. 132/2008 Sb. nahrazuje vyhlášku č. 214/1997 Sb., o zabezpečování jakosti při činnostech souvisejících s využíváním jaderné energie a činnostech vedoucích k ozáření a o stanovení kritérií pro zařazení a rozdělení vybraných zařízení do bezpečnostních tříd
 - Vyhláška č. 215/1997 Sb., o kritériích na umístění jaderných zařízení a velmi významných zdrojů ionizujícího záření
 - Vyhláška č. 106/1998 Sb., o zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany jaderných zařízení při jejich uvádění do provozu a při jejich provozu
 - Vyhláška č. 195/1999 Sb., o požadavcích na jaderná zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenosti
 - Vyhláška č. 185/2003 Sb., o vyřazování jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie z provozu
 - Vyhláška č. 317/2002 Sb., o typovém schvalování obalových souborů pro přepravu, skladování a ukládání jaderných materiálů a radioaktivních látek, o typovém schvalování zdrojů ionizujícího záření a o přepravě jaderných materiálů a určených radioaktivních látek (o typovém schvalování a přepravě)
 - Vyhláška č. 309/2005 Sb., o zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení.²⁷

5.3 Radioaktivita a ionizující záření

Z více než dvou tisíc známých nuklidů je jen 266 stálých. Ostatní, ať se nacházejí v přírodě, nebo vznikají jadernými reakcemi, se více či méně rychle samovolně přeměňují na jiný nuklid - tzn. jsou radioaktivní. Jádra nepodléhají

²⁷ Jaderná bezpečnost - Úvod/Legislativa spojená s dozorem nad jadernou bezpečností. SÚJB - Státní úřad pro jadernou bezpečnost [online]. 2010 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <http://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/uvod/dozor-nad-jadernou-bezpecnosti/>

radioaktivní přeměně pouze při určitém poměru mezi počtem neutronů a protonů (N/Z). Pokud složení jádra vybočí z optimálního rozmezí poměru N/Z , tj. má-li jádro pro určité protonové číslo příliš málo nebo příliš mnoho neutronů, stává se jádro radioaktivním, nejčastěji se přeměňuje na jiné jádro a menší částici. Vzniklé produkty vždy nesou kinetickou energii. To také svědčí o tom, že při radioaktivní přeměně se uvolňuje energie, to je tzv. exoergický děj.²⁸ Radioaktivita je přirozená a umělá.

Pojmem ionizující záření rozumíme taková záření, která ionizují prostředí, jímž procházejí. Záření emitované radioaktivními nuklidy představuje proud hmotných částic, resp. fotonů. Při průchodu látkou vyvolává toto záření intenzivní ionizaci – odtud název ionizující záření. Současně také vyvolává excitaci (stimulaci, vybuzení) atomů a molekul prostředí.²⁹ Patří sem záření vznikající rozpadem radioaktivních látek alfa (**a**), beta (**b**) nebo gama (**g**), rentgenové záření vznikající dopadem urychlených elektronů na kovovou anodu rentgenky, záření vyvolané částicemi urychlenými v urychlovačích nebo neutronové záření, pocházející například z jaderného reaktoru nebo z některých jaderných reakcí.

Záření α tvoří jádra atomů helia složená ze dvou protonů a dvou neutronů, toto záření mám značnou ionizační schopnost, ale malou pronikavost. Dá se zachytit již tenkým papírem.

Záření β je tvořeno rychle letícími elektrony, které však nevycházejí z obalu, ale z jádra prvku. Pronikavost β je mnohem vyšší než u částic α , částice β pronikají i tenkým hliníkovým papírem. Ionizace je menší než u záření α .

Záření γ vzniká při většině radioaktivních přeměn α a β tím, že se při těchto rozpadech uvolňují z pole atomových jader také fotony, které odnášejí část energetického rozdílu mezi původním a nově vzniklým jádrem. Záření γ se v elektrickém poli neodchyluje, má značnou pronikavost, prochází i několikacentimetrovou kovovou deskou, šíří se rychlostí světla jako každé jiné elektromagnetické záření.³⁰

5.3.1 Účinky ionizujícího záření

Hlavní mechanismus účinku ionizujícího záření na organismus vysvětluje tzv. radikálová teorie. Vychází z toho, že každý organismus je složen především z vody, v níž jsou rozptýleny biologicky aktivní látky. Interakce záření s živou tkání bude proto

²⁸ HÁLA, J. Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie. Brno: Konvoj, 1998, s. 31, 32

²⁹ HÁLA, J. Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie. Brno: Konvoj, 1998, s. 103

³⁰ HALLY, J., BENEŠ, P., KOLARÍKOVÁ, J. Ionizující záření. Praha: Český ekologický ústav, 1993, s. 11-13

probíhat především na molekulách vody. Vlivem ionizace bude docházet k radiolýze vody, přičemž vznikají i velmi reaktivní volné radikály H^+ a OH^- . Tyto volné radikály pak napadají molekuly biologicky aktivních látek a chemicky je ovlivňují či destruuji. Výsledkem je řada škodlivých změn, z nichž sice značná část může být reparačními mechanismy organismu napravena, avšak některé změny (např. v kódu DNA) mohou být trvalé nebo se mohou reprodukovat. Na účinky ionizujícího záření jsou citlivé zejména tkáně s intenzivním dělením buněk, jako jsou např. krvetvorné nebo nádorové, vyvíjející se plod (zvláště v počátečních stádiích vývoje).

I při malých dávkách existuje určitá pravděpodobnost, že vzniknou pozdní trvalé následky genetického nebo nádorového charakteru. Jelikož takové následky jsou zcela náhodné, individuální a nepředvídatelné, nazývají se účinky stochastické.

Při vysokých dávkách záření je počet poškozených molekul biologicky aktivních látek již natolik vysoký, že organismus není schopen je zcela opravit – část buněk hyne, vzniká nemoc z ozáření. Poškození tkáně je zde přímo úměrné obdržené dávce záření, není již náhodné, je naopak předvídatelné – hovoříme o účincích deterministických.

5.3.2 Ochrana před ionizujícím zářením

Obdržená dávka záření je určena několika základními faktory: radioaktivitou, druhem a energií emitovaného záření a geometrickými podmínkami. Existují čtyři základní způsoby ochrany před zářením.

Prvním způsobem je časová doba expozice: obdržená dávka je přímo úměrná době expozice, nezdržujeme se proto dlouho v prostoru s ionizujícím zářením. Dalším způsobem je vzdálenost: je vhodné zdržovat se co nejdále od zdrojů záření. Třetí způsob je stínění: velmi efektivní ochranou je odstínění záření vhodným absorbujícím materiálem (př. olovo, beton příp. s příměsí barytu), kdy tloušťka stínícího materiálu závisí na energii záření a požadovaném zeslabení. Poslední způsob je zabránění kontaminace a to jak vnější, tak vnitřní, k níž může dojít vniknutím trávícím ústrojím, dýchacím ústrojím nebo průnikem přes pokožku.³¹

³¹ ULMAN, V., PUCHÁLKOVÁ, Z., ULLMANNOVÁ, L. Radiační ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření – sylabus přednášek Katedry nukleární medicíny. [online]. [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/RadOchrana.htm>Ostrava, 2010

5.4 Mimořádná událost

Za mimořádnou událost se považuje škodlivé působení sil a jevů vyvolaných z činnosti člověka, přírodními vlivy a také havárie, které ohrožují život zdraví, majetek nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací.

Lidská společnost se v závislosti na stupni svého vývoje snažila a stále snaží následkem těchto mimořádných událostí zabránit nebo je přinejmenším zmírnit. Buduje proto různé obranné a ochranné mechanismy.

Rozsah opatření prováděných po vzniku mimořádně události je vázán na rozsah vzniklých následků. Zpravidla stačí k likvidaci vzniklé mimořádně události běžná činnost jednotlivých záchranných a bezpečnostních či havarijních služeb. Pro úplnost nutno poznamenat, že existují i mimořádné události, jejichž rozsah nevyžaduje provádění záchranných a likvidačních prací.

V případě, že je potřebné záchranné a likvidační práce při mimořádných událostech provádět dvěma a více složkami současně, se v České Republice k tomu využívá integrovaný záchranný systém, což je označení pro koordinovaný postup těchto složek při společném zásahu.

Mimořádná událost může nabít takových rozměrů, že zmocnění daná zákonem o IZS (zákon č. 239/2000 Sb.) a jinými zákony (zákon č. 129/2000 Sb. o krajích, zákon č. 128/2000 Sb. o obcích, zákon č. 273/2008 Sb. o Policii ČR, zákon č. 238/2000 Sb. o hasičském záchranném sboru ČR) nestačí k řešení následků mimořádně události. Orgány, které řeší mimořádnou událost a mohou za podmínek daných zvláštním zákonem (zákon č. 240/2000 Sb. o krizovém řízení), zvýšit své pravomoci vyhlášením tzv. krizového stavu. Pak hovoříme o tom, že situace vzniklá při mimořádné události přerostla v krizovou situaci.³²

Vyhláška 318/2002 Sb. ve znění vyhlášky 2/2004 Sb. stanovuje stupně mimořádných událostí, které mohou nastat v jaderné elektrárně takto:

- a) prvním stupněm je klasifikována mimořádná událost, která vede nebo může vést k nepřipustnému ozáření zaměstnanců a dalších osob nebo nepřipustnému uvolnění radioaktivních látek do prostor jaderného zařízení nebo pracoviště. Událost prvního může být radiační nehodou, má omezený, lokální charakter a k jejímu řešení jsou dostačující síly a prostředky obsluhy

³² ŠENOVSKÝ, M., ADAMEC, V., HANUŠKA, Z., Integrovaný záchranný systém. Ostrava: sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007, s. 5

nebo pracovní směny a při přepravě nedojde k úniku radioaktivních látek do životního prostředí,

- b) druhým stupněm je klasifikována mimořádná událost, která vede nebo může vést k nepřipustnému ozáření zaměstnanců a dalších osob nebo nepřipustnému uvolnění radioaktivních látek do životního prostředí, které nevyžaduje zavádění neodkladných opatření k ochraně obyvatelstva a životního prostředí. Událost druhého stupně je radiační nehodou, její řešení vyžaduje aktivaci zasahujících osob držitele povolení a k jejímu zvládnutí jsou dostačující síly a prostředky držitele povolení, případně síly a prostředky smluvně zajištěné držitelem povolení,
- c) třetím stupněm je klasifikována mimořádná událost, která vede nebo může vést k nepřipustnému závažnému uvolnění radioaktivních látek do životního prostředí, vyžadujícímu zavádění neodkladných opatření k ochraně obyvatelstva a životního prostředí, stanovená ve vnějším havarijním plánu a v havarijním plánu okresu. Událost třetího stupně je radiační havárií a její řešení vyžaduje kromě aktivace zasahujících osob držitele povolení a zasahujících osob podle vnějšího plánu, popřípadě havarijního plánu okresu zapojení dalších dotčených orgánů.³³

6 OCHRANA OBYVATELSTVA

Pojem ochrana obyvatelstva je často používán pro označení určitého sdruženého (integrovaného) systému vztahů, vazeb a konkrétních opatření k ochraně obyvatelstva a jeho majetku v nejrůznějších situacích, kdy může dojít k jejich ohrožení, počínaje „každodenními“ negativními událostmi, přes nejrůznější katastrofy a nouzové situace až po ozbrojený konflikt. V historii a také v současné době je pro tyto systémy v řadě zemí Evropy i světa používán pojem civilní ochrana nebo civilní obrana.³⁴

Ochrana obyvatelstva je v legislativě zakotvena v zákoně č. 18/1997 Sb. Atomový zákon v platném znění, a jeho prováděcích předpisech, zejména ve vyhlášce č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně v platném znění a ve vyhlášce č. 318/2002 Sb. o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se

³³ Vyhláška č. 318/2002 Sb. o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu, ve znění vyhlášky č. 2/2004 Sb.

³⁴ MARTÍNEK, B. Ochrana obyvatelstva I. 1. vyd. Praha: PA ČR, 2009

zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu v platném znění.

6.1 Integrovaný záchranný systém

Za integrovaný záchranný systém se považuje koordinovaný postup jeho složek při přípravě na mimořádné události a při provádění záchranných a likvidačních prací. Podrobnosti o záchranných a likvidačních pracích jsou definovány zvláštním zákonem č. 239/2000 o integrovaném záchranném systému.

Koordinace záchranných a likvidačních prací se odehrává na třech úrovních:

Taktická – tj. na místě zásahu, kde se mimořádná událost projevuje svými účinky nebo kde se účinky mimořádné události předpokládají. Zde za záchranné a likvidační práce odpovídá velitel zásahu, kterým je, pokud zákon nestanoví jinak, hasič.

Operační – tzn. úroveň operačních středisek základních složek IZS, přičemž operační střediska HZS ČR jsou současně operačními a informačními středisky IZS. Střediska jsou zavedena v okresech, krajích i na Ministerstvu vnitra. Operační střediska zajišťují obsluhu linek tísňového volání, a jsou pro každého občana místem, kde může přivolat pomoc v nouzi.

