

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BRNO 2015

Alena Melnichuk

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav molekulární biologie a radiobiologie



Aktuální stav důsledků havárie černobylského jaderného reaktoru
se zaměřením na kontaminaci zemědělských oblastí v nejbližším
okolí JE Černobyl

Vedoucí práce:
prof. RNDr. Michael Pöschl, CSc.

Vypracoval:
Alena Melnichuk

Brno 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci **Aktuální stav důsledků havárie černobylského jaderného reaktoru se zaměřením na kontaminaci zemědělských oblastí v nejbližším okolí JE Černobyl** vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnici o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne: 29.04.2015

.....
podpis

Poděkování

Děkuji **prof. RNDr. Michael Pöschlovi, CSc.** za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady, za jeho cenné rady a trpělivost při vedení mé bakalářské práce.

Abstrakt

Základním cílem předložené práce bylo podrobně prozkoumat všechny aspekty černobylské havárie a její důsledky v nejbližším okolí. V souladu s cílem byly nastaveny následující úkoly:

- Zpracovat literární přehled zahrnující poznatky k zadanému tématu.
- Na základě získaných informací charakterizovat míru kontaminace specifikovaných oblastí ekologicky významnými radionuklidy.
- Analyzovat agroekologický význam radiokontaminace v nejbližším okolí JE a po srovnatelných nehodách jaderných zařízení.

V důsledku černobylské havárie došlo k obrovské regionální emisi radionuklidů do atmosféry s následnou radioaktivní kontaminací životního prostředí. Radioaktivní znečištění postihlo okolí JE, ale i mnoho evropských států. Po havárii bylo zcela vyloučeno především v nejbližších oblastech ze zemědělského využití asi 5 milionů hektarů půdy, byla vytvořena 30 kilometrová „vyloučená“ zóna, zničeny a znepřístupněny stovky malých sídel.

V současné době je ekologická situace dána působením několika radioaktivních izotopů. K nim zvláště patří – cesium Cs^{137} a stroncium Sr^{90} , a v menší míře i plutonium Pu^{238} , Pu^{239} , Pu^{240} , Pu^{241} a amerícium Am^{241} . Otázky týkající se radiační ochrany občanů a životního prostředí vystavených záření v důsledku černobylské havárie se řeší v Bělorusku, Ukrajině a Ruské federaci státními programy.

Klíčová slova: radiokontaminace, Černobyl, nejbližší okolí jaderné elektrárny

Abstract

The basic objective of the study was to examine in detail all aspects of the Chernobyl accident and its consequences in the vicinity. In accordance with the aim the following tasks was propounded:

- to prepare a literature review including knowledge on a given topic,
- on the basis of the information obtained to characterize the degree of contamination of the specified areas ecologically significant radionuclides,
- to analyze the significance of agroecological radiocontamination near the NPP and accidents of comparable nuclear facilities.

The Chernobyl accident was a huge regional emission of radionuclides into the atmosphere with following radioactive contamination of the environment. Radioactive contamination has affected surroundings of the NPP and many European states, too. After the accident about 5 million hectares of land was entirely excluded from agricultural use, 30- kilometre-"excluded" zone was created, and hundreds of small settlements were destroyed and became inaccessible.

Presently, ecological situation is determined by effects of some radioisotopes. These include above all: cesium Cs^{137} , strontium Sr^{90} , and lower concentrations of Pu^{238} , Pu^{239} , Pu^{240} , Pu^{241} , Am^{241} . Questions relating to radiation protection of citizens and the environment exposed to radiation after the Chernobyl accident are solved by state programs.

Key words: radiocontamination, Chernobyl, NPP surroundings

Obsah

1 ÚVOD	8
1.1 Cíl práce	9
2 HAVÁRIE ČERNOBYLSKÉ JADERNÉ ELEKTRÁRNY	10
2.1 Popis černobylské jaderné elektrárny a její lokality	10
2.2.1 Stavba jaderné elektrárny	11
2.2.2 Stav před nehodou	11
2.2 Charakteristika jaderného reaktoru RBMK-1000	13
2.3 Údaje o počtu lidí na místě elektráren v době nehody.....	14
2.4 Chronologie událostí	14
2.5 Příčiny nehody.....	18
3 NÁSLEDKY NEHODY	21
3.1 Radioaktivní izotopy	22
3.2 Dopady na město	24
3.3 Zemědělství	24
3.4 Lesní prostředí.....	26
3.5 Vodní prostředí.....	26
4 SOUČASNÁ SITUACE	27
4.1 Radio-hygienická situace	29
5 RADIOKONTAMINACE V NEJBLIŽŠÍM OKOLÍ JE ČERNOBYL	29
6 DALŠÍ NEHODY JADERNÝCH ZAŘÍZENÍ (KRÁTKÝ PŘEHLED)	31
6.1 Havárie Fukušima (Japonsko)	31
6.1.1 Následky nehody a radioaktivní kontaminace	32
6.1.2 Srovnání havárií v Černobylu a Fukušimě	32
6.2 Havárie elektrárny Three Mile Island.....	36
6.2.1 Krátký přehled.....	36
6.2.2 Srovnání havárií černobylské a americké elektrárny	37
6.3 Jaslovské Bohunice.....	38
6.3.1 Krátký přehled havárii, důsledky	40
6.3.2 Srovnání nehod	34
7 DISKUZE	40
8 ZÁVĚR	43
9 LITERATURA	44

1 ÚVOD

Nehoda v jaderném reaktoru v Černobylu (26. dubna 1986) byla nejvážnější nehoda historie jaderné energetiky. V důsledku nehody byl reaktor zničen a do prostředí se dostalo významné množství radioaktivních látek. V důsledku nehody během několika týdnů zemřelo 30 zaměstnanců a více než sto lidí obdrželo významné dávky radiace. Následně bylo v roce 1986 evakuováno asi 115 tisíc lidí z oblastí v blízkosti reaktoru, a později, po roce 1986, přibližně 220 000 lidí přesídlilo z Běloruska, Ruské federace a Ukrajiny. Nehoda způsobila vážné sociální a psychické problémy v životech lidí postižených havárií a způsobila značné hospodářské škody v celém regionu. Obrovské plochy uvedených tří zemí byly kontaminovány radioaktivními materiály a radionuklidy uvolněné do atmosféry byly zaznamenány přístroji ve všech zemích severní polokoule. K vážné radiokontaminaci došlo na ploše více než 200 tisíc km², z toho cca 70% na území Běloruska, Ruské federace a Ukrajiny.

V důsledku havárie bylo zcela vyloučeno ze zemědělského využití asi 5 milionů hektarů půdy, byla vytvořena 30 kilometrová „vyloučená“ zóna, zničeny a zneprístupněny stovky malých sídel (LEGASOV, 1986).

Radioaktivní látky byly distribuovány ve formě aerosolů, které postupně sedimentovaly. Ve městech byla většina nebezpečných látek nashromážděna na ploché částech povrchu: na trávnících, silnicích, střeších. Vlivem větru a deště, stejně jako v důsledku lidské činnosti, stupeň kontaminace však silně klesla a nyní se úroveň záření ve většině míst se vrátila k původním hodnotám.

Došlo k velkému znečištění lesů. Vzhledem k tomu, že lesní ekosystém kontinuálně recykluje cesium, úroveň kontaminace lesních produktů jako jsou houby, jahody a jedlé lesní bobuloviny zůstává nebezpečná.

Kontaminace nebyla omezena jen na 30tikilometrovou zónu. Byl zjištěn i vysoký obsah cesia-137 v sobím masu a lišejnících v polárních oblastech Ruska, Norska, Finska a Švédska.

Mezi obyvateli Běloruska, Ruské federace a Ukrajiny v období do roku 2005 bylo zaznamenáno více než 6000 případů rakoviny štítné žlázy u dětí a dospívajících, kteří byli vystaveni při nehodě záření, a v příštím desetiletí můžeme očekávat vznik nových případů (LEGASOV, 1986). I přes vliv zvýšených screeningových režimů, mnoho z těchto karcinomů bylo pravděpodobně způsobeno vystavením radiaci krátce po nehodě. Ačkoli osoby, které obdrželi nejvyšší dávky, jsou nejvíce ohroženy účinky spojenými s radiací, je pravděpodobné, že drtivé většině populace záření z černobylské havárie nezpůsobí vážnou újmu na zdraví. V dané populaci bylo pozorováno mnoho dalších zdravotních problémů, které se však nevztahují k ozáření (IAEA, 2006).

1.1 CÍL PRÁCE

Základním cílem předložené práce bylo podrobně prozkoumat všechny aspekty černobylské havárie a její důsledky v nejbližším okolí. V souladu s cílem byly nastaveny následující úkoly.

1. Zpracovat literární přehled zahrnující poznatky k zadanému tématu.

2. Na základě získaných informací charakterizovat míru kontaminace specifikovaných oblastí ekologicky významnými radionuklidy.

3. Analyzovat agroekologický význam radiokontaminace v nejbližším okolí JE

Výzkumem a historií nehody se zabývají specialisté v oblasti historie, fyziky, geologie a ekologie. Autoři se zaměřují především na průběh nehody, hledání pachatele tragédie, obtíže spojené s odstraňováním jejích následků a současnou situací v regionu. Bohužel k dnešnímu dni žádná z výzkumných organizací v SSSR nepublikovala komplexní a dostatečně doloženou verzi, která by přesvědčivě vysvětlila vznik a vývoj postupu.

Během doby, která uplynula od 26. 4. 1986, bylo vynaloženo značné úsilí pro analýzu příčin a okolností nehody, ale ani to nemůže být považováno za úplné. Je nutné provést velké množství osídlení a případně experimentální studie s cílem "..., aby žádná událost související se zabezpečením nezůstala bez povšimnutí a byly provedeny nezbytné opravy, aby se zabránilo opakování souvisejících s bezpečností mimořádných událostí, kdekoli - ale bez ohledu na to, kde se objevily poprvé." (IAEA, 2006).