Strategická – představuje přímé zapojení starosty obce s rozšířenou působností, hejtmána kraje nebo Ministerstva vnitra do koordinace záchranných a likvidačních prací. To nastává v situaci, kdy velitel zásahu o jejich koordinaci požádá a v případě hejtmána kraje a Ministerstva vnitra také, když je mimořádná událost ohodnocena nejvyšším stupněm poplachu dle poplachového plánu IZS. Ke svému rozhodování pak jako orgán využívají krizové štáby.³⁵

Základní složky IZS jsou: Hasičský záchranný sbor České republiky, jednotky požární ochrany zařazené do plošného pokrytí kraje jednotkami požární ochrany, poskytovatelé zdravotnické záchranné služby, Policie České republiky. Ostatní složky IZS jsou: Vyčleněné síly a prostředky ozbrojených sil, Obecní policie, orgány ochrany veřejného zdraví, havarijní, pohotovostní, odborné a jiné služby, zařízení civilní ochrany a neziskové organizace a sdružení občanů, které lze využít k záchranným a likvidačním pracím.³⁶

³⁵ ŠENOVSKÝ, M., VILÉM, A., HANUŠKA, Z. Integrovaný záchranný systém, 2. Vydání, Ostrava, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007 s. 8

³⁶ Integrovaný záchranný systém. HZS ČR. Hasičský záchranný sbor České republiky [online]. 2010 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/integrovaný-zachranný-system.aspx>

6.2 Zajištění ochrany obyvatelstva

6.2.1 Zajištění ochrany obyvatelstva za normálního, abnormálního provozu havarijních podmínek

Vliv jaderné elektrárny na okolní obyvatelstvo a na životní prostředí je dán především úrovní kvality technologického zařízení a úrovní technologických procesů. Mírou této kvality je ozáření jednotlivce z kritické skupiny obyvatelstva. Kritickou skupinou se rozumí na základě racionálních modelů identifikovaná homogenně ozařovaná skupina osob z daného zdroje a danou expoziční cestou. Odhad záření musí obsahovat všechny expoziční cesty.³⁷

Součástí povolovacího procesu provozu jaderného zařízení je schválení limitů a podmínek a bezpečného provozu, které obsahují limity a podmínky stanovené pro výpustí jaderného zařízení do okolí. Provozovatel zařízení musí monitorovat nejen výpusti, ale i okolní zařízení.³⁸

6.2.2 Zajištění ochrany obyvatelstva v případě vzniku těžkých havárií na jaderné elektrárně

Pro případ vzniku těžké havárie, neboli mimořádně události 2. a 3. stupně musí být vypracován systém ochranných opatření zaměstnanců a obyvatelstva žijící v zóně havarijního plánování. Tento systém musí být rozpracován v rámci havarijní připravenosti. Havarijní připravenost jaderné elektrárny je dokladována dokumentací havarijního plánování. Základní dokumenty havarijní připravenosti tvoří:

- Vnější havarijní plán
- Vnitřní havarijní plán
- Havarijní řád³⁹

Vnitřní plán ETE je zpracován v souladu s požadavky na zajištění havarijní připravenosti a v rozsahu stanoveném vyhláškou č. 318/2002 Sb. o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu⁴⁰

³⁷ KLENER, V. a kol. Principy a praxe radiační ochrany. Praha: Azin CZ pro SJB, 2000. s.

³⁸ MARTINŮ, P. Ochrana obyvatelstva v zóně havarijního plánování v okolí JETE – diplomová práce, ZSF JU, 2007

³⁹ MARTINŮ, P. Ochrana obyvatelstva v zóně havarijního plánování v okolí JETE – diplomová práce, ZSF JU, 2007

⁴⁰ VYHLÁŠKA č.318/2002 Sb. o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť

Vnitřní havarijní plán vymezuje organizační strukturu držitele povolení a zásady pro řízení a provádění zásahů při vzniku mimořádné události. Obsahuje program monitorování při vzniku mimořádné události, a to jak v prostorách jaderného zařízení, tak i v jeho okolí. Plán stanovuje způsob vyrozumění osob, držitele licence, složek IZS a orgánů, které je nutné povolát k provedení zásahu v prostorách jaderného zařízení. Dále popisuje systém varování zaměstnanců jaderného zařízení. Jsou zde sepsány zásady a postupy pro shromažďování osob, ukrytí, evakuaci, poskytnutí první pomoci, včetně zdravotnického zajištění.⁴¹

Vnější havarijní plán je zpracován podle vyhlášky č. 328/2001 Sb. o podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému a zákonu 239/2000 Sb. o integrovaném záchranném systému. Zadavatelem na zpracování vnějšího havarijního plánu ETE je Krajský úřad Jihočeského kraje, na jehož území se celá havarijní zóna nachází. V rámci plnění úkolů zákona č. 239/2000 Sb. o Integrovaném záchranném systému zpracovává vnitřní havarijní plán jaderné elektrárny Temelín hasičský záchranný sbor Jihočeského kraje, a to na základě podkladů předaných držitelem povolení k provozu jaderného zařízení, podkladů připravených krajským úřadem, obcemi a jednotlivými složkami Integrovaného záchranného systému a dále ve spolupráci s dotčenými správními úřady (SÚJB, Krajská hygienická stanice atd.).⁴²

Vnitřní část zóny havarijního plánování se nachází v rozsahu územím daném plochou kruhu o poloměru 5 km se středem na spojnici 1. a 2. výrobního bloku ETE a správním územím obcí, které se nacházejí na hranici uvedeného kruhu.

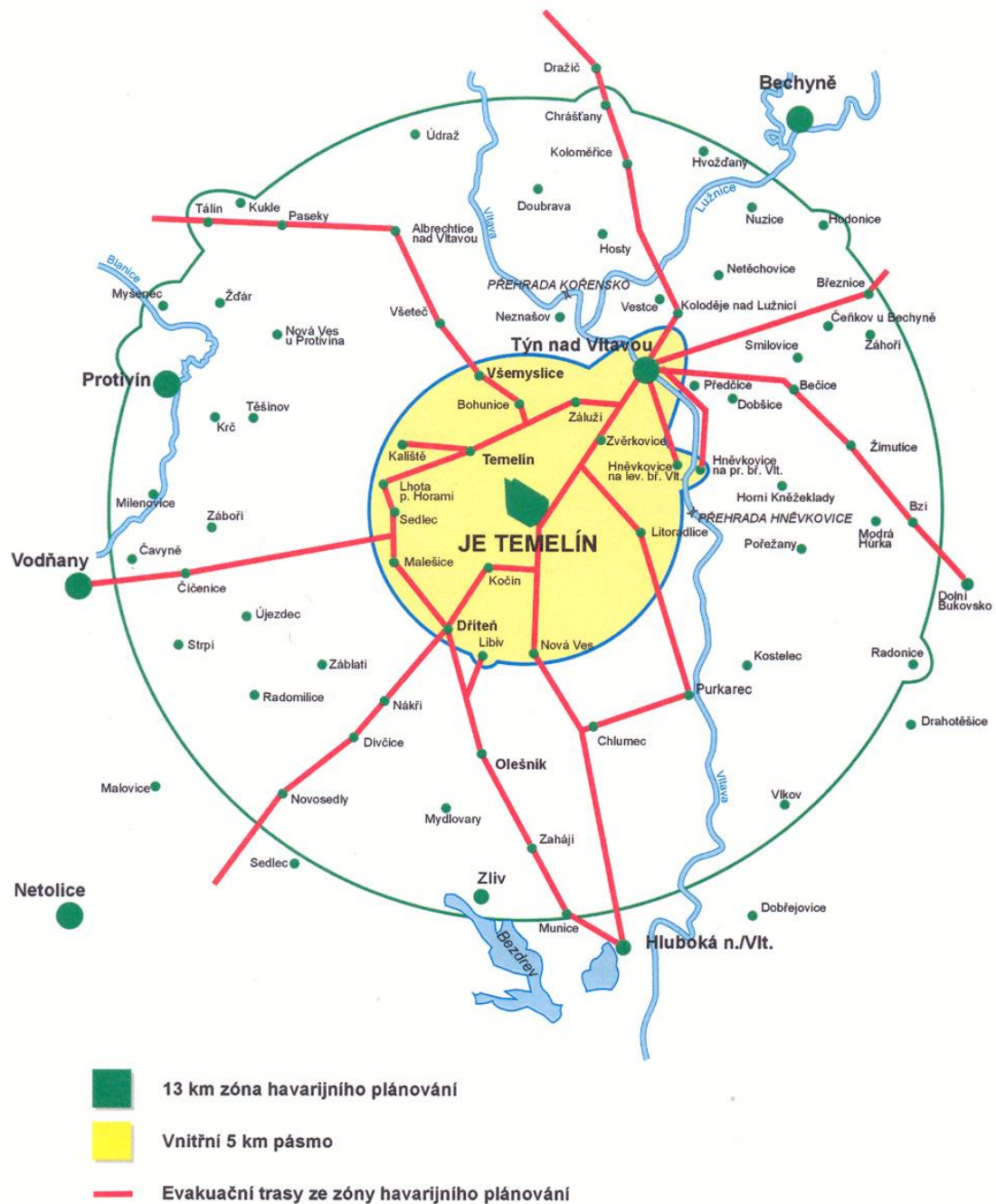
Vnější část zóny havarijního plánování se nachází v rozsahu území mezikruží 5-13 km, daném hranicí vnitřní části ZHN a kruhem o poloměru 13 km se středem na spojnici 1. a 2. Výrobního bloku a správním územím obcí, které jsou na hranici uvedeného kruhu.⁴³

⁴¹ MARTINŮ, P. Ochrana obyvatelstva v zóně havarijního plánování v okolí JETE – diplomová práce, ZSF JU, 2007

⁴² HASIČSKÝ ZÁCHRANNÝ SBOR ČESKÉ REPUBLIKY. *Wwww.hzscr.cz [online]*. Praha, 2010 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: www.hzscr.cz

⁴³ Vyhláška č. 318/2002 Sb., o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu

Obr. 2: Zóna havarijního plánování⁴⁴



6.2.3 Ochranná opatření

Dojde-li v jaderné elektrárně k radiální havárii, tvoří nebezpečí pro obyvatelstvo jednak únik radioaktivních látek do životního prostředí, kde dojde k jejich rozptýlení a jednak ionizující záření. Ochranná opatření:

⁴⁴ Vnější havarijní plán. www.old.tvn.cz [online]. 2005 [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: <http://old.tvn.cz/mestsky-urad/odbory-a-funkce/krizove-rizeni/dokumenty-pro-krizove-stavy-a-situace/vnejsi-havarijni-plan-kraje/vnejsi-havarijni-plan.html>

-
- Evakuace
 - Varování a vyrozumění
 - Ukrytí
 - Individuální ochrana
 - Jodová profylaxe
 - Dekontaminace

6.2.3.1 Evakuace

Evakuací se zabezpečuje přemístění osob, zvířat, předmětů kulturní hodnoty, nebezpečných látek, technického zařízení, případně strojů a materiálu k zachování nutné výroby z míst ohrožených mimořádnou událostí do míst, která zajišťují pro evakuované obyvatelstvo náhradní ubytování a stravování, pro zvířata ustájení a pro věci uskladnění.

Evakuace se vztahuje na všechny osoby v místech ohrožených mimořádnou událostí s výjimkou osob, které se budou podílet na záchranných pracích, na řízení evakuace nebo budou vykonávat jinou neodkladnou činnost; přednostně se evakuace plánuje pro děti do 15 let, pacienty ve zdravotnických zařízeních, osoby umístěné v sociálních zařízeních, osoby zdravotně postižené, doprovod osob výše uvedených.

O způsobu provedení evakuace se dozvíte z vysílání Českého rozhlasu, České televize nebo z místního veřejného rozhlasu. Všechno je sice závislé na konkrétní, ale vždy je nutné respektovat nařízený způsob evakuace, aby nedošlo ke zbytečné panice a dopravním problémům.⁴⁵

6.2.3.2 Varování a vyrozumění

Jednotný systém varování a vyrozumění je v ČR budován od roku 1991. Systém tvoří síť poplachových sirén, které zabezpečují bezprostřední varování obyvatelstva. Obyvatelstvo je v případě hrozby nebo vzniku mimořádné události varováno především prostřednictvím varovného signálu „Všeobecná výstraha“. Tento signál je vyhlášován kolísavým tónem sirény po dobu 140 vteřin a může zaznít třikrát po sobě v cca třímínutových intervalech. Po tomto signálu bezprostředně následuje mluvená tísňová

⁴⁵HASIČSKÝ ZÁCHRANNÝ SBOR ČESKÉ REPUBLIKY. *Wwww.hzscr.cz [online]*. Praha, 2010 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: www.hzscr.cz

informace, kterou se sdělují obyvatelstvu informace o bezprostředním nebezpečí vzniku nebo již nastalé mimořádně události a opatření k ochraně obyvatelstva.⁴⁶

Vyrozuměním se rozumí komplexní souhrn organizačních, technických a provozních opatření zabezpečujících včasné předání informací o hrozícím, nebo již vzniklé mimořádně události složkám IZS, orgánům územní samosprávy a státní správy, právníckým osobám a podnikajícím fyzickým osobám podle havarijních nebo krizových plánů. Pro vyrozumění lze využít široký spektrum komunikačních prostředků. Požívá se např. telefonního spojení v pevné i mobilní síti, tzv. „mobilních krizových telefonů“, rádiového spojení v síti složek IZS, osobních svolávacích přijímačů tzv. „pagerů“, sirén pro svolání jednotek požární ochrany a sboru dobrovolných hasičů atd..⁴⁷

6.2.3.3 Kolektivní ochrana obyvatelstva ukrytím

Organizování a poskytování úkrytů je jedním ze základních úkolů civilní ochrany vyplývající z Dodatkového protokolu k Ženevským úmluvám z 12. srpna 1949 o ochraně obětí mezinárodních konfliktů.

Ukrytím obyvatelstva rozumíme opatření, sloužící k jeho ochraně proti účinkům a následkům velkých provozních havárií a proti účinkům zbraní hromadného ničení. Je zabezpečována ve vytypovaných prostorech podzemních nebo nadzemních částí budov, dále v jiných vhodných prostorech upravovaných svépomocí obyvatelstva s využitím materiálů z místních zdrojů na improvizované úkryty a ve stálých úkrytech a systémech podzemních dopravních staveb.⁴⁸

6.2.3.4 Jódová profylaxe

Jódová profylaxe je namířena pro působení radioaktivního jódu, který je významnou součástí radioaktivního mraku uvolňovaného z havarovaného reaktoru. Radioaktivní izotopy jódu, zejména ¹³¹I, přecházejí v případě vdechnutí nebo požití do vnitřního prostředí a jsou vychytávány štítnou žlázou, kde se mohou hromadit ve vysoké koncentraci a vést k jejímu poškození. TO by mohlo být jednak prahového (deterministického) typu a spočívalo by v poklesu funkce štítné žlázy v časném nebo i pozdním období, jednak stochastického typu ve formě benigních uzlů nebo rakoviny. Stabilní jodid draselný blokuje ukládání radioaktivního jódu do štítné žlázy.

⁴⁶ HASIČSKÝ ZÁCHRANNÝ SBOR ČESKÉ REPUBLIKY. *Www.hzscr.cz [online]*. Praha, 2010 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: www.hzscr.cz

⁴⁷ MARTÍNEK, B. *Ochrana obyvatelstva I*. 1. vyd. Praha: PA ČR, 2009

⁴⁸ PACINDA, Š., PIVOVARNÍK, J. *Kolektivní ochrana obyvatelstva*, Ministerstvo vnitra, Praha, 2010

-
- Dospělí (nad 12 let věku, včetně těhotných a kojících žen): 130mg (2 tablety)
 - Děti do 12 let: 65 mg (1 tabletu)
 - Děti do 3 let: 32,5 mg (1/2 tablety)
 - Novorozenci do 1 měsíce: 16 mg (1/4 tablety)⁴⁹

6.2.3.5 Dekontaminace

Dekontaminace představuje významné opatření aktivní ochrany proti škodlivým látkám. K tomu, abychom mohli správně chápat a řešit provádění dekontaminace, musíme znát příčinu a tou je kontaminace. Kontaminace je znečištění osob, zvířat, věcí, rostlin, prostor a prostředí škodlivými látkami. Setkáváme se s ní při haváriích s únikem nebezpečných nebo radioaktivních látek, při požárech, výskytu a projevech infekčních onemocnění a nálezů.

Formy kontaminace mohou být vnější a vnitřní, vnější forma se projevuje kontaminací povrchu předmětu, rostlin, lidského těla nebo zvířat. Při vnitřní formě dochází k proniknutí kontaminantu do vnitřních vrstev a tím k následné kontaminaci organismu.

Dekontaminace je soubor metod, postupů, organizačního zabezpečení a prostředků k účinnému odstranění kontaminantů. Vzhledem k tomu, že úplné odstranění kontaminantů není možné (zbytková kontaminace), stanovíme definici dekontaminace jako snížení účinného účinku kontaminantu na bezpečnou úroveň, která neohrožuje zdraví a život osob a zvířat a jeho likvidaci.

Dekontaminaci dělíme podle druhu odstraňovaných látek: chemických na detoxikaci, radioaktivních na dezaktivaci a biologických na dezinfekci. Metody provádění dekontaminace rozdělujeme na mechanické, což je vysávání a smývání, fyzikální, což je odpařování a sorpce, chemické, to je reakce kontaminantů s vhodným činidlem, při níž dochází buď k úplnému rozložení látky nebo přeměně na podstatně méně toxické produkty, případně na sloučeninu nebo formu sloučeniny, jejíž odstranění je snadnější, případně usmrcení mikroorganismů.

Dezaktivace se provádí obdobnými postupy jako kterákoliv jiná dekontaminace, přesto má svá specifika a problémy. Jedním z nich je, že radioaktivní lze při dezaktivaci pouze odstranit, ale nelze je zničit. Cílem dezaktivace je snížit riziko ozáření osob, redukovat šíření radioaktivních látek přenosem, zejména přímým kontaktem

⁴⁹ENDEPIE. www.enpedie.cz [online] Efektivní přenos údajů o jaderné energetice. Praha, 2005 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://enpedie.cz/>

kontaminovaných a nekontaminovaných ploch, ale i zabránění druhotné vnitřní kontaminaci. Úspěšně provedená dezaktivace je ta, při které je dosaženo hodnot plošné aktivity nižší než $10 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$. Dekontaminace je závislá na druhu radionuklidů aktivitě radionuklidů, množství kontaminantu, skupenství radioaktivní látky, ve které se kontaminant vyskytuje, vlastnostech kontaminovaného povrchu.

7 HAVÁRIE JADERNÝCH ELEKTRÁREN

7.1 Černobyl

7.1.1 Obecná fakta

Jaderná elektrárna Černobyl se nachází v blízkosti města Pripjat' na Ukrajině, asi 110 km severně od Kyjeva, blízko hranic s Běloruskem. Elektrárna sestávala ze čtyř bloků, z nichž v každém pracoval jaderný reaktor typu RBMK 1000. Nominální výkon reaktoru byl 1000 MW_e (elektrický), respektive 3200 MW_t (tepelný). Právě jeden z těchto reaktorů se stal příčinou největší havárie jaderné elektrárny v historii.

Dne 26. dubna 1986 v 1:23 ráno zničily dva výbuchy reaktor 4. bloku jaderné elektrárny Černobyl. Výbuchy páry a následný 10 dní trvající požár grafitového moderátoru uvolnil z aktivní zóny reaktoru do ovzduší cca 5% z celkového inventáře radionuklidů.⁵⁰ Blok o výkonu 1000 MW_e byl vybavený grafitovým, vroucí vodou chlazeným reaktorem kanálového provedení na mírně obohacený uran (2%) typu RBMK. Reaktory tohoto typu byly budovány pouze v bývalém SSSR, havarovaný blok byl čtrnáctým v pořadí. V době havárie byl cca 1 rok v komerčním provozu.

Hlavním nedostatkem tohoto typu reaktoru, vyplývajícím z kombinace použitých materiálů aktivní zóny, a také prvopříčinou havárie, byl kladný parní i výkonový koeficient reaktivity při určitých provozních podmínkách (při malém počtu zasunutých absorbátorů a při malém výkonu. Tato „kladná zpětná vazba“ je z hlediska jaderné bezpečnosti zcela nepřijatelná a u ostatních komerčních energetických reaktorů je podobná vlastnost objektivně zcela vyloučena.

U reaktorů RBMK byl (lépe řečeno) měl být tento zásadní koncepční nedostatek vykompenzován provozním předpisem, který jednoduše provoz při shora uvedených nebezpečných podmínkách zakazoval. Život pochopitelně ukázal, že takové zajištění

⁵⁰ Černobylská havárie aneb Pravda není nikdy čistá a málokdy bývá jednoduchá. In: DRÁBOVÁ, Dana. *Www.sujb.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/cernobyl/cernobylska_havarie.pdf

jaderné bezpečnosti je naprosto nedostatečné a proto nepřijatelné. Provozní personál nejen, že provoz při zakázaných podmínkách připustil, ale navíc se dopustil dalších hrubých chyb (včetně zablokování některých systémů automatického odstavení reaktoru).⁵¹

7.1.2 Popis a rozsah havárie v Černobyli

A tak při celkem běžném provozním experimentu, jehož cílem bylo ověření dodávek elektřiny pro čerpadla primárního okruhu reaktoru ze setrvačného doběhu turbíny po odstavení turbín bloku a úplném výpadku vnějšího napájení. Cílem bylo udržení chodu čerpadel po dobu 50 sekund, než naskočí dieselařegáty. Průběh experimentu měl vypadat následovně:

1) Nejprve se měl snížit výkon reaktoru na 1/2 a mělo dojít k odpojení první ze dvou turbín bloku.

2) Poté mělo následovat další snižování výkonu až na 1/3, což byla takřka minimální bezpečná hranice provozu reaktoru RBMK.

3) Dále mělo následovat uzavření druhé turbíny, tento krok měl být zároveň signálem pro systém havarijní ochrany, který měl současně automaticky odstavit reaktor.⁵²

O havárii jaderné elektrárny Černobyl je známo:

- Dne 26. Dubna 1986 v 01 h 23 min 44 s došlo k těžké havárii jaderného reaktoru.
- Vedoucí noční směny vyřadil bezpečnostní automatiku a řídící tyče byly zdviženy tak a v nedovoleném počtu, že při malém výkonu nestabilní reaktor náhle zvýšil výkon na stonásobek, nestačily sjet včas do aktivní zóny.
- Následně dvě exploze - tepelná a vodíková, roztrhly betonový blok reaktoru a odhodily jeho víko. Vyletující rozžhavené trosky zapálily asfaltový potah střechy, při jejím propadnutí bylo s mračnem kouře do vzduchu vyvrženo asi 5 tun radioaktivního paliva.⁵³
- Při první explozi byly do okolního prostoru rozptýleny různé materiály.
- Při druhé explozi došlo k vyvržení jaderného paliva a grafitu.

⁵¹ KLIK, F., DALIBA, J. Jaderná energetika. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998., s. 181,182

⁵² Černobylská havárie aneb Pravda není nikdy čistá a málokdy bývá jednoduchá. In: DRÁBOVÁ, Dana. *Www.sujb.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/cernobyl/cernobylska_havarie.pdf

⁵³ TUMA, J. Katastrofy techniky děsící 20 století, Praha: Academia, 2000, s. 279

-
- První exploze vznikla v důsledku přetlakování chladicího okruhu.
 - Příčiny druhé exploze nebyly dosud objasněny, jednalo se nejspíše o explozi způsobenou reakcí vodní páry s přehřátými materiály aktivní zóny.⁵⁴
 - Došlo ke značnému poškození budov.
 - Jeřáb a stroj k zavádění paliva do reaktoru se zřítily.
 - Horní deska reaktoru se výbuchy přemístila směrem doprava uvnitř haly reaktoru.
 - Byly poškozeny všechny kanály aktivní zóny.
 - Řetězová reakce se zastavila.⁵⁵
 - Aktivní zóna reaktoru obsahovala v době havárie radioaktivitu 4.10 Bq (Bequerel, jednotka radioaktivity, definovaná 1 radioaktivním rozpadem za sekundu). Na základě měření po havárii bylo odhadnuto, že do okolí uniklo 1-7% (SÚJB uvádí cca 5%) jejího inventáře.
 - Únik radioaktivních látek neprobíhal během jedné velké události, ale byl rozdělen do několika dílčích fází. ->
 - První den uniklo cca 25% celkového úniku radioaktivních látek.
 - Další únik byl rozprostřen do období trvající přes 9 dní. Během tohoto děje byly shromažďovány vzorky vzduchu a usazených materiálů v okolí.⁵⁶

7.1.3 Příčiny havárie v Černobylu

Havárie byla způsobena souhrnem několika rizikových faktorů. Jednalo se obecně o tyto:

- Chyby projektu a nedostatečné bezpečnostní analýzy.
- Chyby operátorů.
- Nízká kultura bezpečnosti na všech stupních (projekt, výstavba, provoz).
- Politické souvislosti, vliv prostředí.

Jde především o samotný projekt reaktoru RBMK, kterými byl Černobyl osazen a se kterým je dnes jaderná nehoda spojována. Jaderný reaktor nedosahoval úrovně současných standardů bezpečného provozu – ať už jde o samotný fyzikální princip fungování, nízkou úroveň automatizační techniky apod. Záporné vlastnosti reaktoru

⁵⁴ KLIK, F., DALIBA, J. Jaderná energetika. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998., s. 181,182

⁵⁵ ČESKOSLOVENSKÁ KOMISE PRO ATOMOVOU ENERGII, Havárie v černobylské jaderné elektrárně, Ústřední informační středisko pro jaderný program, 1986, s. 15, 22, 24

⁵⁶ PRAŽÁKOVÁ, M. Havárie jaderné elektrárny Černobyl z bezpečnostního hlediska, České Budějovice: VŠERS, 2010, s. 18

byly tyto: kladný teplotní dutinový koeficient reaktivity, nestabilita při nízkém výkonu, nerovnoměrné rozložení výkonu v aktivní zóně, špatná analýza důsledků nízké operativní zásoby reaktivity, možnost vypnutí či obejití ochranných systémů reaktoru při provozu, nedostatečná rychlost zasouvání řídicích tyčí při SCRAM (safety control rod axe man), řídicí tyče z karbidu bóru s grafitovým koncem čili vnos kladné reaktivity na počátku dráhy.

Dalším faktorem byla snaha o jednoduchý reaktor jak pro vojenské, tak civilní účely a spěch na uvádění reaktoru do praxe, proto nebyl čas na analýzy a zlepšení. Jaderná havárie byla také do značné míry způsobena selháním lidského faktoru na všech úrovních. Jaderná nehoda v Černobylu byla do značné míry způsobena profesními chybami, kterých se dopustil provozní personál. Ten nerespektoval bezpečnostní omezení a předpisy. Operátoři se dopustili těchto pochybení:

- Provoz při nízkém výkonu, posléze s otráveným reaktorem.
- Nedostatečná operativní zásoba reaktivity.
- Připojení všech cirkulačních čerpadel a nedodržení jejich požadovaných parametrů.
- Zablokování automatického odstavení reaktoru signálem „trip obou TG“.
- Zablokování automatického odstavení reaktoru signálem „nízká hladina a tlak páry v separátorech“.
- Vypnutí havarijního ochlazení aktivní zóny.

Vinu na jaderné havárii nese i vedení elektrárny fungující plně ve vleku direktivních a často politicky motivovaných rozhodnutí nadřízených orgánů. Opomenout však nelze ani negativní vliv utajování informací souvisejících s jadernou energetikou, které však bylo pro tehdejší sovětský režim typické i ve většině jiných oblastí.⁵⁷

7.1.4 Následky havárie v Černobylu

Rozsah havárie byl tak obrovský, že vedle rozsáhlých zdravotních na široké okolí elektrárny, přilehlých států a vlastně celou Evropu, měla tato událost vliv i na společnost a ekonomiku. Následky lze proto rozdělit na ekologické následky - poškození ekosystému, přímé účinky na zdraví obyvatel, sociální a ekonomické následky.