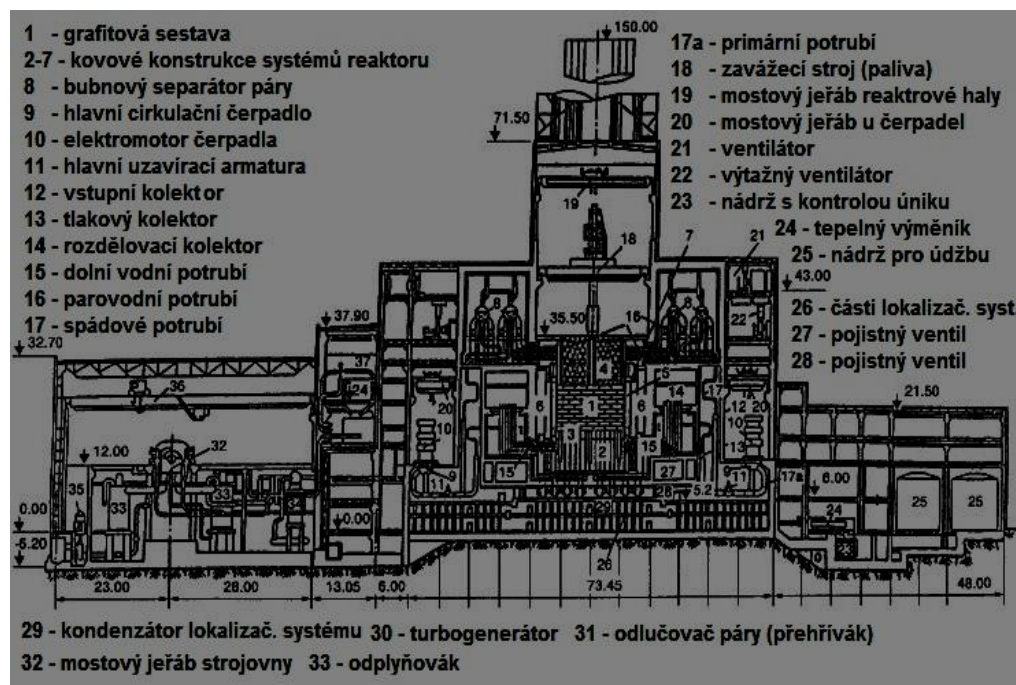
2 HAVÁRIE ČERNOBYLSKÉ JADERNÉ ELEKTRÁRNY

2.1 Popis černobylské jaderné elektrárny a její lokality

Černobylská jaderná elektrárna se nachází ve východní části rozlehlé oblasti s názvem «Белорусско-украинский Полесье», na břehu řeky Pripjať, přítoku Dněpru.

Na začátku roku 1986 byl celkový počet obyvatel v 30tikilometrové zóně kolem elektrárny asi 100 tisíc. Z toho 49000 žilo ve městě Pripjať, které se nachází tři kilometry západně od pásma hygienické ochrany jaderných reaktorů, a 12500 ve městě Černobyl, který je 15 km jihovýchodně od jaderné elektrárny (GORBACHOV, 2002).

2.1.1 Výstavba jaderné elektrárny



Obr.1.: Schéma bloku s reaktorem RBMK (HROUDA, 2015).

První fáze černobylské jaderné elektrárny (dva reaktory RBMK-1000) byla postavena v letech 1970-1977. Do konce roku 1983 byla na stejném místě dokončena druhá fáze, tj. výstavba dvou dalších reaktorů stejného typu. V roce 1981 1,5 km na jihovýchod od této lokality začala výstavba dvou dalších jednotek se stejnými reaktory (třetí etapa výstavby).

Jihovýchodně od areálu elektrárny přímo v údolí Pripjat' byla postavena vstupní chladičí rybníční nádrž s plochou 22 km², která slouží pro chlazení kondenzátorů turbín a dalších výměníků prvních čtyř bloků.

2.1.2 Stav před nehodou

V době černobylské havárie, spolu s leningradskou a kurskou, to byla nejsilnější elektrárna SSSR. Vyrobená energie ukrajinské elektrárny měla mít výkon 6000 MW, od dubna 1986 se na operaci podílely čtyři bloky s reaktory RBMK-1000 s celkovou

instalovanou kapacitou 4000 MW. Podle nepotvrzených zpráv se plánovalo v Černobyli vybudovat až 12 reaktorů (ABAGYAN, 1986).

V souladu s Radou ministrů SSSR 29. června 1966, byly schváleny plány vstupu jaderných elektráren do výroby elektřiny v letech 1966-1977. Bylo naplánováno zapojit energetické kapacity s celkovým výkonem 11 900 MW, včetně RBMK - 8000 MW (ABAGYAN, 1986). Uvedení prvního bloku jaderné elektrárny na Ukrajině bylo plánováno na rok 1974, druhého v roce 1975.

Černobylský reaktor se skládal ze dvou jednotek se společným systémem speciální úpravy vody a pomocných zařízení, k nimž patří: skladování kapalných a pevných radioaktivních odpadů; dodávky zemního plynu; záložní dieselgenerátory; hydraulické a jiné komponenty.

Systém skladování kapalných radioaktivních odpadů byl postaven jako součást druhé etapy jaderné elektrárny a je určen pro příjem a dočasné skladování kapalných radioaktivních odpadů vzniklých v provozu třetího a čtvrtého bloku a též k jejich recyklaci. Kapalným radioaktivním odpadem je transportován z hlavní budovy potrubím položeným ve spodní vrstvě a pevný radioaktivní odpad je dopravován do skladu pomocí elektrických vozíků.

Záložní dieselagregát (RDES) je nezávislý nouzový zdroj elektrické energie pro důležité bezpečnostní systémy každého bloku. Na každém RDES třetího a čtvrtého bloku jsou umístěny tři dieselové generátory s jednotkovým výkonem (ABAGYAN, 1986).

Pro nepřetržité zásobování technickou vodou existují na třetím a čtvrtém bloku samostatné čerpací stanice s možností napájení el. proudem ze záložních dieselových agregátů.

25. dubna 1986 pracovaly všechny čtyři reaktorové jednotky prvního a druhého stupně JE, a to s podporou a normálním provozem dalších systémů a zařízení v areálu JE.

2.2 Charakteristika jaderného reaktoru RBMK-1000

V době katastrofy měla černobylská jaderná elektrárna čtyři jaderné reaktory RBMK-1000 (reaktor bolšoj moščnosti kanalnyj, Kanálový varný reaktor s uranovo-grafitovým moderátorem) každý s výkonem 1000 MW (tepelný výkon 3200 MW).

Hlavní konstrukční rysy reaktorů RBMK-1000 instalovaných v době havárie v černobylské jaderné elektrárně jsou (ABRAMOV, 2006):

- vertikální kanály (1693) spojené do větších bloků s palivem a chladicí kapalinou – lehkou vodou, což umožňuje lokální výměnu paliva bez kompletního odstavení reaktoru;
- palivo ve formě válcových svazků palivových tyčí tvořených trubkami ze zirkoniové oceli naplněnými oxidy uranu;
- moderátor - grafit uložený mezi kanály;
- varem vody jako chladicí kapaliny nuceně poháněné cirkulačními čerpadly vzniká pára s přímým přívodem do turbíny.

Jaderný reaktor RBMK-1000 je v chladicím okruhu vybaven dvěma identickými smyčkami. Každá smyčka zahrnuje 840 paralelních vertikálních palivových kanálů. Chladicí okruh obsahuje 4 oběhová čerpadla, z nichž tři jsou trvale v provozu s výkonem 7000 t/h vody při tlaku 1,5 Mpa (GORBACHOV, 2002).

Ovládání a bezpečnost systémů RBMK-1000 je založen na změně polohy 211 bor-grafitových tyčí které jsou určeny pro absorpci neutronů a které jsou neustále chlazeny vodou z nezávislého okruhu (GORBACHOV, 2002). Tento systém umožňuje udržovat kontrolu nad nominální hodnotou v automatickém režimu a udržovat, kontrolovat a ovládat celou řadu dalších nezbytných parametrů.

Reaktory RBMK jsou vybaveny velkým počtem nezávislých regulačních tyčí, které se v případě nebezpečného stavu spustí do aktivní zóny reaktoru při rychlosti 0,4 m/s.

Kontrola a ochranný systém obsahuje subsystém lokálního automatického řízení (LAR) a místní ochranu při mimořádných událostech (LAZ). Oba systémy pracují na principu ionizačních komor.

Kromě systému LAR a LAZ v RBMK-1000 existují i další řídicí systémy:

- Fyzická kontrola rozvodu elektrické energie podél poloměrů (přes 100 programů) a výšky (12 kanálů), pomocí senzorů;
- regulace průtoku vody v každém kanálu (lineární průtokoměry);
- kontrola úniku těkavých štěpných produktů do vodní páry opláštěním palivových tyčí na výstupu z každého kanálu;
- monitorování integrity potrubních kanálů (ABRAMOV, 2006).

PBMK-1000 agregáty pracují hlavně při konstantním výkonu. Vzhledem k vysoce výkonné jednotce k úplnému zastavení jaderného reaktoru dochází pouze v případě, že ukazatele úrovně výstupního výkonu tlaku nebo vody jsou konstantní.

2.3 Údaje o počtu lidí na místě elektráren zhruba v době nehody

V noci z 25. na 26. dubna 1986 bylo na místě prvních čtyř reaktorů černobylské JE 176 veškerého obsluhujícího personálu, včetně zaměstnanců různých oddělení a opravárenské služby. Kromě toho na místě třetí etapy výstavby jaderné elektrárny pracovalo v noční směně 268 stavitelů a montážníků.

2.4 Chronologie událostí

K nehodě čtvrtého bloku černobylské elektrárny (26. dubna 1986) nedošlo v průběhu normálního provozu reaktoru. Stalo se to během experimentu pro studium a ověření bezpečnosti reaktorů v různých situacích. Bylo naplánováno, že se experiment bude provádět při nízkém výkonu reaktoru. Daný test se shodoval s plánovaným postupem pro rychlé ochlazování reaktoru (DYATRLOV, 2000). Obvykle reaktory slouží nejen pro výrobu elektřiny do sítě, ale část této energie spotřebují i čerpadla chladicího systému. Tuto energii je možné čerpat také z provozně dostupných zdrojů elektrické energie. V případě, že takové napájení je přerušeno, je možné přepínat část

vyrobené elektřiny jaderným reaktorem pro potřeby chladicích systémů reaktoru. Avšak v případě, že reaktor elektřinu nevyrábí, to se stává v procesu rychlého odstavení reaktoru, vyžadují chladicí systémy externí nezávislý zdroj energie - generátor. Přitom spuštění generátoru vyžaduje určitý čas, a tak po určitý čas chybí potřebná energie z reaktoru. Během experimentu měl čtvrtý blok černobylské jaderné elektrárny ukázat, že výkon elektrického proudu generovaného setrvačností rotující turbíny po rychlém odstavení reaktoru bude dostatečný pro napájení oběhového čerpadla chladicí kapaliny a zajistí tak bezpečné ochlazování reaktoru.

Od té doby bylo zveřejněno mnoho různých zpráv o příčinách havárie. Ale v těchto zprávách je řada nesrovnalostí. Mnozí posuzovatelé interpretovali některé údaje jejich vlastním způsobem. V průběhu doby přibýlo dokonce více různých výkladů. Navíc, někteří autoři byli osobně zainteresovaní do věcí, které se týkaly příčin černobylské nehody havárie. Ve většině zpráv lze nicméně nalézt podobný sled událostí, které vedly k dané události (DYATRLOV, 2000).

25. 4.1986

01:06 - Zahájeno odstavování reaktoru. Postupné snižování tepelného výkonu reaktoru. (V normálním provozu je tepelný výkon reaktoru 3200 MW).

03:47 - Snižování výkonu reaktoru je přerušeno při výkonu 1600 MW. Byl vypnut nouzový systém chlazení. To bylo součástí programu experimentu a bylo to provedeno, aby se zabránilo přerušení experimentu. Tato akce nevedla přímo k nehodě, ale pokud by nouzový chladicí systém nebyl vypnut, možná že by důsledky havárie nebyly tak závažné.

14:00 - Naplánováno další snížení výkonu. Nicméně energetický z Kyjeva požádal operátora reaktoru, aby i nadále pokračovala výroba elektrické energie pro potřeby města. Z tohoto důvodu, byl výkon reaktoru ponechán na 1600 MW, což je pouze 50% výkon. Experiment byl pozastaven.

23:10 Bylo doporučeno pokračovat ve snižování výkonu.

24:00 Konec směny.

26. 4.1986

00:05 Výkon reaktoru byl snížen na 720 MW. Pokračování ve snižování výkonu.

00:28 Výkon reaktoru snížen na 500 MW. Řízení bylo změněno na samoregulační systém. Následně ale systém nezajistil regulaci nebo nevydal zpětný signál operátorovi a výkon reaktoru najednou klesl na 30 MW.

00:32 (přibližně) V reakci na to operátor začal zvyšovat polohu regulačních tyčí a snažil se zvýšit výkon reaktoru. V souladu s bezpečnostními požadavky provozovatel měl koordinovat takový postup s hlavním inženýrem.

01:00 Výkon reaktoru zvýšen na 200 MW.

01:03 Připojeno přídavné čerpadlo k levé části systému chlazení ~~levé cyklu~~, ke zvýšení cirkulace vody přes reaktor. Toto bylo součástí experimentu.

01:07 Přídavné čerpadlo je připojeno i k pravé části chladicího systému (rovněž bylo v plánu experimentu). Připojení přídavného čerpadla způsobilo zrychlení proudu chladiva v reaktoru. To vedlo i ke snížení hladiny vody v separátoru páry (odlučovači).

01:15 Automatickým řídicím systémem separátoru páry bylo zakázáno pokračovat v provozu.

1:18 Operátor však zvýšil průtok vody a snažil se řešit problémy v chladicím systému.

01:19 Několik regulačních tyčí bylo povytaženo ke zvýšení výkonu reaktoru a zvýšení teploty a tlaku v odlučovači.

01:21:40 Operátor snížil průtok vody reaktorem na normální stav, aby obnovil hladinu vody v odlučovači a snížil tak chlazení aktivní zóny reaktoru.

01:22:10 V jádru reaktoru se začalo tvořit větší množství páry (chladiivo reaktoru přešlo do varu).

01:22:45 Data získaná provozovatelem signalizovala nebezpečí, ale reaktor byl ještě ve stabilním stavu.

01:23:04 Uzavřeny vstupní ventily turbíny. Turbína se ještě dále točí setrvačností. Ve skutečnosti to byl začátek experimentu.

01:23:10 Bylo odpojeno automatické ovládání tyčí v aktivní zóně a reaktoru. Byla to normální reakce, aby se kompenzoval pokles reaktivity po uzavření ventilů turbíny. Za normálních okolností dochází k poklesu reaktivity v důsledku zvýšení tlaku

v chladicím systému. To by mělo vést ke snížení množství páry v jádru reaktoru. Nicméně k očekávanému poklesu množství páry nedošlo, protože průtok vody přes jádro byl malý.

01:23:21 Tvorba páry dosáhla bodu, kdy z důvodu kladného dutinového efektu reaktivity docházelo k dalšímu odpařování vody a k rychlému zvýšení tepelného výkonu reaktoru.

01:23:35 Začalo nekontrolované tvoření páry v aktivní zóně reaktoru.

01:23:44 Výkon reaktoru prudce vzrostl a byl asi 100 krát vyšší, než se předpokládalo.

01:23:45 Palivové tyče se začaly hroutit. V palivových kanálech se vytvořil vysoký tlak.

01:23:49 Palivové kanály se začaly rozpadat.

01:24 Následovaly dvě exploze. První týkající se výbušné směsi vytvořené rozkladem vodní páry. Druhá způsobena expanzí palivových par. Exploze posunula víko čtvrtého bloku a do reaktoru vnikl vzduch. Vzduch reagoval s grafitovými pruty a tvořil se oxid uhelnatý. Tento plyn se šířil a začalo hořet. Střecha strojovny byla vyrobena z materiálů, které se snadno vznítí (Šlo o stejné materiály, které byly použity v textilní továrně v Bukhara, která vyhořela na začátku 70. let). Ačkoli někteří pracovníci byli po nehodě v Bukhara postaveni před soud, stejné materiály byly použity při výstavbě jaderných elektráren (ABAGYAN, 1986).

8 140 tun jaderného paliva obsahujícího plutonium a další vysoce radioaktivní materiály (štěpné produkty), stejně jako velmi radioaktivní fragmenty grafitových moderátorů, byly uvolněny do atmosféry. Vedle toho se během exploze, ale i v průběhu šíření požáru uvolňovala velká množství dvojice radioizotopů: jodu a cesia. Havárie zapříčinila úplné zničení celé aktivní zóny reaktoru, odlučovače, řídicí počítačové místnosti a řady dalších staveb. Byly zničeny přepážky a bezpečnostní systémy na ochranu životního prostředí před radionuklidy obsažených v použitém jaderném palivu. Během noci a následujících 10 dnů (od 26.4.1986 do 5.6.1986) se uvolňovaly milióny becquerelů radioaktivních látek. Poté se uvolňování asi 1000x snížilo a dále postupně klesalo (ABAGYAN, 1986). Podle charakteru poškození 4. bloku a rozsahu následných

dopadů byla havárie označena sedmým stupněm Mezinárodní stupnice jaderných událostí (INES).

Hodinu po explozích nebyla radiační situace ve městě jasná. Nebyla vyhlášena žádná nouzová situace a lidé nevěděli, co mají dělat.

2.5 Příčiny nehody

Existuje celá řada vysvětlení havárie v Černobylu. Ale pouze dvě z nich se jeví jako vědecká a rozumná.

První z nich bylo publikováno v srpnu 1986 (ABAGYAN, 1996). Jeho podstatou je to, že v noci z 26. dubna 1986 zaměstnanci ve 4. bloku černobylské elektrárny při přípravě a provádění elektrického testu 6krát zjevně porušili nařízení, tj. předpisy pro bezpečný provoz reaktoru (DMITRIJEV, 2010). A při tom zaměstnanci úmyslně vypojili téměř všechny automatické prostředky havarijní ochrany. Podle stanovených nařízení ale platilo, že ve všech případech je zakázáno zasahovat do činnosti ochrany, automatizace, pokud nedošlo k jejich vlastní chybě. V důsledku zmíněných zásahů přešel reaktor do nestabilního stavu a v určitém okamžiku v něm začala nekontrolována řetězová reakce, která skončila tepelným výbuchem reaktoru. Byly vzpomenuy i další přestupky (KARPAN, 2001): nedbalost při řízení reaktoru elektrárny, nedostatečné pochopení technologického postupu v jaderném reaktoru ze strany zaměstnanců a ztráta pocitu nebezpečí u operátorů.

Druhé vysvětlení příčin havárie spočívalo ve zvláštностech konstrukce reaktoru RBMK, které "pomohly" personálu dovést havárii do velikosti katastrofy. Vývojoví pracovníci zařízení reaktoru nevytvořili takové ochranné bezpečnostní systémy, které mohly zabránit, aby nedošlo k nehodě. Věřili, že k takové kombinaci událostí nemůže dojít. Neočekávali, že by se někdo odvážil záměrně "deaktivovat ochranu" a "porušit pravidla" (KARPAN (2001) došel k závěru, že příčinou nehody byla extrémně nepravděpodobná kombinace technických nedostatků reaktoru a zásahů do režimu provozu, kterých se dopustil personál.

V roce 1991 Druhá Státní komise skládající se převážně z pracovního personálu předložila další vysvětlení černobylské havárie. Jeho podstatou bylo, že reaktor 4. bloku má některé konstrukční nedostatky, které pomohly přivést reaktor k výbuchu. Jako hlavní z nich to byly: pozitivní koeficient reaktivity a přítomnost dvojice až 1 m dlouhých grafitových bloků na koncích táhel. Tyto bloky absorbují neutrony hůře než voda, takže jejich současné zavedení do aktivní zóny (po stisknutí AZ – 5) změnilo funkci vody při regulaci dodatečné pozitivní reaktivity tak, že zbývajících 6-8 řídicích tyčí to nebylo schopno kompenzovat. V reaktoru započala nekontrolovaná řetězová reakce, která ho přivedla k tepelné explozi. Lokální tepelné zatížení palivových kazet tak dosáhlo hodnot vyšších než limity mechanické pevnosti. To způsobilo masivní poškození palivových kanálů, tavení palivových článků a vedlo k následnému uvolnění horního víka reaktoru, což znamenalo první polovinu již nezvratné cesty k následné katastrofě.

Havárie je přisuzována špatné konstrukci reaktoru, jeho kontra-intuitivním vlastnostem, nedodržení podmínek, na které byl plánovaný pokus připraven, a obecného nedostatku bezpečnostní kultury. Stejně jako v Three Mile Island byl druhotným faktorem přispívajícím k havárii fakt, že elektrárenští operátoři nebyli dostatečně vyškoleni a obeznámeni s mnoha charakteristikami reaktoru.

Jedním z problémů byla též nedostatečná komunikace mezi vedoucími bezpečnostními pracovníky a operátory během nočního experimentu. Navíc kvůli nedostatečnému proškolení operátoři dostatečně nechápali, jak reaktor pracuje pod nízkým stupněm reaktivity. V souladu s podmínkami experimentu bylo několik bezpečnostních systémů vyřazeno z provozu. Experiment totiž měl ověřit, jestli bude elektrický generátor (poháněný parní turbínou) po rychlém uzavření přívodu páry do turbíny schopen při svém setrvačném doběhu ještě zhruba 40 sekund napájet čerpadla havarijního chlazení.

Mnoho technických rysů reaktoru bylo považováno za vojenská tajemství a operátoři o nich neměli ponětí. Reaktor měl především nebezpečně velký kladný dutinový koeficient reaktivity (IAEA, 2011). Velmi významnou vadou reaktoru

byla také konstrukce jeho regulačních tyčí. Regulační tyče nebyly zcela kompaktní, resp. byly v dolní části částečně duté. Ve chvíli, kdy se zasouvaly, byla na prvních pár sekund chladicí kapalina nahrazena dutými částmi regulačních tyčí. Jelikož chladicí kapalina (voda) je pohlcovač (absorbátor) neutronů, výkon reaktoru v té chvíli v důsledku menšího množství vody jako absorbátoru stoupl. Toto neintuitivní chování reaktoru při zasouvání regulačních tyčí nebylo operátorům vůbec známo.

Na základě tohoto rozboru jsou závěry:

1. Primární příčinou černobylské havárie bylo neprofesionální jednání zaměstnanců 5. směny 4. bloku černobylské, kteří špatně znali zásady zasouvání řídicích tyčí do aktivní zóny. V důsledku toho se v reaktoru spustila nekontrolovaná řetězová reakce, která skončila jeho tepelnou explozí.