⁵⁷ Černobylská havárie aneb Pravda není nikdy čistá a málokdy bývá jednoduchá. In: DRÁBOVÁ, Dana. *Www.sujb.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/cernobyl/cernobylska_havarie.pdf

Ekologické následky:

Únik a usazování radioaktivního materiálu: Po explozi 26. dubna docházelo po 10 dnech k velkým únikům radionuklidů ze 4. bloku černobylského reaktoru. Tyto úniky obsahovaly radioaktivní plyny, kondenzované aerosoly a velké množství částic paliva. Celkový únik radioaktivních látek byl kolem 14 EBq4 včetně 1,8 EBq jódu-131, 0,085 EBq 137Cs, 0,01 EBq 90Sr a 0,003 EBq radioizotopů plutonia. Vzácné plyny činily asi 50% celkových úniků. Více než 200 000 čtverečních kilometrů v Evropě bylo kontaminováno 137Cs nad úroveň 37 EBq m⁻². Více než 70% této plochy bylo ve třech nejzasáženějších zemích – v Bělorusku, Rusku a na Ukrajině. K usazení většiny radioizotopů stroncia a plutonia došlo v okruhu 100 km od zničeného reaktoru, a to z důvodu větších rozměrů částic.

Kontaminace lesů: Po havárii prokazovaly rostliny a zvěř v lesních a horských oblastech obzvláště vysoký příjem radioaktivního cesia s nejvyššími zaznamenanými úrovněmi 137Cs v lesních plodinách. Nejvyšší kontaminace byla zjištěna v houbách, bobulích a zvěřině. Odumřely asi 4 km² borového lesa a několik desítek km² bylo poškozeno.

Kontaminace zemědělských ploch: Na začátku bylo největším problémem povrchové usazování radionuklidů. V této době byla nejvýznamnější kontaminace mléka radioaktivním jódem. Několik let po havárii byly pozorovány mikromutace u pšenice. Bylo zjištěno zvýšené odumírání jehličnanů, bezobratlých živočichů a savců a ztráta reprodukční schopnosti u rostlin i zvířat.

Kontaminace vod: Radioaktivita z Černobyli kontaminovala povrchové vodní systémy v oblastech blízko elektrárny i v mnoha jiných částech Evropy. V prvních několika týdnech po havárii vzbuzovaly největší obavy vysoké koncentrace aktivity v pitné vodě z kyjevské nádrže a příjem radioaktivního jódu rybami, ale koncentrace aktivity rychle klesala především vlivem rozpadu.

Zdravotní dopady: Při černobylské havárii došlo k ozáření tří kategorií obyvatel:

- Pracovníci likvidující následky havárie, kteří pracovali na JE Černobyl po havárii;
- Obyvatelstvo evakuované z kontaminovaných oblastí;
- Obyvatelé kontaminovaných oblastí, kteří nebyli evakuováni.

Část personálu obsluhy bloku a havarijních pracovníků byla 26. dubna 1986 zasažena vysokými dávkami externího gama záření, které se odhadem pohybovaly od 2 do 20 Gy, následkem čehož 28 z nich zemřelo během prvních čtyř měsíců na následky ozáření a tepelných popálenin a dalších 19 zemřelo do r. 2004.

Celkový počet lidí, kteří mohli nebo mohou v budoucnosti zemřít v důsledku ozáření způsobeného havárií během života havarijních pracovníků a obyvatel nejvíce kontaminovaných oblastí, se odhaduje na 4 000. Tento celkový počet zahrnuje asi 50 havarijních pracovníků, kteří zemřeli na syndrom akutního ozáření (ARS) v roce 1986 a z jiných příčin v pozdějších letech, 9 dětí, které zemřely na rakovinu štítné žlázy, a odhadem asi 3 940 lidí, kteří mohli zemřít na rakovinu způsobenou ozářením. Toto poslední číslo se vztahuje na 200 000 pracovníků podílejících se na likvidaci následků havárie a nápravných operacích z let 1986-1987, 116 000 evakuovaných lidí a 270 000 obyvatel nejvíce kontaminovaných oblastí. Vystavení radiaci rovněž potenciálně vede ke zvýšenému výskytu leukémie.⁵⁸

Sociální a ekonomické dopady:

Jakákoliv traumatická příhoda nebo událost může způsobit výskyt příznaků stresu, deprese, úzkosti (včetně post-traumatických stresových symptomů) a lékařsky nevysvětlených fyzických symptomů. Tyto jevy byly hlášeny také u populace vystavené radiaci v Černobylu. Ekonomický dopad přesunu více než 300 000 obyvatel byt také obrovský. Pokračovalo se v konzumaci kontaminovaných potravin, které byly často jediným zdrojem obživy pro chudé lidi. Sociální a ekonomické dopady byly zesíleny bagatelizováním účinků havárie sovětskou vládou, další nepřesné údaje měli za následek rezignování na zdravý způsob života obyvatel.⁵⁹

7.1.5 Užitek havárie v Černobylu

Černobyl znamenal konec a začátek. Konec etapy, kdy se jaderná energetika vyvíjela v jednotlivých regionech dosti izolovaně, a začátek cesty k mezinárodnímu sdílení zkušeností mezi všemi členy jaderné komunity. Černobyl nade vši pochybnost ukázal, že otázky jaderné bezpečnosti přesahují hranice států.

Přes počáteční ostře odmítavou reakci veřejnosti a médií podíl jaderné energetiky na světové výrobě elektřiny nepoklesl, došlo k podstatnému zlepšení bezpečnosti a spolehlivosti jaderných elektráren. Pozornost se zaměřila nejen na

⁵⁸ SMITH, T. J., BERESFORD, A. N. Chernobyl-Catastrophe and consequences, Springer and Praxis Publishing, 2005, s. 296-300

⁵⁹ Dědictví Černobylu-Zdravotní, ekologické a sociálně ekonomické dopady. In: *Www.sujb.cz* [online]. The Chernobyl Forum: ČSVTS v koedici s Českou nukleární společností, 2006 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/chernobyl/Cernobyl_CZ.pdf

technická vylepšení projektu, ale i na podstatné omezení pravděpodobnosti selhání lidského činitele.⁶⁰

7.1.6 Bezpečnostní opatření při černobylské havárii

U plánovaných ochranných opatření – nebyl předvídan tak obrovský rozsah havárie a překvapil prakticky všechny národní autority odpovědné za havarijní připravenost v zemích provozujících JE. Doporučovaná kritéria a postupy neodpovídaly ani očekávanou délkou úniku radionuklidů a ani jeho rozsahem nastalé situaci. Osoby/instituce odpovědné za rozhodování a řízení havárie nebyly připraveny na volbu a aplikaci adekvátních ochranných opatření. I když existovala již zmíněná mezinárodní doporučení (např. i pro regulaci potravních řetězců), v mnoha případech (pochopitelně především v SSSR a zemích sousedních a blízkých zemích místu havárie) byla přijata opatření, kdy rozhodující roli nehrála radiologická/radiačně-hygienická hlediska, ale spíše sociálně-ekonomická a politická hlediska.

V prvních dnech „černobylské havárie bylo provedení určitých, okamžitých akcí považováno v některých zemích Evropy za nezbytné, jak však ukázala pozdější hodnocení efektivity těchto opatření, jejich zavádění bylo motivováno spíše nepřiměřenou mírou konzervatismu než informovaným, odborným posouzením (např. zaorávání zemědělských plodin, omezení porážek některých druhů hospodářských zvířat, omezení distribuce některých druhů mas na jedné straně a vyplácení pojistek a finančních příspěvků, neomezení distribuce druhé sklizně, apod. na straně druhé). Tyto rozdílné reakce systémů havarijní připravenosti (od nezavádění žádných specifických ochranných opatření na základě hodnocení výsledků zintenzivněných programů monitorování v některých zemích - až po nucené, ne vždy zdůvodněné restriktce týkající se distribuce a spotřeby potravin, zpravidla nezávislé na skutečné míře rizika, v jiných zemích) vyvolaly mnohdy zmatek a nejistotu nejen mezi obyvatelstvem, ale i mezi orgány odpovědnými za zavádění opatření.

Je však třeba říci, že uvedené problémy byly brzy identifikovány a úsilí mezinárodních, ale i v mnoha zemích vládních, institucí a organizací vedlo v následujících měsících a letech ke zpracování „poučení“ a k přijetí harmonizovaných kritérií, postupů a doporučení.

⁶⁰ Černobylská havárie aneb Pravda není nikdy čistá a málokdy bývá jednoduchá. In: DRÁBOVÁ, Dana. *Www.sujb.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/cernobyl/cernobylska_havarie.pdf

Současně je třeba ocenit, přes neomluvitelné lidské chyby, k nimž došlo v posledních hodinách před vznikem havárií obrovské úsilí všech záchranářských a likvidačních jednotek a odborných i řídicích pracovníků, kteří realizovali, či podíleli se na realizaci ochranných a likvidačních opatření od prvních dnů „černobylské havárie“.

Černobylská havárie“ byla důsledkem nejen nedostatků v projektu havarovaného reaktoru RBMK-1000 (nedostatečné ochranné bariéry, nestabilita provozu při nízkých výkonech, složitý systém kontroly, řízení, odstavování reaktoru a jeho chlazení, apod.), ale zejména důsledkem hrubých porušení provozních předpisů i postupů při experimentu, jehož průběhu k havárii došlo (ztráta smyslu pro hodnocení rizik, chybějící „safety culture“).

Následky havárie na personál JE a v první fázi havárie na zasahující jednotky (hasiče, zdravotníky) byly značné. Nejen, že v průběhu daného experimentu byly provozní směnou JE neodpovědně znehodnoceny funkce bezpečnostních systémů reaktoru, ale v době bezprostředně po výbuchu reaktoru (i když havarijní plán JE s takovým scénářem nepočítal) nebyla provedena prakticky žádná opatření na ochranu personálu JE ani na ochranu hasičů a záchranářů:

- nebylo zajištěno vybavení ochrannými pomůckami a lidé si nebyli vědomi rizika, které podstupují,
- hasiči v průběhu 3 hodin lokalizovali a uhasili požár na 4. havarovaném bloku a zabránili jeho rozšíření na další bloky JE; třetí blok JE odstaven půldruhé hodiny po vzniku havárie, 1. a 2. bloky až 24 hodin po té,
- dostupné přístroje na JE (ani osobní dozimetry) nebyly schopny měřit dávkové příkony nad 100 Gy/h, které se vyskytly kolem JE (obr. 1); ani v okolí JE nebyly automatizované monitorovací stanice, které by daly informaci o reálné radiační situaci.

Krátce po explozi reaktoru a vzniku havárie byly signály o této skutečnosti automaticky předány Státnímu výboru pro využití jaderné energie v Moskvě, kde bylo rozhodnuto vyslat odborníky z Moskvy na místo havárie, aby řídili havarijní operace; současně byla vytvořena vládní komise, která měla pravomoc mobilizovat potřebné zdroje - vedení JE nemělo k dispozici ani tyto zdroje, ani oprávnění řídit opatření nutná k likvidaci havárie takového rozsahu a jejích následků; navíc, vypracovaný havarijní plán neodpovídal vzniklé situaci.

- Oficiální informace o možných důsledcích havárie na okolní státy byla zveřejněna až v neděli 27. 4. 1986.

-
- Vyhlášení ukrytí a rozdávání jódových tablet bylo provedeno rovněž až v neděli 27. 4. krátce před zahájením evakuace (pozdější odhady ukázaly, že obyvatelé Pripjati obdrželi 20 až 60% celkové dávky na štítnou žlázu inhalací radionuklidů jódu).
 - I když vyrozumění odpovědných orgánů proběhlo více méně podle připraveného plánu, s ohledem na centralizaci řízení v oblasti využívání jaderné energie v SSSR, reakce systému byla neúměrná rozsahu a průběhu havárie (důvody však byly spíše v politické než technické a odborné rovině), systém varování obyvatel selhal (jiné události z dalších let – rozsáhlé povodně v Asii, v USA - potvrdily, že existence/kvalita systémů vyrozumění s varování může významně ovlivnit důsledky havárii či jiné katastrofy, včetně počtu postižených osob)
 - Základní chybou odpovědných orgánů však bylo, že obyvatelstvo nebylo včas varováno (informováno o havárii) a nebyly včas nařízeny a provedeny ukrytí a jódová profylaxe.
 - Významná byla a dosud jsou opatření týkající preventivní a léčebné péče o osoby, u nichž s ohledem na ozáření je zvýšená pravděpodobnost vzniku nádorových onemocnění (zejména štítné žlázy), a opatření zaměřená na kontrolu produkce, distribuce a spotřeby potravin na kontaminovaném území. Rozsah a pokračování v těchto opatřeních je závislé na ekonomických možnostech a suportu potravin ze zahraničí.