2. Jaderný reaktor nedosahoval úrovně současných standardů bezpečného provozu – ať už jde o samotný fyzikální princip fungování, nízkou úroveň automatizační techniky apod. Daný typ reaktoru by dnes nemohl být nikde na světě postaven.

3. Jaderná havárie byla také do značné míry způsobena selháním lidského faktoru na všech úrovních: do značné míry profesními chybami, kterých se dopustil provozní personál. Ten nerespektoval bezpečnostní omezení a předpisy.

4. Samotný experiment, který nakonec přímo způsobil jadernou havárii, byl pojmán jako čistě elektrotechnická záležitost, která neměla mít žádný význam z hlediska jaderné bezpečnosti – řídili jej proto elektrotechnici, nikoliv specialisté na provozní režimy a jadernou bezpečnost.

5. Jaderná havárie v sobě nesla také moment „náhody“. Odstavení jaderného reaktoru z provozu a tedy i začátek experimentu musely být neočekávaně odloženy o devět hodin, bylo několik dnů před svátkem 1. máje a továrny potřebovaly elektřinu ke splnění plánu výroby.

6. Odklad experimentu způsobil, že jej z hlediska personálu obsluhy elektrárny prováděla jiná směna než ta, která se na jeho realizaci připravovala. V noční směně bylo méně zkušených operátorů, kteří se navíc na experiment nepřipravovali.

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 (CHERNOBYL, 2006).

Spekuluje se také o dalších příčinách jaderné nehody. Některé zdroje uvádějí, že 4. blok reaktoru byl schválen do provozu, přestože některé jeho bezpečnostní testy dopadly špatně. Důvodem byla snaha splnit plán ještě před plánovaným termínem.

Na základě výše uvedených skutečností lze vyvodit, že hledání komplexních odpovědí k příčinám černobylské havárie bude pokračovat.

3 NÁSLEDKY NEHODY

V důsledku černobylské havárie došlo k obrovské regionální emisi radionuklidů do atmosféry s následnou radioaktivní kontaminací životního prostředí. Radioaktivní znečištění postihlo mnoho evropských států. Nejhorší situace byla ve třech bývalých zemích Sovětského svazu, dnešním Bělorusku, Ruské federaci a Ukrajině. Radionuklidy se postupně dostávaly z atmosféry do suchozemského a vodního prostředí.

Hlavní emise z čtvrtého bloku černobylské jaderné elektrárny probíhala po dobu prvních deseti dnů a jednalo se o radioaktivní plyny, kondenzované aerosoly a velké množství částí paliva. Celkové emise radioaktivních látek byla asi 14 EBq včetně 1, 8 EBq ^{131}I , 0,085 EBq ^{137}Cs a dalších radionuklidů cesia, 0,01 EBq ^{90}Sr a radioizotopů plutonia (KARPAN, 2001). Inertní plyny představovaly asi 50 % úniku radioaktivních látek.

Havárie vedla k uvolnění velkého množství radionuklidů a radioaktivních vzácných plynů.

Radioaktivní látky jsou distribuovány ve formě aerosolů a postupně uloženy na povrchu. Vzácné plyny jsou rozptýleny v atmosféře a nepřispívají k znečištění oblastí přilehlých k místu havárie. Kontaminace byla velmi nerovnoměrná, to závisle na směru větru v prvních dnech po nehodě. Spadl byl výrazně ovlivněn dešťovými srážkami.

Stroncium a plutonium sedimentovalo do 100 km od reaktoru, protože jsou obsaženy především ve formě větších částic. Jód a cesium se rozšířily na větší území.

Emise z černobylské havárie zasáhly velké plochy v Evropě. Území více než 200 000 km² v Evropě bylo kontaminováno radioaktivním cesiem (¹³⁷Cs, více než 0,04 MBq na m²), z čehož 71% nejvíce postihlo tři země (Bělorusko, Ruská federace a Ukrajina) (KARPAN, 2001).

3.1 Radioaktivní izotopy

Mezi radionuklidy, které se největší měrou podílely na kontaminaci prostředí, patřily zejména: izotopy cesia - Cs¹³⁴, Cs¹³⁷; ruthenium - Ru¹⁰³; cer - Cr¹⁴¹; jód - I¹²⁹, I¹³¹ a izotopy plutonia - Pu²³⁸, Pu²³⁹, Pu²⁴⁰. Tyto izotopy jsou produkty štěpení.

Celková aktivita látek vypouštěných do životního prostředí je až 14 x 10¹⁸ Bq (asi 38 x 10⁷ Ci).

1.8 EBq jód¹³¹;

0085 EBq cesium¹³⁷;

0.01 EBq stroncium⁹⁰;

0003 EBq izotopy plutonia;

podíl vzácných plynů tvořily asi polovinu celkové aktivity (IAEA, 1986).

Migrace radioaktivních látek a jejich absorbování živými organismy spočívá ve fyzikálních a chemických vlastnostech radioaktivních izotopů:

Cesium

Zdroji radioaktivních izotopů cesia jsou vedle nehod jaderných zařízení nakládání s radioaktivními odpady, jaderné testy. Přírodní cesium je ze 100 % tvořeno stabilním izotopem ¹³³Cs, uměle bylo připraveno dalších 67 nestabilních izotopů cesia s hmotnostními čísly od 112 do 151. Po vstupu do půdy je cesium k dispozici rostlinám. Jeho dostupnost souvisí s minerálním složením půdy. Následný transfer a distribuce prvku jsou závislé na vlastnostech pěstovaných rostlin v těchto půdách. Cesium s charakterem alkalického kovu je relativně snadno rozpustné ve vodě a dostupné rostlinám i živočichům.

Stroncium

Vzhledem k jeho schopnosti vázat se na minerální složky zvířecích kostí, má radioaktivní izotop stroncia velký význam pro životní prostředí. Stroncium se v přírodě vyskytuje v podobě čtyř izotopů, které mají zastoupení Sr^{84} (0,56 %), Sr^{86} (9,86 %), Sr^{87} (7,0 %) a Sr^{88} (82,58 %). Zdrojem radioaktivního stroncia jsou také odpady z jaderné energetiky a jaderných výbuchů.

Cer

Prvek, který je nepříliš častý v přírodě, ale jeho dva radioaktivní izotopy Cr^{136} a Cr^{138} jsou produkty jaderného štěpení. V přirozených podmínkách jsou izotopy ceru součástí sedimentárních hornin.

Jód

Halogen, který se vyskytuje v přírodě v nízkých koncentracích. Přírodní jód je ze 100 % tvořen stabilním izotopem I^{127} , uměle bylo připraveno dalších 33 nestabilních izotopů jodu s hmotnostními čísly od 108 do 141. Radioaktivní izotopy tohoto prvku vznikají při testech jaderných zbraní a v jaderných reaktorech, a provozem reaktoru. Výsledkem havárií v jaderných elektrárnách je emise různých forem jodu: I^{131} , Cs^{137} a Cs^{134} . Jód se může do těla dostat přes kůži, plíce i zažívací trakt. Koncentruje se ve štítné žláze.

Plutonium

Nejdůležitější využití nalézá plutonium, ve formě izotopu Pu^{239} , jako základní surovina pro výrobu jaderných zbraní. Těkavost tohoto prvku je velmi nízká a úniky daného prvku do životního prostředí se mohou objevit v mimořádných situacích. Nebylo zjištěno mnoho informací o chování plutonia v půdách. Je známo, že většina druhů půd rozpuštěné plutonium rychle absorbuje a jeho koncentrace v rostlinách závisí na druhu, typu a na pH půdy. Většina chemických forem plutonia je špatně rozpustných.

Americium

Nejdůležitějším izotopem americia je americium- Am^{341} a vzniká radioaktivní přeměnou plutonia- Pl^{241} . Pro člověka a vyšší živočichy je americium nebezpečné pro jeho schopnost akumulovat se v kostní tkáni (IAEA, 2006).

3.2 Dopady na město

Ve městech byly radionuklidy kontaminovány povrchy, jako jsou louky, parky, ulice, silnice, náměstí, stěn a střech. V suchých podmínkách k největší kontaminaci došlo u stromů, keřů, luk a střech; za mokra pak vodorovných ploch, jako jsou půda, louky apod. Vysoké koncentrace Cs byly zjištěny kolem domů, kam byly přeneseny dešťovými srážkami ze střech (ABAGYAN, 1986). Spad v městských oblastech v blízkosti města Pripjat' a v okolních osadách mohl zpočátku způsobit významné externí dávky, ale tomu bylo částečně zabráněno evakuací. V jiných městských oblastech jsou radioaktivní látky příčinou ozáření obyvatelstva v následných letech a nyní tento proces pokračuje.

Kvůli větru, dešti a lidské činnosti, včetně dopravy, úroveň povrchové kontaminace radioaktivními materiály v místě bydliště a odpočinku byla významně snížena v průběhu roku 1986 a následujících let. Jedním z důsledků těchto procesů byla sekundární kontaminace kanalizace a kalu a odpadních vody.

V současné době jsou nejvíce kontaminované vesnice. Radiační dávky ze vzduchu nad zemským povrchem se však vrátily na úroveň pozorovanou před nehodou.

3.3 Zemědělství

Po nehodě největší starosti způsobily emise a ukládání radioaktivního izotopu jodu, ale tento problém byl omezen na dva měsíce vzhledem ke krátkému poločasu přeměny (8 dní) nejdůležitějšího izotopu jódu - I^{131} . Radioaktivní jód ve vysokých koncentracích se rychle dostal do mléka v Bělorusku, Ruské federaci a na Ukrajině, což vedlo k významným dávkám ve štítné žláze u těch, kteří konzumují mléko, a to zejména u dětí (IAEA, 2011). V ostatních evropských zemích byly důsledky nehody odlišné;

zvýšená hladina radioaktivního jódu v mléce byla pozorována jen v některých znečištěných jižních oblastech.

Různé druhy plodin, zejména listová zelenina, byly kontaminovány radionuklidy v různé míře v závislosti na úrovni spadu a růstu.

Po počáteční fázi přímé kontaminace začal získávat větší význam transfer radionuklidů z půdy kořeny rostlin. Nejvíce problémů způsobily radioizotopy cesia (Cs^{137} a Cs^{134}) (KULIKOV A KOL., 1990). V polovině roku 1990 úrovně v zemědělských produktech z vysoce zasažených oblastí stále mohou vyžadovat uplatňování opatření na obnovu životního prostředí. Kromě toho, v oblastech v blízkosti reaktoru by mohlo způsobit problémy. Ostatní radionuklidy, jako jsou izotopy plutonia nezpůsobí skutečné problémy v zemědělství, a to je z důvodu špatného příjmu z půdy přes kořenový systém.

Obecně platí, že v prvních letech po nehodě došlo k podstatným úbytkům obsahu radionuklidů: snížení přenosu radionuklidů v rostlinných a živočišných systémech v intenzivním zemědělství, jak se dalo očekávat vzhledem k povětrnostním podmínkám, úbytku způsobeném radioaktivní přeměnou, migrací radionuklidů do spodních vrstev půdy, snížení biologické dostupnosti v půdě a při uplatňování ochranných opatření.

Spad dalších radionuklidů, jako jsou izotopy plutonia a Am^{241} , byl buď příliš malý, nebo tyto radionuklidy byly těžko absorbovány kořeny, a tak nezpůsobily v zemědělství zvláštní problémy.

Další problémy v postižených oblastech se projeví v systémech intenzivního chovu s vysokým obsahem organických látek v půdě, kde se zvířata pásala na nehnojených přírodních pastvinách. Zejména se to týkalo venkovských obyvatel na území bývalého Sovětského svazu, kteří pracovali v zemědělství a zabývali se chovem mléčného skotu. Dlouhodobý obsah radiocesia v mléce a mase a v menší míře i v zelenině patří mezi nejdůležitější faktory podílející se na tvorbě vnitřní radiační dávky. Vzhledem k tomu, že aktivity radiocesia ve jmenovaných potravinářských zdrojích klesají velmi pomalu (3-7 % ročně), příspěvek dávky z Cs^{137} zůstane pro obyvatele v následujících desetiletích dominantní (IAEA, 2011). Příspěvek z ostatních

dlouhodobých radionuklidů (Sr^{90} , izotopy plutonia, Am^{241}) k lidské dávce nebude představovat významnou hodnotu.

3.4 Lesní prostředí

Po havárii v Černobylu nejvyšší úroveň absorpce radioaktivního cesia byla hlášena u lesních porostů a lesních zvířat žijících na kopcích, kde byla zaznamenána nejvyšší koncentrace Cs^{137} v lesních produktech, díky neustálé regeneraci radioaktivního cesia v lesních ekosystémech. Obzvláště vysoké koncentrace ^{137}Cs byly nalezeny v houbách, které jsou zachovány od okamžiku nehody (KULIKOV A KOL, 1990).

Vedle hub a lesních živočichů byly vysoké aktivity radiocesia Cs^{137} pozorovány též v jedlých lesních plodech a tyto vysoké hladiny přetrvávají již dvě desetiletí. A tak, zatímco se expozice člověka ze zemědělských produktů obecně snížily, úroveň kontaminace v potravinářských výrobcích s původem v lese často i nadále v mnoha zemích zůstává nad přípustnou hladinou. Zvláště se to týká některých oblastí Běloruska, Ruska a Ukrajiny. Lze očekávat, že tato situace bude pokračovat po dobu několika desítek let a v důsledku toho může v několika postižených zemích v průběhu času dojít k relativně významnému zvýšení příspěvku v hodnotě ozáření skupin obyvatelstva z lesního prostředí.

Černobylská havárie vedla k významné kontaminaci sobího masa ve Finsku, Norsku, Rusku a Švédsku, a také způsobila vážné problémy u etnických národností Laponců. Použití dřeva a dřevěných výrobků je jen malý příspěvek k radiační dávce u populace, i když popel může obsahovat vysoké aktivity Cs^{137} a potenciálně vést k vyšším dávkám než v jiné využití dřeva stromů (IAEA, 2011). Cs^{137} ve dřevě je méně důležité, i když je ještě třeba posoudit dávky s původem v průmyslu papíru a celulózy.

3.5 Vodní prostředí

Radioaktivní emise v důsledku černobylské havárie vedla i k znečištění systémů povrchových vod v oblastech v blízkosti reaktoru a v mnoha jiných částech Evropy.

Počáteční activity byly způsobeny především přímým ukládáním radionuklidů na hladinách řek a jezer, a dominovaly "krátkověké" radionuklidy. V prvních týdnech po havárii se to projevilo i vysoká koncentrací v pitné vodě v nádržích v Kyjevě.

Uvolněné radionuklidy znečistily systémy povrchových vod nejen v oblastech přiléhajících reaktoru, ale i v mnoha jiných částech Evropy. Počáteční znečištění vod bylo způsobeno přímým spadem radionuklidů na povrch řek a jezer (KULIKOV A KOL., 1990).

Znečištění vody v půdách rychle klesla během několika týdnů fyzikální přeměnou radionuklidů. Sedimentace suspendovaných částic na dno jezer a nádrží hrála také důležitou roli při snižování hladiny radionuklidů ve vodě. Sedimenty jsou však důležité pro dlouhodobé ukládání radionuklidů (IAEA, 2011).

Počáteční příjem radioaktivního jódu u ryb byl rychlý, ale koncentrace prudce poklesla především v důsledku fyzikální přeměny.

Sekundární znečišťování Cs^{137} a Sr^{90} z kontaminovaných půd a jejich přesun ze sedimentů pokračovalo dlouhou dobu po havárii ale už na nižší úrovni. V současné době v povrchových vodách je koncentrace těchto prvků nízká (IAEA, 2011).

Vzhledem k tomu, že Černé moře a Baltské moře jsou daleko od černobylské jaderné elektrárny a mořské systémy mají vysoký stupeň ředění, koncentrace radionuklidů v mořské vodě je mnohem nižší než ve sladké vodě. V důsledku nízkých koncentrací radionuklidů v mořské vodě i v kombinaci s nízkou bioakumulací cesia u mořských živočichů a rostlin, nepředstavují koncentrace radiocesie v mořských rybách žádné problémy.

4 SOUČASNÁ SITUACE

Otázky týkající se radiační ochrany občanů vystavených, záření v důsledku černobylské havárie se řeší statními programy. V poslední době jsou to tyto programy:

- Federální cílový program o ochraně ruského obyvatelstva před účinky důsledků černobylské katastrofy pro období do roku 2000;
- Program "Children of Chernobyl";

- Program "Likvidátoři"

V roce 1998 v rámci Federálního cílového programu byla realizována výstavba zdravotnických zařízení, škol, bydlení, sídel. Stavební práce financována ve výši 28,4 % ročního limitu kapitálových investic. Vzhledem k nedostatku finančních prostředků, mnoho objektů nemohly být uvedeny do provozu (GORBACHOV, 2002).

Současný federální cílový program zdraví a léčebné rehabilitace občanů vystavených záření je také součástí hlavních akcí v rámci programu.

Ve federálních nemocnicích léčilo více než 5 000 lidí, ambulantní léčba byla poskytnuta více než 2 500 lidem a hospitalizováno bylo 993 lidí. Byla zajištěna funkce šesti meziřesortních expertních rad pro stanovení příčinných souvislostí onemocnění, invalidity a úmrtí osob vystavených záření po katastrofě v Černobylu.

V roce 1998 pokračovaly práce pro fungování ruského státního lékařského a dozimetrického registru. V současné době databáze obsahuje informace o registru 508236 lidí, z nichž byli 167726 likvidátoři, 8709 evakuované osoby, 303 602 obyvatelé žijící v kontaminovaných oblastech, 18 308 děti likvidátorů a 9891 přesídlení lidí.

Federální cílený program "Likvidátoři", schválený vládou Ruské federace ze dne 24.05. 1995 № 511, byl původně plánován s ukončením v roce 1997. Program v letech 1995-1997 zabezpečil 27820 bytů pro likvidátory. Stavebnictví a náklady na bydlení mají být podle plánu prováděny na úkor federálního rozpočtu (40 % z celkových nákladů na program) a z místních rozpočtů Ruské federace a mimorozpočtových zdrojů (60%).

Na základě těchto opatření se v letech 1995-1997 životní podmínky zlepšily v 8305 rodinách likvidátorů.

V souladu s programem "Děti Černobylu" bylo postaveno 43 objektů, včetně 24 nemocnic a porodnic, 13 zdravotních středisek, 4 polikliniky, 1 dětský domov. I přes špatné financování v roce 1998 vzniklo rehabilitační centrum pro děti (Livny, Orelská oblast), laboratorní zařízení všeobecné nemocnice (Uljanovsk) a byl zahájen provoz komplexu rehabilitačního centra pro rodiče s dětmi (fyzioterapie, pokojový penzion "Repnoe", Voroněžský kraj) (GORBACHOV, 2002) - Federální dětské vědecké

a praktické centrum pro léčení 373 lidí žijících v kontaminovaných oblastech, včetně 233 dětí a 140 matek.

4.1 Radio-hygienická situace

Vzhledem k přírodním procesům samočištění a přijatých ochranných opatření, radiační se situace v zamořených oblastech do dnešní doby výrazně zlepšila. Průměrná dávka vyšší než 1 mSv/rok byla pozorovaná v územích, kde žije cca 50 tisíc obyvatel. Podle posledních údajů zveřejněných Federálním centrem pro hygienickou kontrolu v místech, kde dávka na začátku 90. let překročila 5 mSv/rok, je nyní již nižší než 5 mSv/rok (FAO, 2006). Maximální hodnota průměrné roční efektivní dávky nepřekročuje 3 mSv/rok. Podle odborníků a dat radiačně hygienické kontroly, většina vnitřní dávky je dána konzumací mléka ze soukromých farem, jakož i lesních hub a lesních plodů.

Mimo tří nejvíce kontaminované oblasti (Bělorusko, Ruská federace a Ukrajina) dávky nepřesahují několik mSv za rok a jsou srovnatelné s místní roční dávkou z radiačního pozadí (4,3 mSv).

Sanitární kontrola radiocesiumu v pitné vodě a potravinách v zamořených oblastech ukazuje překročení limitu ve většině oblastí (FAO, 2006). V Bryanské a Kalužské oblasti bylo nepravdělně pozorováno překročení přípustných hladin obsahu radiocesiumu v mléce a mase. V těchto a několika dalších oblastech byly zaznamenány i případy vysoké úrovně radionuklidů u lesních hub a lesních plodů, masa volně žijících živočichů a ryb.

5 RADIOKONTAMINACE V NEJBLIŽŠÍM OKOLÍ JADERNÉ ELEKTRÁRNY ČERNOBYL

Zpočátku šíření radioaktivního zamoření prouděním vzduchu došlo v západních a severních oblastech, v následujících třech dnech na severu, a od 29. dubna 1986 několik dní v jižním směru (ke Kyjevu). Znečištěný vzduch se šířil na velké vzdálenosti přes území Běloruské SSR, SSSR a RSFSR, jakožto i mimo Sovětský svaz. 15 dní po

nehodě byla zaznamenána hladina gama záření ve vzdálenosti 50 - 60 km na západ a 35 - 40 km severně od černobylské jaderné elektrárny.

Tab.1: Podíly kontaminace z černobylské havárie v Evropě (IZRAEL A KOL., 1998).