7.1.7 Jak ovlivnila černobylská havárie a její důsledky systémy havarijní připravenosti

Zkušenosti s jadernou havárií těchto rozměrů mají nesmírnou cenu pro celosvětový vývoj doporučení, kritérií a standardů k zajištění jaderné bezpečnosti, k plánování a zavádění ochranných opatření, k vývoji a ověřování nových modelů šíření radionuklidů v životním prostředí a pro studium biologických účinků záření obecně (epidemiologické a lékařské studie a výzkumy). Pokračující opatření v oblasti kontroly a regulace potravních řetězců v bývalých zemích SSSR budou i nadále zdrojem informací pro zpracovávání a hodnocení kritériální báze a doporučení pro plánování a zavádění podobných opatření, bude-li to třeba, v budoucnu. Na základě faktů a zkušenosti vyplývajících z realizace a hodnocení v průběhu a po „černobylské havárii“ provedených opatření, bylo možno formulovat obecná doporučení:

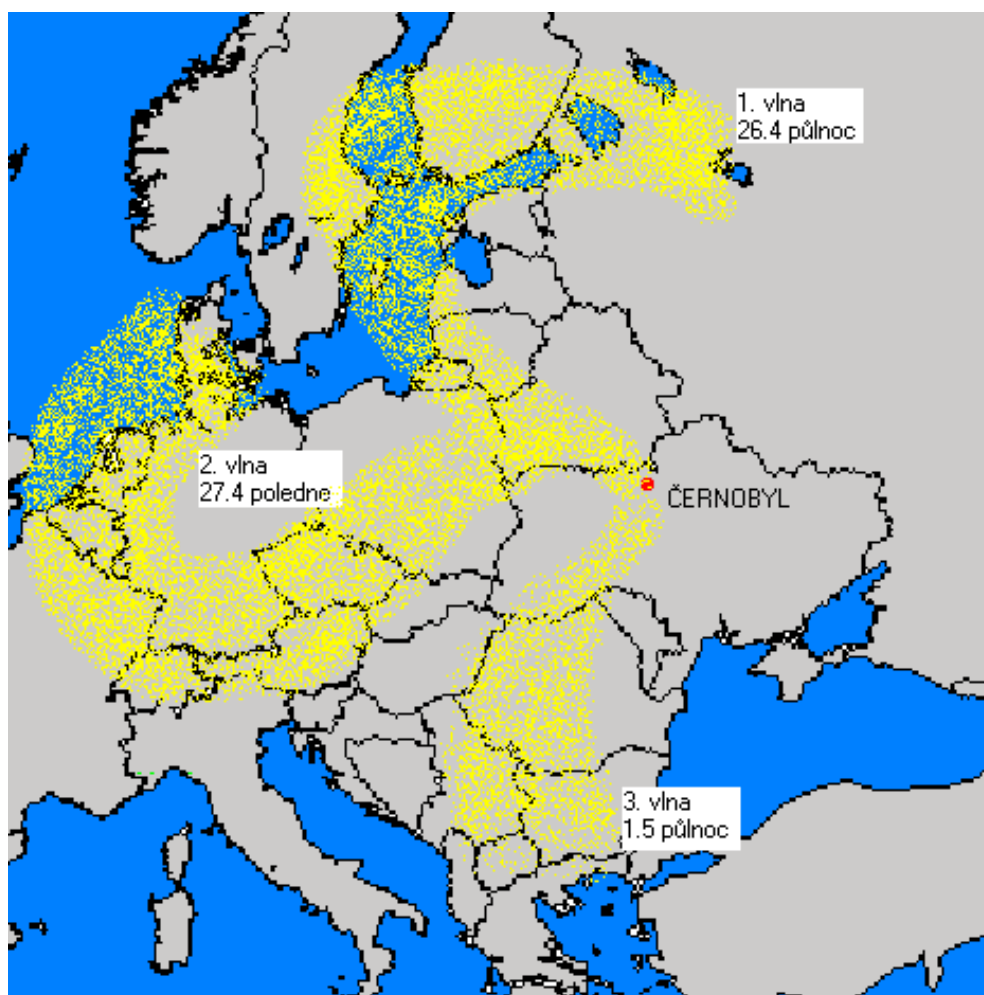
-
- Nutnost výstavby/provozování funkčních systémů varování a informování obyvatelstva nejen pro období vzniku havárie, zavádění neodkladných opatření, ale i pro pozdní fáze zavádění následných opatření, včetně procesu analýzy faktorů ovlivňujících akceptaci daného opatření veřejností.
 - Vytvoření mezinárodně akceptovatelné báze kritérií pro zajištění jaderné bezpečnosti a požadavků radiační ochrany, vytváření postupů pro zavádění ochranných opatření, včetně metodiky hodnocení, zahrnující vážení zdravotní újmy a nákladů na plánovaná a uskutečněná opatření. Následné roky po „černobylské havárii“ ukázaly významný pokles důvěry v jadernou energetiku, který šel tak daleko, že v některých zemích došlo k zastavení/přerušeni jaderných programů (Rakousko, Itálie, Německo).

Jako nezbytná se také ukazuje být sociálně-psychologická pomoc. Takzvaní „stakeholders“ nejsou součástí složek podílejících se na zavádění ochranných opatření a provádění opatření na zmírnění, či likvidaci následků dané havárie, ale daná problematika se jich dotýká – jde o osoby, které: budou buď zapojeny do procesu hodnocení („decision aiders“) havárie a jejích důsledků – pracovníci analytických center provádějících nezávisle na jaderné elektrárně hodnocení dané události, dále právníci, ekonomové, sociologové, psychologové, kteří se budou podílet na hodnocení důsledků dlouhodobých opatření – regulace potravních řetězců, řešení případných problémů s přesídlením, odškodňováním způsobených škod, apod., nebo půjde o osoby, skupiny obyvatel, které danou událostí mohou být přímo dotčeny, a jejichž hlas v procesu plánování musí být brán v úvahu.

„Černobylská havárie“ ukázala, že tak rozsáhlý únik radionuklidů nezná hranic, a proto jejím nejvýznamnějším důsledkem je skutečnost, že jak odborníci, tak politici si začali plně uvědomovat, že bezpečný provoz JE, snížení pravděpodobnosti vzniku podobné události vyžaduje mezinárodní spolupráci v řadě oblastí, které souvisejí s havarijní připraveností. Příkladem je přijetí Úmluvy o včasném oznamování jaderné havárie a Úmluvy o vzájemné pomoci v případě jaderné havárie a radiologické nehody a přijetí Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí (INES) v březnu 1990 společně Mezinárodní agenturou pro jadernou energii (IAEA) a Agenturou pro jadernou energii Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (OECD/NEA).⁶¹

⁶¹ Co přinesl Černobyl v oblasti havarijní připravenosti. In: PROUZA, Zdeněk. *Www.sujb.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/cernobyl/Co_prinesl_Cernobyl_v_HP.pdf

Obr. 3: Mapa šíření radioaktivního mraku⁶²



7.2 Three Mile Island

7.2.1 Obecná fakta

Jako "americký Černobyl" bývá někdy označována nehoda v americké jaderné elektrárně Three Mile Island, která byla ohodnocena stupněm 5 podle INES. Částečné roztavení jádra reaktoru, provázené únikem radioaktivity do ovzduší, bylo nejhorší havárií, jaká kdy potkala atomovou elektrárnu na území Spojených států. Vážný incident z 28. března 1979 významně ovlivnil vnímání rizik spojených s výrobou elektřiny z jádra, a to nejen u americké veřejnosti. Tragický řetězec událostí se začal v elektrárně poblíž pensylvánského města Harrisburg odvíjet kolem čtvrté ráno. Na jeho počátku stál výpadek čerpadel sekundárního, tedy nejaderného okruhu, jenž vedl k automatickému odstavení druhého bloku. Zbytkové teplo však nadále ohřívalo vodu v

⁶² Černobylský experiment a průběh havárie. In: www.cernobylzone.cz [online]. 2012 [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: <http://chernobylzone.cz/cernobylsky-experiment-a-prubeh-havarie/>

reaktoru, která se kvůli poruše na sekundárním okruhu nemohla ochlazovat ve výměnících.⁶³

7.2.2 Průběh a příčiny havárie v TMI

Na obr. 4 jsou uvedeny jen ty části jaderné výroby páry, které měli vztah k havárii. Vše začalo vypadnutím napáječky od vlastních ochran, což je běžná porucha (iniciující porucha), předpokládaná projektem. Proto se automaticky zapojila rezervní (havarijní) napáječka, ale další průběh událostí byl komplikován jak v důsledku technických, tak lidských chyb a selhání. Především voda dodávaná havarijní napáječkou se do parního generátoru nedostala, neboť v rozporu s provozními předpisy byl uzavřen blokovací ventil (4) – chyba obsluhy, která byla později (po cca 8 minutách) odstraněna.

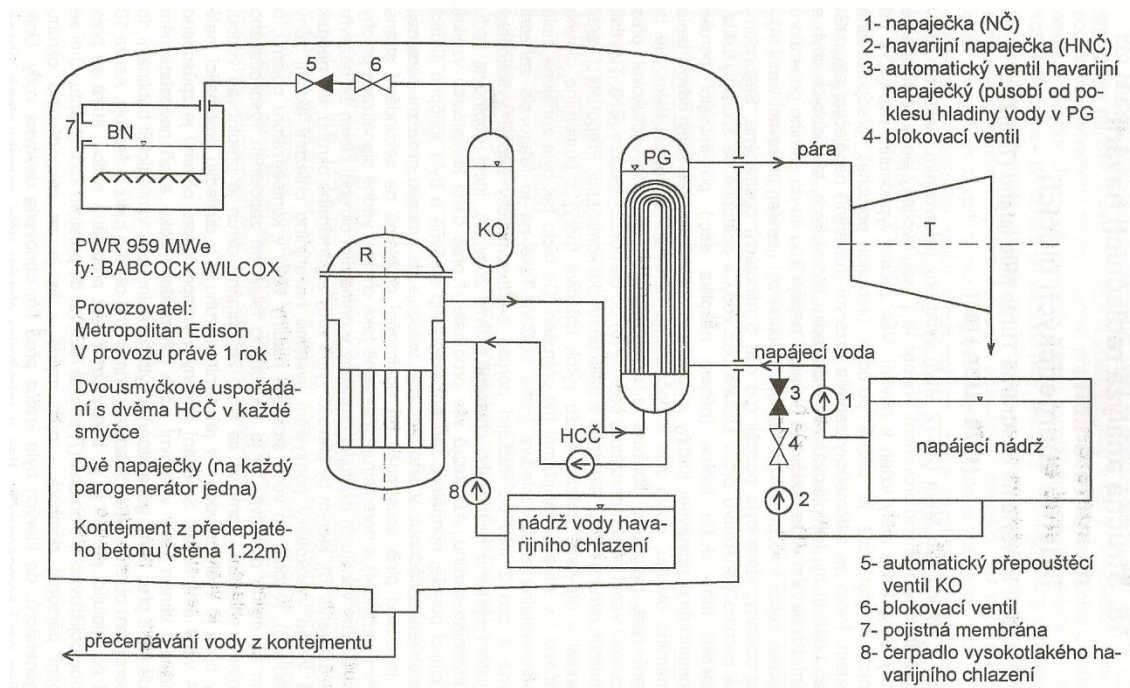
Sekundární strana parního generátoru proto zůstala bez vody a postupně se zcela vysušila. V důsledku toho došlo krátce (během několika sec.) po iniciující poruše k automatickému odstavení turbíny a reaktoru. Jelikož byl zhoršený odvod tepla z primárního okruhu, došlo, zde k dočasnému narůstání teploty a tlaku. Na to zařízení opět reagovalo správně a primární okruh si začal odfukovat přes přepouštěcí ventil na kompenzátoru objemu (5) do barbotážní nádrže (BN). Tím tlak v primárním okruhu klesal, ale došlo k další technické komplikaci. Přepouštěcí ventil se zasekl v otevřené poloze, takže výtok chladiva (páry) z primárního okruhu pokračoval i v situaci, kdy již měl být přerušen. Také na to reagovalo zařízení správně a cca 2 min po iniciující poruše se automaticky zapojil vysokotlaký podsystém systému havarijního chlazení aktivní zóny (8), který doplňoval vodu do primárního okruhu.

Až dosud vše probíhalo, i přes další komplikace vzniklé po iniciující poruše, normálně, zařízení reagovalo správně a bylo schopno situaci bez problémů zvládnout. V této fázi však vstupuje do procesu provozní personál, který je dosud plně soustředěn na odstranění problémů na sekundární straně (otevření ventilu 4) a neregistruje (částečně také chybu vadné signalizace polohy přepouštěcího ventilu 5) existující problémy v primárním okruhu. Nejenže nezavře blokovací ventil (6), kterým by přerušil výtok vody z primárního okruhu, ale naopak ručně vypne vysokotlaký podsystém systému havarijního chlazení aktivní zóny (čerpadla 8). K tomu ho vede stoupaní hladiny vody v kompenzátoru objemu, o kterém se mylně domnívá, že je způsobeno

⁶³ Jaderná havárie v Pensylvánii - Americký Černobyl. In: *Česká televize* [online]. 2009 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/kalendarium/10085-jaderna-havarie-v-pensylvanii-americky-cernobyl/>

falešným zapojením vysokotlakého havarijního chlazení. Domnívá se tedy, že primární okruh je přeplňován vodou. Pravý opak je však pravdou – v primárním okruhu je vody nedostatek. Stoupání hladiny vody v kompenzátoru objemu je způsobeno počínajícím varem vody v aktivní zóně (při poklesu tlaku a při nedostatečném odvodu tepla přes parní generátory) a vytlačováním vody vznikajícími bublinami do kompenzátoru objemu.

Obr. 4: TMI - systémy mající vztah k havárii⁶⁴



Únik chladiva z primárního okruhu tudíž pokračuje. Asi za 10 minut po iniciující poruše je již barbotážní nádrž přeplněna vodou, která se přes prasklou pojistňovací membránu (7) začíná rozlévat do prostoru kontejmentu. O ní se provozní personál domnívá - opět mylně – že je ze sekundárního okruhu parogenerátorů, do kterých byla krátce před tím obnovena dodávka vody. Únik chladiva není kompenzován, tak v primárním okruhu dále pomalu klesá, obsah parních bublin roste. Ty se zhruba za hodinu a půl po iniciující poruše dostávají až před hlavní cirkulační čerpadla, dochází ke kavitaci a rázům a proto musí být odstavena. Přirozená cirkulace je vzhledem k existujícím bublinám nepatrná, dochází k separaci vody a páry v aktivní zóně. Její horní část je v páře, proto nedostatečně chlazená a přehřívá se. Cca za dalších 30 minut dochází k jejímu začínajícímu poškození, které se projeví růstem radioaktivity vody v primárním okruhu i v kontejmentu.