STÁT	%
Rakousko	2,1
Bělorusko	23
Belgie	0,02
Velká Británie	0,83
Maďarsko	0,24
Německo	1,8
Řecko	1,1
Dánsko	0,02
Irsko	0,33
Španělsko	0,05
Itálie (Sicílie bez)	0,9
Lotyšsko	0,09
Litva	0,38
Lucembursko	0,01
Moldova	0,53
Nizozemsko	0,02
Norsko	3,1
Polsko	0,63
Rusko (evropská část)	30,3
Rumunsko	2,4
Slovensko	0,28
Slovinsko	0,52
Turecko	0,16
Ukrajina	18,18
Finsko	4,8
Česká republika	0,54
Švédsko	4,6
Švýcarsko	0,43

Znečištění ve velkých vzdálenostech od černobylské jaderné elektrárny jasně ilustruje situace na jihu Německa, v Rakousku, Finsku, Norsku, Švédsku a na střední Volze. V těchto oblastech, a to na vzdálenost více než 1000 km od Černobyli, se našly velké plochy s úrovní kontaminace vyšší než 40 kBq.m^{-2} ($1,08 \text{ Ci.km}^{-2}$), ale méně než 40 kBq.m^{-2} (resp. $1,08 \text{ Ci.km}^{-2}$) (IZRAEL, 1998).

6 DALŠÍ NEHODY JADERNÝCH ZAŘÍZENÍ (KRÁTKÝ PŘEHLED)

6.1 Havárie Fukušima (Japonsko)

Jaderná elektrárna Fukushima-1 se nachází v Japonsku v lokalitě Okuma. Tato elektrárna byla postavena v letech 1960-1970 a je provozována společností Tokio Energy Company (TEPCO). Jaderná elektrárna má šest jednotek s celkovou kapacitou 4,7 GW.

11. března v roce 2011 v Tichém oceánu u východního pobřeží Japonska došlo ke zemětřesení o síle 9,0 až 9,1 stupně. Toto zemětřesení bylo nejsilnější v historii země a způsobilo obrovské tsunami, které smetlo domy a auta. Maximální výška vlny byla 40,5m. V důsledku toho zahynulo nebo zmizelo více než 20 tisíc lidí.

Téměř okamžitě po zemětřesení a tsunami na jaderné elektrárně Fukušima-1 došlo k nehodě. Provozní reaktory byly sice vypnuté, ale následně došlo ke ztrátě externího napájecího zdroje. Vlna zaplavila záložní dieselové generátory, což mělo za následek kolaps chladicího systém reaktorů u bloků 1, 2 a 3, kde pravděpodobně došlo k tavení jádra těchto reaktorů. V důsledku reakce mezi zirkoniem pouzder jaderného paliva a vodní parou došlo i k produkci a následné explozi vodíku a zničení budov, kde byly umístěny reaktory. Na 5. a 6. reaktorovém bloku k nehodě nedošlo, protože tam zůstal dieselový generátor, se kterým se podařilo reaktory a bazény s použitým jaderným palivem chladit.

Při likvidaci nehody aktivně zasahovala do procesu vláda Japonska.

6.1.1 Následky nehody a radioaktivní kontaminace

V důsledku havárie se do atmosféry a oceánu uvolnily radioaktivní prvky, jako je například jód I^{131} (má velmi krátký poločas rozpadu) a cesium Cs^{137} (poločas rozpadu je 30 let). Stanice v místě také zjistily malé množství plutonia (ATOMIC SCIENTISTS, 2011).

Celkový objem emisí radionuklidů byl přibližně 20 % emisí černobylské havárie. Obyvatelstvo do vzdálenosti 30 kilometrů kolem zóny elektrárny bylo evakuováno. Byly zjištěny radioaktivní látky v pitné vodě a potravinách, a to nejen v prefektuře Fukušima, ale i v jiných částech země. Mnohé země, včetně Ruska, zakázaly dovoz japonských výrobků.

Poprvé po černobylské havárii jaderná energie utrpěla vážnou ránu. Světové společenství znovu začalo přemýšlet o tom, zda jaderná energie je bezpečná. Mnoho zemí pozastavilo své projekty v průmyslu a v Německu bylo rozhodnuto, že v roce 2022 se vypne poslední jaderná elektrárna a budou se rozvíjet alternativní zdroje energie.

Podle schváleného plánu vládou Japonska úplné odstranění následků havárie v jaderné elektrárně Fukušima bude trvat cca 30 do 40 roků. V prosinci 2011 bylo oznámeno ukončení procesu studeného odstavení reaktoru a byly zahájeny práce na vyjímání použitého jaderného paliva z chladicích bazenů. Následně se plánuje, že bude vyjmuto i jaderné palivo z reaktorů a elektrárna postupně zcela rozebrána.

6.1.2. Srovnání havárií v Černobylu a Fukušimě.

V důsledku havárie elektrárny v Černobylu byla radiačně kontaminována plocha téměř 200 tisíc km^2 . Kontaminace zasáhla především severní část Ukrajiny, Bělorusko a západní část Ruska. Co se týče Japonska, radiací kontaminované území bylo na 26 tisících km^2 , což zahrnovalo především oblast prefektury Fukušima a dále oblast Tohoku a metropolitní oblast Tokia.

Únik radioaktivních látek do ovzduší při havárii v jaderné elektrárně Fukušima byl 8 krát nižší, než bylo pozorováno během černobylské havárie (ATOMIC SCIENTISTS, 2011). Mnohem více přímých obětí bylo u havárii černobylské jaderné

elektrárny, ale neměli bychom zapomínat, že havárie v jaderné elektrárně Fukushima měla charakter radikálně odlišný od povahy katastrofy v Černobylu.

V Černobylu hlavním nebezpečím pro lidské zdraví bylo uvolnění radioaktivních prvků v okamžiku nehody. Jaderná elektrárna ve Fukushimě se nachází vedle oceánu, takže značná část radioaktivních látek (520 tun) byla vypuštěna do oceánu. Na jedné straně je to v důsledku podstatně menšího znečištění přilehlých oblastí (kromě toho, na rozdíl od Černobylu, ve Fukushimě nedošlo k explozi reaktoru jako takové, a proto nedošlo k masivnímu rozšíření radioaktivních částic vzduchem), ale na druhé straně unikla z poškozených reaktorů znečištěná voda do oceánu, havárie měla škodlivý vliv na stav kvality vody a přímořské obyvatel.

Hlavní pozitivní odlišností v případě havárie v Japonsku bylo organizování likvidace havárie. Naopak, během prvních několika dnů po černobylské havárii sovětské vedení neinformovalo obyvatel své země a světové společenství o incidentu. Kromě toho v prvních dnech po nehodě byla zamlčována data o jejím skutečném či předpokládaném dopadu. Japonci reagovali na katastrofu velmi rychle: byla organizována evakuace okolních obyvatel a prezentovány způsoby, jak se bránit nadměrné expozici. Kromě toho byli likvidátoři havárie na jaderné elektrárně v Japonsku technicky lépe vybaveni než v Černobylu v roce 1986. V SSSR byl nedostatek prostředků pro ochrany lidí, z nichž mnozí pak obdrželi vysokou velkou dávku záření. Ionizujícím zářením bylo též pravděpodobně zasaženo obrovské množství zvířat. Podle nejkonzervativnějších odhadů v důsledku černobylské havárie tento počet dosáhl 6.000.000, kdežto nehoda v japonské jaderné elektrárně asi 700 tis. (Fedorov, 1997).

Tab. 2 : Srovnávací hodnocení socio-ekonomických ukazatelů škod z černobylské havárie a jaderné elektrárny Fukušima (Fedorov, 1997).

Indikátor	Černobylská elektrárna	Japonská elektrárna
Počet oběti mezi lidmi	31 lidí	5 lidí
<ul style="list-style-type: none"> • Zemřeli okamžitě při nehodě 	-	-
<ul style="list-style-type: none"> • Zmizeli v okamžiku nehody 	-	2 lidí
<ul style="list-style-type: none"> • Hospitalizován 	500 lidí	34 lidí
<ul style="list-style-type: none"> • Těžká forma nemocí z ozáření 	272 lidí	200 lidí
Počet evakovaných	135 000 lidí	78 000 lidí
Únik radioaktivních látek do ovzduší	5 200 000 TBq	630 000 TBq
Kontaminovaná plocha	200 000 km ²	26 000 km ²
Kontaminovaná půda	1 347 200 ha	24 000 ha
Kontaminované lesy	1 730 000 ha	600 ha
Zněčištění vody radioaktivními látkami	6 tun	11 500 tun
Počet postižených zvířat zářením	cca 4 000 000	cca 700 000
Výše škody	752 . 10 ¹⁰ rublů	236,8 . 10 ¹⁰ rublů

Na základě údajů uvedených v tabulce základě, je možné vyvodit závěry o sociálně-ekonomické škody způsobené člověkem způsobených katastrof na příkladu černobylské jaderné elektrárny a jaderné elektrárny Fukušima-1.

Tab. 3: Porovnání dočasných přípustných hladin (TAL) radioaktivních látek v potravinách SSSR a Japonska (Bq. kg⁻¹) (Fedorov, 1997).

Název produktu	SSSR	Japonsko
Voda	370	200
Mléko	370	200
Tvaroh	3700	500
Sýr	7400	500
Máslo	7400	500
Smetana	3700	500
Tuky	7400	500
Maso	3700	500
Dom.drůbež	3700	500
Vejce	1850	500
Ryba	3700	500
Zelenina	3700	500
Brambory	3700	500
Ovoce, plody	3700	500
Juice	3700	200
Obilniny	370	500
Chleb	370	500
Cukr	1850	500
Houby	18500	500

Odborníci říkají, že norma pro vnitřní expozice by neměla příliš přesáhnout 1 mSv za rok. Podle běloruské normy je to shodné, 1 mSv nad přírodním pozadím, a

zahrnuje jak vnitřní expozici z kontaminovaných potravin tak i vnější expozici zapříčiněnou člověkem (např. v důsledku nehody).

Vyplývá, že v Japonsku se tato dávka 1 mSv vztahuje pouze na jídlo.

Tabulka číslo 3 ukazuje, že TAL radioaktivních látek v potravinách byla v SSSR vyšší než v Japonsku.

Po 26 let od havárie v černobylské jaderné elektrárně bylo odhadnuto, že tato událost je nejdražší havárií v historii lidstva. Výše škody je odhadována 7 520 miliard rublů. Škody havárie japonské jaderné elektrárny vyčíslily na 2 368 miliard rublů (IAEA, 2011).

Důsledky černobylské katastrofy i havárie jaderné elektrárny v Japonsku se budou projevovat po mnoho staletí, a to ze dvou důvodů. Za prvé, porušení lidského těla působením záření může být dědičné, genetický znak. Za druhé, při radioaktivní přeměna zbytků paliva bude probíhat – několika desítek mnoho stovek let. Přitom urychlení tohoto mechanismu je komplikované a neutralizace kontaminovaných oblastí i s moderními technologiemi je téměř nemožné.

6.2 Havárie elektrárny Three Mile Island

6.2.1 Krátký přehled

Elektrárna "Three Mile Island" používala tlakovodní reaktor s duálním systémem chlazení. Na stanici, provozované dvěma jednotkami, došlo k nehodě na bloku číslo dvě (TMI-2). Událost se začala rozvíjet 28. března 1979 kolem 04:00 ráno, kdy přestalo fungovat čerpadlo v sekundárním chladicím systému. Automaticky se zaplo záložní čerpadlo, ale nebylo v tomto okruhu odblokováno uzavření ventilů, které byly před nehodou uzavřeny omylem při prováděných kontrolách. Vzhledem k tomu se odvod tepla z primárního okruhu zastavil, začal růst tlak a byl otevřen náhradní ventil, který snižuje tlak ale odvádí i páry chladiva. Tento ventil by se měl po snížení tlaku uzavřít, ale k tomu nedošlo. Bylo tak vypuštěno velké množství páry a hladina chladiva v reaktoru se významně snížila.

I když se jaderné palivo je částečně roztavilo, většinou zůstalo uvnitř. Podle různých odhadů, byly do atmosféry uvolněny radioaktivní vzácné plyny, a to v rozmezí od 2,5 do 13000000 Bq, ale uvolnění nebezpečných radionuklidů, jako je I^{131} , bylo zanedbatelné (ROGOVIN, 1980). Vnitřní zařízení bylo také kontaminováno, neboť radioaktivní voda unikaly z primárního okruhu. Bylo rozhodnuto, že evakuace obyvatel s bydlištěm v blízkosti zařízení není však třeba, Guvernér Pennsylvanie doporučil opustit oblast ve vzdálenosti 8km těhotným ženám a dětem předškolního věku.

Průměrná dávka záření u obyvatel, kteří žili v oblasti 16 km byla 8 milirem (80 mSv) a nepřekročila u žádného z obyvatel.

Bylo provedeno důkladné vyšetřování okolností nehody. Bylo konstatováno, že provozovatelé udělali pár chyb, které se vážně zhoršily situaci. Tyto chyby byly způsobeny tím, že byli přetíženi řadou informací, z nichž některé se nevztahovaly k situaci, zatímco jiné byly prostě chybné. Po nehodě byly provedeny změny ve výcviku operátorů. Jestliže před havárií byla hlavní pozornost věnována schopnosti provozovatele analyzovat situaci a určit, co způsobilo problém, po nehodě byl trénink zaměřen na realizaci provozovatelem předem definovaných technologických postupů (KEMENY, 1979). Rovněž se zlepšila znalost ovládacích panelů a dalšího vybavení stanice. Na všech amerických jaderných elektrárnách byly připraveny plány pro řešení havárií s přítomností rychlé výstrahy pro obyvatele v okruhu 10 mil. Práce na odstraňování následků nehody byly zahájeny v srpnu 1979 a byly oficiálně ukončeny v prosinci 1993. Jejich cena představovala 975 milionů dolarů. Byla provedena dekontaminace ploch stanice a užitá palivo bylo z reaktoru odstraněno. Provoz (jiného typu reaktoru -TMI-1) byl obnoven v roce 1985 (KEMENY, 1979).

6.2.2 Srovnání havárií černobylské a americké TMI

Porovnání technologie jaderného reaktoru v Černobyli, a reaktorů v USA není možné. Za prvé, reaktor v Černobyli, který je moderovaný grafitem a chlazený vodou, udržuje vysoký kladný parní koeficient. V podstatě to znamená, že za určitých podmínek při neúčinnosti chladicí kapaliny může dojít ke zvýšení reaktivity. Jinými

slovy, jeho reaktivita se může rychle zvýšit jako důsledek zvýšení teploty nebo ztráty nad její regulaci, což má za následek další štěpení, vyšší teplotu, a v konečném důsledku zhroucení chladicích kanálů a palivových článků (IAEA, 1991)

V americkém reaktoru chladicí kapalina udržuje vysokou teplotu, a moderátor se používá k udržení jaderné reakce. Jak probíhá jaderná reakce, voda se ohřívá a stává se méně efektivním moderátorem (chladnější voda usnadňuje štěpení lépe než teplá voda), což způsobuje, že reakce zpomalí a reaktor se ochladí. Tato vlastnost dělá lehkovodní reaktory ve své podstatě bezpečnými a to je také důvod, proč by černobylský reaktor nikdy nemohl být v Americe licencován (ANS, 2009).

Černobylská havárie také vedla k vytvoření celé řady mezinárodních snah o zvýšení bezpečnosti jaderných elektráren prostřednictvím lepšího výcviku, koordinace a implantace osvědčených postupů. Světové sdružení provozovatelů jaderných zařízení (WANO) je organizace, která sdružuje každý subjekt na světě, který provozuje jadernou elektrárnu.

Okolnosti, příčiny a podmínky černobylské havárie jsou vzdálené od americké skutečnosti. Důležité poznatky by však měly být převzaty z obou nehod. Na rozdíl od černobylské události, během nehody v TMI nepřišel nikdo o život ani nebyl zasažen vyšší dávkou radiace.

V dalších letech probíhaly dekontaminační práce, které byly zaměřeny na čištění zasažených objektů a odpadních vod. Není známé přesné množství uniklých radioaktivních látek, které se do vod dostaly, protože se Američané také snažili havárii utajit (GRACLIKOVA, 2013).

6.2 Jaslovské Bohunice

6.3.1 Krátký přehled

V jaderné elektrárně Jaslovské Bohunice A-1 v bývalém Československu došlo ke dvěma vážným nehodám. V roce 1976 unikl do haly reaktoru vysoce radioaktivní oxid uhličitý. Do životního prostředí unikly 4 miliardy Bq (0,1 curie) radioaktivního jódu I^{131} . Jedenáct kilometrů od elektrárny byla v zamořené trávě naměřena hodnota cesia

Cs¹³⁷ kolem 500 Bq.kg⁻¹, v kukuřici přesáhlo zamoření jódem I¹³¹ 400 Bq.kg⁻¹ (MOTYČKA, ČERNÁK, 2014). Při havárii zahynuli dva lidé. Byli to likvidátoři jaderného odpadu, kteří pracovali pod zemí pod reaktorovou halou. ...“Když pocítili unikající plyn, snažili se dostat nahoru. Běželi však tam, kde to bylo nejhorší. Když jsme je našli, už jim nebylo pomoci“, tvrdí jaderný expert František Hezoucký, tehdejší šéf oddělení technického rozvoje v J. Bohunicích.

K druhé havárii na reaktoru A-1 došlo 22. února 1977 při výměně palivového článku. Při přípravě čerstvého palivového článku si pracovníci dílny palivových článků všimli, že sáček se silikagelem, který se do článků vkládal jako absorbér vlhkosti v době jejich uskladnění, je roztržený a kuličky silikagelu se vysypaly do palivové kazety. Silikagel povysávali, ale nevšimli si, že část z nich uvízla uvnitř souboru v distančních mřížkách. Po zavezení palivového souboru do reaktoru nemohlo chladicí médium volně proudit a lokální přehřívání způsobilo roztavení palivových proutků a propálení kesonové roury těžkovodní nádoby moderátoru. Tím došlo k průniku moderátoru (těžké vody) do primárního okruhu a v důsledku toho k rychlému nárůstu vlhkosti, které následně vedlo k rychlému poškození pokrytí paliva nacházejícího se v reaktoru. Primární okruh byl silně kontaminován štěpnými produkty, přičemž v důsledku netěsností parogenerátorů byl částečně kontaminován i sekundární okruh. V důsledku této havárie byla jaderná elektrárna A-1 uzavřena a v současné době se provádí její likvidace. Tato nehoda byla vyhodnocena stupněm 4 na sedmistupňové mezinárodní stupnici INES.

Částečně roztavený reaktor byl ponechán ve stavu, v jakém byl, a čekalo se na vývoj nových technologií, které by umožnily jeho bezpečnou likvidaci. Mezitím došlo k rozsáhlé korozi reaktoru a bazénů s poškozeným palivem, takže radioaktivní látky začaly pronikat do životního prostředí.

V roce 1990 byla v řece Dudváh zjištěna kontaminace prudce jedovatými izotopy plutonia v množství až 200 Bq⁻¹. Hygienici doporučili starostům přilehlých obcí, aby na řeku nepouštěli drůbež (MOTYČKA, ČERNÁK, 2014).

Kontrola v roce 1990 také zjistila, že v okolí elektrárny dosahuje intenzita adiacce 20-násobku přirozené úrovně. Ve vrtech byla ve spodní vodě nalezena velká koncentra-

ce radioaktivního tritia, až 11 mil. Bq⁻¹ (norma pro pitnou vodu činí 700 Bq⁻¹, pro ostatní vody 5 000 Bq⁻¹; byla tedy více než 2000 násobně překročena).

Většina obyvatel v bývalém Československu se o nehodě nedozvěděla, resp. většina obyvatel nemá ani tušení o samotné existenci jaderné elektrárny EBO A1. Skutečný rozsah nehody nebyl zveřejněn a ani v současné době prakticky neexistují veřejně dostupné detailní informace o příčinách, průběhu a důsledcích této havárie.

6.3.2 Srovnání nehod

Nehoda byla na mezinárodně používané sedmibodové škále závažnosti jaderných událostí označena čtvrtým stupněm. To je jen o bod nižší ohodnocení, než jaké si vysloužila například nezávažnější havárie v USA, k níž došlo roku 1987 v elektrárně Three Mile Island. Na některých místech řeky Dunváh byly zjištěny hodnoty (radioaktivního cesia a stroncia) srovnatelné s dávkou naměřenou v Černobylu během evakuace. Došlo k úniku radioaktivity $4 \cdot 10^{12}$ Bq, což je stodesetinásobek mezní hodnoty, dnes přípustné roční výpusti pro všechny bohunické reaktory (NOVÁK, 2011).

7 DISKUZE

Tato práce je zaměřena na havárii černobylské jaderné elektrárny. Kolem vyšetřování příčin černobylské havárie vzniklo hodně mýtů. Černobylská havárie má velký společensko-politický význam pro SSSR a zanechala jasnou stopu o průběhu vyšetřování a jejích příčin. Přístup k výkladu nehody se měnil v průběhu času a v současné době není jednoznačný společný názor.

Nepochybně hlavním tématem v této studii je hodnocení důsledků černobylské katastrofy, které byly učiněny v průběhu let, jaké postupy byly použity proti následkům havárie a jaká je současná situace a perspektivy do budoucnosti.

Problém překonat následky jaderné katastrofy v aktualizované podobě v mysli veřejnosti zastihuje problém určit příčiny a okolnosti nehody a vyvodit poučení pro budoucnost. Nicméně řešení těchto problémů není považováno mezi odborníky za konečné, o čemž svědčí probíhající analytické studie, stejně jako diskuse o tomto

problému z různých pohledů, včetně mezinárodních workshopů, vědeckých a technických porad.

Je pravdou, že i malá porucha může vést ke katastrofě a žádná technologie není bez rizika. Ani v budoucnu nelze možnost havárie jaderné elektrárny úplně vyloučit. Stejně tak nelze úplně vyloučit protržení některé z velkých přehrad, rozsáhlé důlní neštěstí a řadu dalších průmyslových havárií. Žádná technologie není bez rizika a je třeba různá rizika srovnávat.