⁶⁴ KLIK, F., DALIBA, J. Jaderná energetika. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998., s. 5

Teprve pak provozní personál činí nápravná opatření. Zavírá blokovací ventil z kompenzátoru objemu (6) a zapíná vysokotlaký systém havarijního chlazení (8). Stále však dobře nechápe vzniklou situaci a podle výšky hladiny vody v kompenzátoru objemu střídavě vypouští (otevíráním ventilu 6), nebo doplňuje (zapínáním čerpadel 8) primární okruh vodou. Po několika takových cyklech dochází k mírným explozím v kontejmentu, které svědčí o přítomnosti vodíku (reakce vody se zirkonem při vyšších teplotách). Vzniká obava nebezpečí exploze v primárním okruhu a začíná se s evakuací matek a dětí z okolí bloku a připravuje se rozsáhlejší evakuace. Mezitím přijíždějí pracovníci státního dozoru a jadernou bezpečností a přebírají řízení provozu, neboť stávající management je v krizi. Nechávací trvale zapnutý vysokotlaký podsystem havarijního chlazení a postupně odplyňují primární kruh – odstraňují vodní páru a vodík. Po čase je obnoven provoz hlavních cirkulačních čerpadel a reaktor je opět pod kontrolou.

7.2.3 Následky havárie v TMI

Při nehodě a během odklizení jejích následků unikla do ovzduší část radioaktivních plynů a páry. Mnohem masivnějšímu zamoření životního prostředí zabránil ocelový obal reaktoru, který naštěstí zůstal neporušen. Podle oficiálních údajů si havárie nevyžádala oběti na životech, jediným zdravotním následkem pro okolí byl psychický šok umocněný neodpovědnou prací hromadných sdělovacích prostředků.⁶⁵ Provedená měření a následné studie došly většinou k závěru, že množství uniklé radioaktivity představovalo pro zdraví obyvatel jen nepatrné riziko.

První lidé se do zamořené budovy druhého bloku podívali až v červenci 1980. O dva roky později se mohli technici prostřednictvím kamery poprvé přesvědčit o rozsahu vnitřního poškození reaktoru a v říjnu 1985 začaly práce na jeho vyklizení. Dekontaminace bloku byla ukončena v srpnu 1993, ale k obnovení provozu v něm nikdy nedošlo. První blok elektrárny Three Mile Island naproti tomu funguje dodnes.⁶⁶

⁶⁵ KLIK, F., DALIBA, J. Jaderná energetika. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998., s. 181, 183

⁶⁶ Jaderná havárie v Pensylvánii - Americký Černobyl. In: *Česká televize* [online]. 2009 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/kalendarium/10085-jaderna-havarie-v-pensylvanii-americky-cernobyl/>

7.3 Fukušima

7.3.1 Obecná fakta

Dne 11. března 2011 ve 14:46 h místního času zasáhlo Japonsko jedno z největších zemětřesení v jeho historii. Zemětřesení o síle 9,0 stupně Richterovy škály a hlavně následná vlna tsunami měly přímý dopad na 4 japonské jaderné elektrárny a to Onagawa, Tokai, Fukušima 2 a Fukušima 1. Situaci na prvních třech jmenovaných se podařilo velmi brzy pod kontrolu. Tato mimořádná událost však způsobila havárii na jaderné elektrárně Fukušima 1 stupně 7 podle INES.

Obr. 5: Jaderný komplex Fukušima po zemětřesení a tsunami⁶⁷



7.3.2 Průběh a příčina havárie

Jaderná elektrárna Fukušima Daiiči leží přímo při pobřeží. Měla šest varných reaktorů typu BWR o výkonu 480 MW (blok 1), 784 MW (bloky 2, 3, 4 a 5) a 1 100 MW (blok 6). Do provozu byly uvedeny v 70. letech minulého století a jsou provozovány soukromou společností TEPCO (Tokyo Electric Power Company).

Podle informací provozovatele i zprávy japonské vlády byly v době, kdy Japonsko zasáhlo ničivé zemětřesení a tsunami, tři ze šesti fukušimských reaktorů (bloky 4, 5 a 6) v odstávce kvůli pravidelné údržbě. Reaktory 1, 2 a 3 byly v provozu. Poté, co byla elektrárna zasažena zemětřesením, proběhlo automatické havarijní

⁶⁷ Zemětřesení v Japonsku a jaderná elektrárna Fukušima (díl II). In: PETR, NEJEDLÝ. www.nejedly.blog.idnes.cz [online]. 2011 [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: <http://nejedly.blog.idnes.cz/c/182740/Zemetreseni-v-Japonsku-a-jaderna-elektrarna-Fukushima-dil-II.html>

odstavení reaktorů. Po výpadku dodávky elektrického proudu zvenčí, který způsobilo zemětřesení, bylo uvedeno do provozu havarijní chlazení reaktorů pomocí dieselgenerátorů.

Pak ale následovala vlna tsunami (v oblasti elektrárny Fukušima Daiiči dosahovala výšky asi 13 m) a bylo zničeno i havarijní chlazení. Reaktory nebyly dostatečně chlazeny a hladina vody v reaktorové nádobě poklesla. Došlo k obnažení palivových článků a porušení pokrytí paliva, které se začalo tavit a uvolňovat radioaktivní látky. Zvyšující se radiace v reaktorových budovách situaci dále komplikovala. Kvůli rostoucímu tlaku uvnitř kontejnmentu bylo rozhodnuto tento tlak snížit odvětráním. Následně reaktorovými budovami otřásly exploze vodíku, které je poškodily.

Hlavním problémem bylo chlazení reaktorů, na které bylo využito všech dostupných prostředků. Bylo nutno přistoupit ke krizovému řešení a použít k chlazení reaktorů mořskou vodu. Problém představovaly i bazény vyhořelého paliva, a to především u reaktoru č. 4, kam bylo umístěno větší množství paliva čerstvě vyvezeného z reaktoru.

V týdnech následujících po havárii se intenzivně pracovalo na stabilizaci situace, především na obnově dodávky elektrické energie a zajištění stabilního chlazení. V červnu 2011 bylo obnoveno cirkulační chlazení.

Nepoškozené reaktory (bloky 5 a 6), které v době katastrofy byly odstavené, ale obsahovaly palivo, se podařilo díky jednomu zachovanému dieselgenerátoru zchladit a dosáhnout studeného odstavení již 20. 3. 2011. Podle zprávy WHO z loňského června byla několik měsíců po katastrofě situace v poškozené jaderné elektrárně stabilizovaná. Stále probíhalo chlazení poškozených reaktorů č. 1, 2, a 3 a do bazénů vyhořelého paliva u reaktorů 1, 3 a 4 byla čerpána voda. Voda s vysokým obsahem radioaktivních látek byla zadržována. Dne 16. 12. 2011 bylo oznámeno dosažení stavu studeného odstavení i u poškozených reaktorů.

7.3.3 Následky havárie

Důsledkem havárie byly tři reaktory (bloky 1, 2 a 3) s roztaveným palivem. Jejich reaktorové tlakové nádoby byly poškozeny a porušena byla i hermetická těsnost kontejnmentů, reaktorové budovy byly poškozeny. V průběhu havárie došlo k úniku radioaktivních látek do životního prostředí, a to do atmosféry a do oceánu. Do okolního ovzduší byla radiace uvolněna při explozích vodíku, které se vyskytly na bloku 1 (12. 3.

2011), na bloku 2 (15. 3. 2011) a na bloku 3 a 4 (14. 3. 2011) a také při ventilaci pro řízené uvolnění tlaku v kontejnmentech reaktorů.

V současné době jsou úniky radioaktivních látek do ovzduší z poškozené jaderné elektrárny relativně nízké oproti množství radionuklidů uvolňovaných v období po havárii. TEPCO odhaduje, že v současnosti uniká do atmosféry každou hodinu maximálně $1 \cdot 10^7$ Bq radioaktivního cezia.

Radioaktivní látky uniklé do ovzduší byly přenášeny větrem a kontaminovaly rozsáhlé oblasti pevniny na japonském ostrově Honšú i oblast oceánu. Depozice radioaktivního cezia na pevninu je zobrazena na obr. 3. Nejvíce zasaženy byly oblasti severozápadním směrem od elektrárny Fukušima Daiiči. V důsledku havárie bylo evakuováno obyvatelstvo v okruhu 30 km od elektrárny a v dalších nejhůře zasažených oblastech.

Voda, použitá k chlazení, která byla vysoce radioaktivní, se akumulovala v prostorách elektrárny. Bylo zjištěno, že došlo k úniku této vysoce radioaktivní vody do moře netěsnostmi, a to z bloku 2 v dubnu 2011 (asi 520 m³) a z bloku 3 v květnu 2011 (asi 250 m³). Tyto úniky radioaktivní vody spolu s atmosférickou depozicí způsobily kontaminaci mořské vody při japonském pobřeží. V reakci na havárii japonské Ministerstvo zdraví, práce a sociálních věcí (Ministry of Health, Labour and Welfare) nařídilo sledovat radioaktivní látky (jód a cezium) ve vodovodní vodě a v dalších potravinách v oblastech, kde by se mohla vyskytnout radioaktivní kontaminace. Byly ustaveny prozatímní směrné hodnoty (provisional regulation values), při jejichž překročení byla omezena konzumace vody a potravin: pro ¹³¹I (300 Bq/kg, pro kojeneckou stravu 100 Bq/kg), ¹³⁷Cs (200 Bq/kg), uran (20 Bq/kg) a izotopy plutonia a transuranových prvků (1 Bq/kg). K omezení konzumace pitné vody došlo v oblastech v okolí jaderné elektrárny Fukušima z důvodu překročení prozatímních směrných hodnot pro ¹³¹I.

Byla omezena konzumace vody pro kojence z 20 úpraven v pěti prefekturách. V jedné malé úpravně vody (Iitate mura v prefektu Fukušima) nutno omezit konzumaci pitné vody i pro dospělé, maximální naměřená hodnota aktivity ¹³¹I v pitné vodě byla 965 Bq/kg, a to 20. 3. 2011. Nejvyšší aktivity ¹³¹I byly zjišťovány v období od 18. do 29. 3., pak docházelo k jejich poklesu. Ke konci března byla většina omezení odvolána. V platnosti zůstávalo jen omezení konzumace vody kojenci z úpravny Iitate mura, které bylo odvoláno 10. 5. 2011. Aktivity radioaktivního cezia (¹³⁷Cs+¹³⁴Cs), které by překračovaly prozatímní směrnou hodnotu 200 Bq/kg, nebyly zjištěny.

K datu 10. 5. 2012 byly prozatímní směrné hodnoty nahrazeny cílovou hodnotou pro radioaktivní cesium (10 Bq/kg). V důsledku havárie byly detekovány radioaktivní látky (^{131}I a radioizotopy Cs) v potravinách. Stále jsou v platnosti omezení distribuce některých potravin v důsledku jaderné havárie ve Fukušimě. Dávkou, kterou bylo zasaženo obyvatelstvo postižených oblastí, se zabývá zpráva WHO. Obyvatelé prefektury Fukušima obdrželi dávku v rozmezí 1–10 mSv, výjimečně v rozmezí 10–50 mSv. Průměrná dávka ve světě z přírodních zdrojů je 2,4 mSv/rok.

TEPCO také sleduje dávku obdrženou pracovníky v areálu poškozené elektrárny. Radionuklidy uvolněné do ovzduší při jaderné havárii ve Fukušimě byly detekovány i nad Českou republikou. Jejich množství však bylo hluboko pod hodnotami, které by mohly ovlivnit lidské zdraví a které by vyžadovaly zavedení jakýchkoliv opatření. Je vidět zvýšení objemové aktivity ^{137}Cs , které odpovídá únikům z jaderné elektrárny Fukušima Daiiči.

Objemová aktivita ^{137}Cs kulminovala přibližně ve dnech 28. – 30. 3. 2011, poté opět postupně klesala na úroveň pozadí. Na fukušimskou havárii reagovalo mnoho států světa, i když nedošlo k významnému zasažení jejich území uvolněnými radioaktivními látkami. V Evropě bylo záhy rozhodnuto o provedení zátěžových testů jaderných elektráren. Ty měly znovu prověřit bezpečnostní funkce evropských jaderných elektráren. Zátěžové testy potvrdily vysokou bezpečnost českých jaderných elektráren, Temelína a Dukovan, nalezeny byly i možnosti dalšího zlepšení jejich odolnosti.⁶⁸

7.3.4 Závěrem

Havárie jaderné elektrárny ve Fukušimě 1 se řadí k jedněm z největších průmyslových havárií. Ovšem hlavně v počtu obětí je zanedbatelná vůči jiným a hlavně vůči přírodní katastrofě, která ji způsobila. Analýza důvodů, které k havárii vedly, a jejího průběhu ukazují, že bylo možné se jí vyhnout. Poučení, které přinesla, umožní zvýšit bezpečnost jaderné energetiky.

Radioaktivní kontaminace životního prostředí byla značná, ale nedosáhla vysloveně globálních rozměrů. Zasažení jiných států kromě Japonska radioaktivními látkami bylo malé. Na území České republiky nedošlo k měřitelnému ovlivnění povrchových vod radioaktivními látkami na rozdíl od atmosférických testů jaderných zbraní a havárie v Černobylu.

⁶⁸ VTEI: Vodohospodářské technicko-ekonomické informace [online]. Praha: Vodní hospodářství, 2012 [cit. 2013-03-22]. ISSN 0322-8916. Dostupné z: http://www.vuv.cz/fileadmin/user_upload/pdf/vtei/2012/vtei_6-2012_2.pdf

TEPCO, provozovatel elektrárny Fukušima Daiiči, přijal za havárii zodpovědnost. Japonská strana (TEPCO a japonské orgány státního dozoru) otevřeně poskytovaly o problému podrobné informace. Většinu údajů a měřených dat lze dohledat na internetu, a to i v anglickém překladu. Objevují se ale mezery v zajištění bezpečnosti, připravenosti a organizaci. Tato jaderná havárie ovlivnila celosvětový postoj k jaderné bezpečnosti. Pobídla další země světa k přezkoumání bezpečnosti svých jaderných elektráren a ke snaze jejich bezpečnost stále zvyšovat.

8 JADERNÁ ELEKTRÁRNA TEMELÍN

8.1 Historie elektrárny a technické parametry

Volba vhodné lokality pro jadernou elektrárnu musí vyhovovat mnoha legislativním i odborným kritériím. Svou roli hraje nejen pevnost a únosnost základových půd pro stavbu, ale lokalita je také vybírána z hlediska geografie, demografie, meteorologie, geologie, hydrologie apod.⁶⁹ Jaderná elektrárna Temelín leží přibližně 24 km od Českých Budějovic a 5 km od Týna nad Vltavou a rozkládá na ploše o rozloze 143 hektarů. Elektřinu vyrábí ve dvou výrobních blocích s tlakovodními reaktory VVER 1000 typu V 320. Odběr technologické vody je zajištěn z vodního díla Hněvkovice na Vltavě, jehož vybudování bylo součástí výstavby elektrárny. Na jaře 2003 se temelínská elektrárna s instalovaným elektrickým výkonem 2000 MW stala největším energetickým zdrojem České republiky.

Investiční záměr stavby byl vydán v únoru 1979, úvodní projekt byl zpracován Energoprojektem Praha v roce 1985 a vlastní stavba provozních objektů byla zahájena v roce 1987. Po listopadu 1989 bylo v nových politických a ekonomických podmínkách rozhodnuto o snížení počtu bloků na dva. Přes období velkých nejistot byla redukována a v technologii modernizovaná stavba dokončena a v červenci 2000 bylo zavedeno palivo do reaktoru. 21. prosince 2000 vyrobil první blok první elektřinu.⁷⁰

Technologické parametry JE Temelín odpovídají nejmodernějším světovým parametrům, v jaderné energetice nacházejí totiž moderní technologie uplatnění od počátků projektování, přes instalace až po průběžné optimalizace.

⁶⁹ Energie z jižních Čech [informační brožura]. Informační centrum Jaderné elektrárny Temelín, 2010, 23 s. [cit. 2013-03-23].

⁷⁰ Historie a současnost jaderné elektrárny Temelín. ČEZ. Www.cez.cz [online]. 2012 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/jaderna-energetika/jaderne-elekrany-cez/ete/historie-a-soucasnost.html>

Elektřina je vyráběna ve dvou výrobních blocích s tlakovodními reaktory VVER 1000 typu V 320 o výkonu 2x 1000 MW. V současné době se hovoří o dostavbě bloků 3 a 4, které by byly nejvhodnějším řešením očekávaného deficitu výroby elektřiny. Tato dostavba je také ekonomicky, logisticky, technicky i z hlediska dopadů na životní prostředí nejvýhodnější, protože se využijí již existující volné stavební pozemky a infrastruktura.

V aktivní zóně reaktoru je 61 regulačních tyčí a 163 palivových kazet. Palivo pro Temelín dodává americká společnost Westinghouse. Každý parogenerátor vyrobí 1470 tun páry za hodinu, která má tlak 6,3 MPa a teplotě na výstupu 278 stupňů Celsia. Turbína má 3000 otáček za minutu.

Tepelná energie, která se uvolňuje při štěpení jader uranu z paliva, kterým je oxid uraničitý obohacený o štěpitelný izotop – Uran^{235U}, je z aktivní zóny reaktoru odváděna demineralizovanou vodou primárního okruhu do čtyř parogenerátorů. Řízení produkce tepla v reaktoru se děje řídicími tyčemi a změnou koncentrace boru v chladivu. Čtyři potrubní smyčky s parogenerátory a čerpadly zajišťují cirkulaci chladicí vody. Ta je uzavřena pod tlakem v primárním reaktorovém okruhu. V parogenerátorech předává voda primárního okruhu teplo okruhu sekundárnímu – okruhu parní turbíny. Od této chvíle vše funguje jako v každé jiné elektrárně. V parogenerátorech sekundárního se opět voda vaří a pára, která vzniká, je vedena na turbínu. Za turbínou kondenzuje pára na chladných titanových trubkách opět na vodu a průtokem této vody kondenzátorovými trubkami je páře odebíráno teplo. Okruh je vyveden do čtyř chladících věží, kde se čistá voda odpařuje do vzduchu.

8.2 Ochrana před vnějšími vlivy

Stavby, systémy a komponenty, které jsou nezbytné pro udržení elektrárny v bezpečném stavu, jsou projektovány, konstruovány, montovány a provozovány tak, aby odolaly jak všem přírodním jevům předpokládaným v dané lokalitě, tak jevům vyvolaným lidskou činností. Možné přírodní jevy v dané lokalitě jsou blesk, vichřice, záplavy, zemětřesení, extrémní teploty a extrémní srážky. Jevy vyvolané lidskou činností jsou pád letadla na objekty elektrárny, tlakové vlny od explozí nebo vliv třetích osob.

Ochrana před zemětřesením:

Hodnota zrychlení maximálního výpočtového zemětřesení (tj. zemětřesení, při kterém je ještě možno elektrárnu bezpečně odstavit) je 0,1 g (98,1 cm/s²). Tato hodnota

byla uplatněna při projektování a při konstrukci staveb a zařízení, které jsou nutné pro zajištění bezpečného odstavení reaktoru, odvodu zbytkového tepla reaktoru a pro zamezení úniku radioaktivních látek (řadíme je do 1. kategorie seismické odolnosti).

Ochrana před zátopami a nepříznivými meteorologickými jevy:

Analýzy provedené pro zátopy vylučují výskyt zátopy v lokalitě JE (výškový rozdíl hladiny vody v řece Vltavě a úrovně nadmořské výšky JE Temelín je dostatečný). Nepříznivé meteorologické podmínky, jako jsou vichřice, srážky a extrémní teploty, byly vzaty v úvahu při projektování i při výstavbě objektů JE.

Ochrana před tlakovými vlnami od výbuchů:

V blízkosti elektrárny prochází tranzitní plynovod. Protože nelze vyloučit havárii spojenou s explozí plynů, bylo při projektování staveb a zařízení jaderné elektrárny, zařazených do 1. kategorie seismické odolnosti, vzato v úvahu zatížení vyvolané největší možnou tlakovou vlnou.

Ochrana před účinky vyvolanými pádem letadla:

Výpočty je prokázáno, že elektrárna je chráněna proti účinkům vyvolaným pádem letadla. Hodnocení účinků bylo prováděno podle metodik Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO). Výsledky výpočtů ukázaly, že při pádu letadla nedojde k nepřijatelnému poškození systémů primárního okruhu, protože konstrukce stavebních částí důležitých pro jadernou bezpečnost je dostatečně odolná proti možným účinkům, které jsou vyvolány pádem letadla. Analýzy také ukázaly, že zálohované systémy pro chlazení aktivní zóny reaktoru ve spojení s jejich různou prostorovou lokalizací a stavební ochranou zajišťují, že i při případném pádu letadla zůstanou v činnosti systémy důležité pro odstavení a dochlazení reaktoru. Také havarijní zdroje energie jsou prostorově diverzifikovány a jsou chráněny stavebními konstrukcemi.

Ochrana proti vlivu třetích osob:

Projekt jaderné elektrárny počítá i s ochranou proti vlivu třetích osob. Bezpečnostní systémy jsou zálohovány a prostorově různě lokalizovány a stejným způsobem je zajištěno i jejich napájení. Jako doplněk k technickému zabezpečení je používán technický, organizační a režimový systém opatření, který zamezí nepřijatelnému vlivu třetích osob.⁷¹

⁷¹ Ochrana proti vnějším vlivům. In: *Www.cez.cz* [online]. 2010 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderna-elektrarny-cez/ete/technologie-a-zabezpeceni/9.html>

8.3 Monitorování radiační situace

Monitorováním radiační situace v okolí jaderné elektrárny Temelín probíhá v Laboratoři radiační kontroly se sídlem v Českých Budějovicích. Hlavní činností laboratoře je:

- Výpočet čerpání autorizovaných limitů z plyných a kapalných výpustí dle schválených rozhodnutí SÚJB (Státního úřadu pro jadernou bezpečnost)
- Monitorování jednotlivých složek plyných a kapalných výpustí jaderné elektrárny Temelín za normální a havarijní radiační situace dle schváleného programu monitorování výpustí.
- Monitorování jednotlivých složek životního prostředí v zóně havarijního plánování (13 km) jaderné elektrárny Temelín za mimořádné (havarijní) radiační situace dle schváleného programu monitorování okolí.
- Monitorování jednotlivých složek životního prostředí v zóně havarijního plánování jaderné elektrárny Temelín za normální radiační situace dle schváleného programu monitorování okolí. Laboratoř radiační kontroly okolí Jaderné elektrárny Temelín dne 29. 10. 2008 získala Osvědčení o akreditaci č. 408/2011 (číslo zkušební laboratoře je 1241.4).⁷²

8.3.1 Bezpečnost jaderné elektrárny Temelín

Mnoho lidí nevnímá pokrok, který byl uskutečněn ve vývoji jaderné energetiky. K jaderné havárii, která se stala v jaderné elektrárně Černobyl na Temelín, nemůže dojít. Reaktor RBMK, na němž proběhla jaderná nehoda v JE Černobyl, má tzv. kladný výkonový koeficient reaktivity, což znamená, že při zvyšování výkonu reaktoru nad maximální provozovanou hodnotu se podmínky pro průběh řetězové reakce zlepšují a reaktor má snahu samovolně zvyšovat výkon (s rostoucím množstvím páry se zvyšuje množství neutronů v aktivní zóně a tím i počet štěpených jader atomů, roste výkon a opět se zvyšuje teplota i množství páry). Příčinou nestability reaktoru RBMK je kombinace grafitu a vody jako chladiva v aktivní zóně reaktoru, protože voda pohlcuje neutrony více než grafit a chová se podobně jako absorpční tyče. Když se voda z aktivní zóny ztrácí, výkon reaktoru roste se všemi již zmíněnými důsledky.

⁷² Monitorování radiační situace v okolí jaderné elektrárny Temelín. In: TRTÍLEK, Ondřej. *Www.sos-veseli.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://www.sos-veseli.cz/download/trtilek-ondrej.pdf>

Naopak reaktor typu VVER (používaný v JE Temelín) má záporný výkonový koeficient reaktivity, což znamená, že při zvyšování výkonu nad maximální provozovanou hodnotu se podmínky pro průběh řetězové reakce zhoršují – reaktor má snahu samovolně svůj výkon snižovat. Jedná se o reaktor tlakovodní – voda, která protéká reaktorovou nádobou, slouží jako zpomalovač (moderátor) neutronů a současně jako chladivo. Pára nevzniká v samotném reaktoru, ale mimo něj, v sekundárním okruhu.

Tlakovodní (temelínský) reaktor VVER má tu podstatnou výhodu, že se dokáže sám regulovat – vzrůst výkonu se v něm samovolně zastaví. Pokud by tedy z reaktoru VVER z jakéhokoliv důvodu unikala voda, zastaví se i štěpná řetězová reakce. Nekontrolovaný vzrůst výkonu, ke kterému došlo v JE Černobyl, není u reaktorů v Temelíně z fyzikálních a konstrukčních důvodů vůbec možný.

Aktivní zóna reaktorů VVER je několikanásobně menší, kompaktní a je uzavřena do tlakové nádoby, která se s celým primárním okruhem nachází v železobetonovém kontejnmentu (hermetický ochranný obal). Jejich chlazení je dvouokruhové, tzn., že mají oddělen primární okruh obsahující radioaktivní média od okruhu sekundárního, v němž je na turbínu přiváděna pouze čistá, nekontaminovaná pára.

Je v nich tedy naplněna zásada tří nezávislých bariér oddělujících potenciální radioaktivní důsledky hypotetické nehody od běžného životního prostředí. V případě nehody reaktoru VVER by radioaktivní látky zůstaly v ochranném obalu uzavřeny odděleně od životního prostředí. Taková bezpečnostní opatření nebyla v JE Černobyl uplatněna – reaktor typu RBMK neměl ochranný tlakový kontejnment, takže radioaktivní látky mohly v Černobylu relativně snadno uniknout do okolí elektrárny.

Dalším významným rozdílem je kvalita obsluhy jaderných reaktorů v Temelíně a obsluhy, která způsobila havárii JE Černobyl. Zatímco personál jaderné elektrárny v Černobylu si možnost havárie prakticky nepřipouštěl, protože žádný podobný případ havárie z dřívější doby neexistoval, odborníci v jaderných elektrárnách (nejenom) v České republice dnes mohou vycházet ze zkušenosti a důsledků události v Černobylu. Kvalita odborné přípravy, systémy personálního řízení i celkový přístup a podmínky obslužného personálu jsou dnes v jaderných elektrárnách v ČR na zásadně vyšší úrovni, než před 27 lety v Černobylu.⁷³

⁷³ Temelín není Černobyl. In: *Www.cernobyl.cz* [online]. 2006 [cit. 2013-03-31]. Dostupné z: <http://www.cernobyl.cz/temelin-neni-cernobyl.html>

9 ZÁVĚR

Havárie jaderných elektráren, a zejména té v Černobylu, způsobily, že odborníci začali s jejich analýzou a hledáním cest, jak pravděpodobnost jejich vzniku co nejvíce omezit. Dělo a děje se tomu především analýzou bezpečnostních opatření, vznikem nových opatření, mezinárodních úmluv a doporučení, např. pro ochranné bariéry, systémy kontroly a řízení, doporučení pro havarijní připravenost a podobně.

Zatím poslední jaderná havárie ve Fukušimě byla dalším milníkem pro historii bezpečnosti jaderných elektráren. Tato a ostatní jaderné havárie nám daly příležitost k poučení.

Přes všechny dosavadní znalosti a zkušenosti odborné veřejnosti nemůže být jaderná havárie nikdy zcela vyloučena, protože se koneckonců jedná o lidskou činnost a ta není neomylná a přírodě člověk nikdy neporučí, důsledkem součtu lidského faktoru a například velmi extrémní přírodní události k jaderné havárie může dojít.

Z tohoto důvodu je pro jadernou energetiku nejvýznamnější a nejdůležitější mít nastavená takové bezpečnostní opatření a pravidla, aby byla bezpečnost obyvatel na co nejvyšší možné míře a abychom byli schopni kvalitně zabránit negativním vlivům havárie jak na život zdraví člověka, ta i na životní prostředí a sociální a ekonomickou stránku života.

Podle předsedkyně Státního úřadu pro jadernou bezpečnost Dany Drábové bychom se neměli ptát, zda jsou jaderné elektrárny dosti bezpečné, ale měli bychom se zajímat, co bychom měli udělat pro další zvýšení jejich bezpečnosti. Jaderná havárie by měla být nezbytně zvládnutelná i při totální destrukci podpůrné infrastruktury.

Proto je nesmírně důležitá ochrana do hloubky a z tohoto hlediska robustnost jednotlivých bariér jaderné elektrárny. Testům těchto bariér se celosvětově věnují zátěžové testy. Tyto testy zhodnocují odolnost jednotlivých bloků v případě extrémní přírodní události. Tyto testy ve světě objevily na jaderných elektrárnách několik bezpečnostních nedostatků, přesto byl například Norbert Röttgen v Německu zcela přesvědčen o bezpečnosti tamních elektráren. Nicméně zátěžové testy nám ukazují, že v bezpečnosti jaderných elektráren je pořád co zlepšovat.

Tyto testy byly provedeny i na jaderné elektrárně Temelín (z pohledu skutečností havárie na jaderné elektrárně Fukušima) a z výsledků vplynuly některé požadavky na dílčí úpravy. Přesto lze jadernou elektrárnu Temelín hodnotit jako bezpečnou, z hlediska lokality je vysoce stabilní ve vztahu k vnějším přírodním vlivům včetně seismicity, je stabilní z hlediska robustnosti a konzervativnosti projektu. I přes

vysokou bezpečnost provozu a robustnosti Temelínu byly identifikovány tyto možnosti zlepšení provozu – doplnění dalších mobilních zdrojů elektrického napájení, optimalizace organizace a školení personálu pro řízení extrémních situací, rozšíření kapacity zařízení pro likvidaci pro likvidaci vodíku při těžkých haváriích.

Bezpečnostní opatření před černobylskou havárií se velice lišila od nynějších bezpečnostních opatření. Stejně jako všechny světové vynálezy a vědecká poznání prochází vývojem, tak i jaderná energetika prochází různými etapami od demoverzí přes neustálá zlepšování až po víceméně dokonalé verze.

Důsledkem jaderných havárií bývá u části populace ztráta důvěry v jadernou energetiku. Přesto si myslím, že lidé by se měli naučit s jadernou energetikou žít a dnes již významně eliminovaná rizika by měli přijmout jako součást etapy vývoje. Podle Dany Drábové totiž v případě, že lidé nebudou akceptovat a důvěřovat jaderným elektrárnám, ty dlouhodobě nepřežijí, i kdyby technicky byly naprosto bezchybné a ekonomicky „snášely zlatá vejce“.⁷⁴

⁷⁴ Fukušima rok poté: co jsme se dosud naučili?. In: *Www.csvts.cz* [online]. csvts, 2012 [cit. 2013-03-31]. Dostupné z: <http://www.csvts.cz/spolecnosti/cns/jarniseminar/prispevky/Drabova.pdf>

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Literární zdroje:

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

DUBŠEK, František. Jaderná energetika. 1. Brno: PC-DIR spol. s r.o. - Nakladatelství, Brno, 1994. 209 s. ISBN 80-214-0538-4.

Energie z jižních Čech [informační brožura]. Informační centrum Jaderné elektrárny Temelín, 2010, 23 s. [cit. 2013-03-23].

HÁLA, J. Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie, Brno, 1998. 310 s. ISBN 80-85615-56-8.

HALLY, J., BENEŠ, P., KOLAŘÍKOVÁ, J. Ionizující záření. Praha: Český ekologický ústav, 1993, 90 s. ISBN 80-85087278

KLENER V. a kol.: Principy a praxe radiační ochrany. Praha: Azin CZ, 2000. 615 s. ISBN 80-238-3703-6.

KLIK, F., DALIBA, J. Jaderná energetika. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998., 189 s. ISBN 80-01-01280-8

MARTÍNEK, B. Ochrana obyvatelstva I. 1. vyd. Praha: PA ČR, 2009. 136 s. ISBN 978-80-7251-298-0

MARTINŮ, P. Ochrana obyvatelstva v zóně havarijního plánování v okolí JETE – diplomová práce, ZSF JU, 2007

PACINDA, Š., PIVOVARNÍK, J.: Kolektivní ochrana obyvatelstva. GŘ HZS MV ČR, 2010, 118 s. ISBN: 978-80-86640-67-9.

PRAŽÁKOVÁ, M. Havárie jaderné elektrárny Černobyl z bezpečnostního hlediska, České Budějovice: VŠERS, 2010,

SEDLÁČEK, K., TŮMA, J. Atom skrývá naději. 1. Vyd. Praha: Naše vojsko, 1987, 301 s. ISBN 28-009-87

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

ŠENOVSKÝ, M., ADAMEC, V., HANUŠKA, Z., Integrovaný záchranný systém. Ostrava: sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007, 157 s. ISBN 978-80-73-85-007-4

TŮMA, J. Katastrofy techniky děsící 20 století, Praha: Academia, 2000, 302 s. ISBN 80-200-0387-8

Zákony a vyhlášky:

Ústavní zákon č. 110/1998 Sb., o bezpečnosti České republiky

Zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů

Vyhláška č. 318/2002 Sb. o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu, ve znění vyhlášky č. 2/2004 Sb.

Vyhláška č. 144/1997 Sb., o fyzické ochraně jaderných materiálů a jaderných zařízení a o jejich zařazování do jednotlivých kategorií

Vyhláška č. 215/1997 Sb., o kritériích na umístování jaderných zařízení a velmi významných zdrojů ionizujícího záření

Vyhláška č. 106/1998 Sb., o zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany jaderných zařízení při jejich uvádění do provozu a při jejich provozu

Vyhláška č. 195/1999 Sb., o požadavcích na jaderná zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenosti

Vyhláška č. 185/2003 Sb., o vyřazování jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie z provozu

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

Vyhláška č. 309/2005 Sb., o zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení

Zákon č. 239/2000 Sb. o integrovaném záchranném systému

Zákon č. 129/2000 Sb. o krajích

Zákon č. 128/2000 Sb. o obcích

Zákon č. 273/2008 Sb. o Policii ČR

Zákon č. 238/2000 Sb. o hasičském záchranném sboru ČR

Zákon č. 240/2000 Sb. o krizovém řízení

Vyhláška č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně

Vyhláška 328/2001 Sb. o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému

Internetové zdroje:

CERNOBYLZONE. Černobylský experiment a průběh havárie. In: *Www.cernobylzone.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: <http://chernobylzone.cz/cernobylsky-experiment-a-prubeh-havarie/>

ČERNOBYL. Temelín není Černobyl. In: *Www.cernobyl.cz* [online]. 2006 [cit. 2013-03-31]. Dostupné z: <http://www.cernobyl.cz/temelin-neni-cernobyl.html>

ČESKÁ TELEVIZE. Jaderná havárie v Pensylvánii - Americký Černobyl. In: *Česká televize* [online]. 2009 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/kalendarium/10085-jaderna-havarie-v-pensylvanii-americky-cernobyl/>

ČEZ. Historie a současnost jaderné elektrárny Temelín. ČEZ. *Www.cez.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete/historie-a-soucasnost.html>

ČEZ. Ochrana proti vnějším vlivům. In: *Www.cez.cz* [online]. 2010 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete/technologie-a-zabezpeceni/9.html>

ČSTVS. Fukušima rok poté: co jsme se dosud naučili?. In: *Www.csvts.cz* [online]. csvts, 2012 [cit. 2013-03-31]. Dostupné z: <http://www.csvts.cz/spolecnosti/cns/jarniseminar/prispevky/Drabova.pdf>

DRÁBOVÁ, D. Černobylská havárie aneb Pravda není nikdy čistá a málokdy bývá jednoduchá. *Www.sujb.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/cernobyl/cernobylska_havarie.pdf

ENDEPIE. *www.enpedie.cz* [online] Efektivní přenos údajů o jaderné energetice. Praha, 2005 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://enpedie.cz/>

HASIČSKÝ ZÁCHRANNÝ SBOR ČESKÉ REPUBLIKY Integrovaný záchranný systém.. Hasičský záchranný sbor České republiky [online]. 2010 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/integrovaný-zachranny-system.aspx>

HASIČSKÝ ZÁCHRANNÝ SBOR ČESKÉ REPUBLIKY. *W*www.hzscr.cz [online]. Praha, 2010 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: www.hzscr.cz

JADERNÁ ENERGIE. Jaderný reaktor. In: www.jaderna-energie.cz [online]. 2012 [cit. 2013-02-08]. Dostupné z: <http://www.jaderna-energie.cz/stepeni-jadra-atomu.htm>

JADERNÁ ENERGIE. Princip štěpení jádra atomu. In: www.jaderna-energie.cz [online]. 2012 [cit. 2013-02-08]. Dostupné z: <http://www.jaderna-energie.cz/stepeni-jadra-atomu.htm>

JADERNÁ ENERGIE. Typy jaderných reaktorů. In: www.jaderna-energie.cz [online]. 2012 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: <http://www.jaderna-energie.cz/stepeni-jadra-atomu.htm>

JIROTKA, Tomáš. Jaderné elektrárny - Úvod. In: *W*www.fyzika.net [online]. 2008 [cit. 2013-02-15]. Dostupné z: <http://www.fyzika.net/view.php?cislocianku=2004092801>

KUSALA, J. První elektřina z jaderné elektrárny - Jaderná energetika: Svět energetiky.

NEJEDLÝ, P. Zemětřesení v Japonsku a jaderná elektrárna Fukušima (díl II).. *W*www.nejedly.blog.idnes.cz [online]. 2011 [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: <http://nejedly.blog.idnes.cz/c/182740/Zemetreseni-v-Japonsku-a-jaderna-elektrarna-Fukushima-dil-II.html>

PROUZA, Z. Co přinesl Černobyl v oblasti havarijní připravenosti *W*www.sujb.cz [online]. 2011 [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/cernobyl/Co_přinesl_Cernobyl_v_HP.pdf

STRÁNKY MĚSTA TÝN NAD VLTAVOU. Vnější havarijní plán. *W*www.old.tvn.cz [online]. 2005 [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: <http://old.tvn.cz/mestsky-urad/odbory-a-funkce/krizove-rizeni/dokumenty-pro-krizove-stavy-a-situace/vnejsi-havarijni-plan-kraje/vnejsi-havarijni-plan.html>

SÚJB. Jaderná bezpečnost - Úvod/Legislativa spojená s dozorem nad jadernou bezpečností. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [online]. 2010 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <http://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/uvod/dozor-nad-jadernou-bezpecnosti>

TECHNET. Exkluzivní reportáž z modernizace jaderné elektrárny Temelín. In: *W*www.technet.cz [online]. 2007 [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/exkluzivni-fotoreportaz-z-modernizace-jaderne-elektrarny-temelin-1fb-tec_reportaze.aspx?c=A070827_101055_tec_reportaze_rja

THE CHERNOBYL FORUM Dědictví Černobylu-Zdravotní, ekologické a sociálně ekonomické dopady. In: *W*www.sujb.cz [online]. ČSVTS v koedici s Českou nukleární společností, 200 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/cernobyl/Cernobyl_CZ.pdf

TRTÍLEK, O. Monitorování radiační situace v okolí jaderné elektrárny Temelín. *Www.sos-veseli.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://www.sos-veseli.cz/download/trtilek-ondrej.pdf>

ULMAN, V., PUCHÁLKOVÁ, Z., ULLMANNOVÁ, L. Radiační ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření – sylabus přednášek Katedry nukleární medicíny. [online]. [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/RadOchrana.htm>Ostrava, 2010

Ústavní zákon o bezpečnosti České republiky. In: zákon č. 110/1998 Sb. 1998. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=0&idBiblio=46612&recShow=4&nr=110~2F1998&rpp=15#parCnt>

VTEI: Vodohospodářské technicko-ekonomické informace [online]. Praha: Vodní hospodářství, 2012 [cit. 2013-03-22]. ISSN 0322-8916. Dostupné z: http://www.vuv.cz/fileadmin/user_upload/pdf/vtei/2012/vtei_6-2012_2.pdf

WIKIMEDIA. Jaderná elektrárna. *Www.wikipedia.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0t%C4%9Bpn%C3%A1_jadern%C3%A1_reakce