Vážnější havárie jaderných elektráren s únikem radiace (ve stupnici INES hodnocení 4 a více) bylo několik. V roce 1977 byla havárie Jaderné elektrárny A1 v Jaslovských Bohunicích. Při ní nebyly žádné oběti na životech a únik radioaktivity mimo areál neměl dopad na obyvatelstvo. O rok dříve zde došlo k nehodě s únikem oxidu uhličitého využívaného k chlazení aktivní zóny. Při této události se dva zaměstnanci udusili. Obě havárie mají známku ve škále INES 4. Další je havárie v Jaderné elektrárně Three Mile Island v roce 1979. Ani při ní nebyly žádné oběti a radioaktivita uniklá mimo areál ohrozila obyvatelstvo minimálně, ale ve stupnici INES dosáhla stupně 5.

První havárii, která si vyžádala oběti na životech tak byla havárie Jaderné elektrárny Černobyl. Tam zahynulo při havárii nebo následkem ozáření v jejím průběhu 47 zaměstnanců. K přímým obětem lze připočítat i oběti rakoviny štítné žlázy, která je v normálních podmínkách vzácná. Ovšem je poměrně dobře léčitelná, takže z necelých 7000 případů, které se po havárii v Černobylu v postižené oblasti do současnosti objevily, se nepodařilo zachránit a vyléčit pouze 14 lidí.

Poslední havárií pak byla už zmiňovaná havárie Jaderné elektrárny Fukušima. Ta se obešla se bez přímých obětí. Byla třetí z havárií, které měly dopad na okolí a ve stupnici INES stupeň větší než čtyři (WAGNER, 2012).

Důsledky diskutovaných havárií jaderných reaktorů pro zemědělství, výrobu a spotřebu potravin, jakož i pro životní prostředí se projeví výrazněji než přímý dopad na zdraví lidí.

V bývalém Sovětském svazu byla z výroby vyloučena velká plocha půdy, a

očekává se, že tato ztráta v těchto oblastech potrvá dlouhou dobu. Zemědělství a produkce mléka je stále pod přísnou kontrolou a jsou stanoveny standardy pro prodeje a spotřebu odpovídajících výrobků.

Podobné, i když méně závažné problémy s řízením zemědělské rostlinné a živočišné výroby, nebo omezující spotřeba, byly pozorovány v několika evropských zemích, mimo bývalého Sovětského svazu. Většina těchto omezení byla před několika lety zrušena. Ale i nyní je v Evropě stále ještě několik oblastí, kde jsou omezení týkající se porážky zvířat a prodeje masa.

Lesní ekosystém je jedno z prostředí, v němž byly pozorované a do budoucna budou nadále existovat problémy. Vzhledem k vysoké filtrační účinnosti stromů srážky byly mnohem výraznější v lese než v jiných oblastech. Akutní problémy byly pozorovány v takzvané oblasti "Červeného lesa" u Černobylu, kde intenzita záření byla tak vysoká, že se zničily stromy, které se později musely být zničeny jako radioaktivní odpad. Obecně platí, že stejně tak jak se v lesích vyrobí dřevo, provádí lov, sběr lesních plodů a hub, les je i místem odpočinku, a tak stále v řadě oblastí představuje riziko, a zdá se, že v některých lesních oblastech problém záření zůstane po dlouhou dobu.

Radioaktivní kontaminace rybníků, řek, jezer a nádrží může být významným zdrojem ozáření obyvatelstva, pokud mají být použity pro rekreaci, jako zdroj pitné vody nebo pro rybaření. Odhady ukazují, že podíl individuálních a kolektivních radiačních dávek z těchto zdrojů, nebyl větší než 1-2 % z celkového náhodného znečištění. V posledních deseti letech znečištění vodního systému nezpůsobilo zdravotní problémy. Nicméně, vzhledem k velkému množství radioaktivity ze srážek ve spádové oblasti kolem Černobylu, vyžadují vodní zdroje pečlivé a dlouhodobé sledování, aby nebyly kontaminovány odtoky z povodí.

Mimo území bývalého Sovětského svazu nenastal problém, který by mohl způsobit znepokojení nad úrovní radioaktivity v pitné vodě. Na druhou stranu, u řady jezer, především ve Švýcarsku a severských zemích, byla potřeba zavedení povinných limitů pro rybolov. Tato omezení jsou stále v platnosti. Například ve Švédsku, kde je tisíce jezer, se loví ryby s úrovní radioaktivity, která stále přesahuje normy stanovené

místními úřady a která neumožňuje prodávat tuto rybu jako potravinu.

Expozice z radionuklidů způsobila četné akutní změny u rostlin i živočichů, kteří se nacházeli v oblastech s vysokou expozicí, tj. ve vzdálenosti 30 km od místa černobylské havárie. Byly zjištěny i účinky vyvolané akutním ozářením rostlin a zvířat i mimo tuto „zakázanou“ zónu. Reakce přírodního prostředí na havárii určí teprve v budoucnu komplexní výsledek interakcí mezi radiační dávkou a radiosenzitivitou různých rostlin a živočichů.

8 ZÁVĚR

V této práci jsem zanalyzovala dostupné informace černobylské havárie a její důsledky v nejbližším okolí.

Prvním úkolem bylo zpracovat literární přehled zahrnující poznatky k zadanému tématu.

Na základě získaných informací jsem pak charakterizovala míru kontaminace specifikovaných oblastí ekologicky významnými radionuklidy. V důsledku silného záření byly v okolí elektrárny zničeny borovice lesní. Všechny mrtvé stromy o ploše několika hektarů byly odstraněny. Ve zbývajících lesích se předpokládá změna jehličnanů na listnaté lesy. V důsledku katastrofy zahynula většina malých hlodavců. Voda byla také radioaktivně kontaminovaná, stejně tak i půda. Vodní prostředí přispívá k rychlému šíření radioaktivity a kontaminaci velkých ploch.

Mezi radiokontaminanty bylo zjištěno 23 hlavních radionuklidů. Většina z nich se během několika měsíců přeměnila. Z těchto radionuklidů byl nejnebezpečnější izotop jódu I^{131} .

Dalším úkolem bylo analyzovat agroekologický význam radiokontaminace v nejbližším okolí JE. Černobylská havárie vedla k vypuštění velkého množství radionuklidů a radioaktivních vzácných plynů z aktivní zóny reaktoru. Uvolňování radionuklidů do ovzduší pokračovalo až do 6 května. A celou tu dobu se prostřednictvím atmosféry radionuklidy šířily. Samostatné jemné částice a radioaktivní plyny byly registrovány na Kavkaze, ve střední Asii, na Sibiři, Číně, Japonsku, USA.

Silná radioaktivní kontaminace byla zaznamenána též v Gomelské a Mogilevské oblasti Běloruska, v části Kyjeva a Charkova na Ukrajině. Ale většina radionuklidů sedimentovala v tzv. 30 kilometrů zóně a na sever od Černobylu.

V poslední části práce jsem provedla srovnání vážných jaderných havárií. Srovnala jsem havárie v Černobylu, japonské elektrárně Fukušima I., americké Three Mile Island a v Jaslovských Bohunicích v tehdejším Československu. Lze konstatovat, že z těchto 4 havárií nejvíce škodlivé důsledky na životní prostředí a lidské zdraví vyplynuly z černobylské havárie.

9 POUŽITÁ LITERATURA

Abagyan A.A., 1986: Informace o havárii na černobylské elektrárně a její důsledky (Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и её последствиях, подготовленная для МАГАТЭ). *Publikace: Atomní energetika*, Moskva, 301-320 s.

Abramov M. A., Avdeev V. I., Adamov E.O., 2006: Reaktor bolšoj moščnosti kanalnyj. (Канальный ядерный энергетический реактор РБМК). *РБМК-1000*, Moskva, 632 s.

ANS, 2009: American Nuclear Society: *What Happened and What Didn't in the TMI-2 Accident*. Database online [cit. 2015-02-02] dostupné z at <http://www.ans.org/pi/resources/sptopics/tmi/whathappened.html>

Atomic Scientists, 2011: Bulletin of the Atomic Scientists: *The radiological and psychological consequences of the Fukushima accident*, New York. s. 27–36.

Dmitrijev V.M., 1986: Černobylská havarie. Příčiny havárie. (Чернобыльская авария. Причины катастрофы). *Časopis: Bezpečnost v technosféře*, Moskva, s.38.

Dyatlov A.S., 2000: Černobyl. Jak to bylo. (Чернобыль. Как это было), Vydavatelství «Naučtěchlitzdat», Moskva, 150 s., ISBN 5-93728-006-7

FAO (Food and Agriculture Organization), 2006: Dědictví Černobylu: Zdravotnické, ekologické a sociálně-ekonomické dopady. (Наследие Чернобыля: медицинские, экологические и социально-экономические последствия). Publikace, Moskva, 58 s.

Fedorov G.A., 1997: Hodnocení radiační situace na základě výsledků gama spektrometrického průzkumu oblastí. (Оценка радиационной обстановки по результатам гамма-спектрометрического обследования местности), In ANRI №5, Moskva, 116 s.

Gorbachov B.I., 2002: (PRIS) Power reactor information system: *Havárie na černobylské elektrárně (příčiny, kronika událostí, závěry)*. (Чернобыльская авария: причины, хроника событий, выводы). Ukrajina, Databaze online [cit. 2014-12-20]. Dostupné na : <http://n-t.ru/tp/ie/ca.htm>

Graclikova, L., 2013: Transfer a distribuce významných radionuklidů antropogenního původu ve vodním prostředí. Bakalářská práce, Brno, s.37.

Hrouda J., 2015: Schéma bloku s reaktorem RBMK-1000. *Klub Praha 7*. Databaze online [cit. 2015-04-12]. Dostupné na: <http://www.klubpraha7.cz/?p=1836>

Chernobyl. Database online [cit. 2015-04-15]. Dostupné na: <http://www.chernobyl.cz/>

IAEA 1991: International Atomic Energy Agency - The International Chernobyl Project, Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures, IAEA/PI/A32E, Austria, 27 s.

IAEA, 1986: Summary Report on the Post-Accident Review on the Chernobyl Accident. International Nuclear Safety Advisory Group, Safety Series No. 75-INSAG-1. IAEA, Vienna, 118 s.

Izrael Y.A., Kort M.D., Fridman S.D., 1998: Kontaminace cesiem v Evropě po černobylské havárii. In *Atlas*. Lucembursko, 73 s.

Karpan N.V., 2001: Od Chernobyle do Fukushima. In Podgornov S., ,Moskva, 262 s., ISBN: 966-7853-00-4

Kemeny J. G., 1979: Report of The President's Commission on the Accident at Three Mile Island: The Need for Change: The Legacy of TMI. Washington ,The Commission 1979. ISBN 0935758003

Kulikov I.V., Molchanova I.V., Karajeva E.N., 1990: Radioekologie v půdě a rostlinách.(Радиоэкология почв растительных покровов), In SSSR. Sverdlovsk, s.187 .

Legasov V.A., 1986: Popis havárie na černobylské elektrárně. Reaktor RBMK-1000. Důsledky havárie . (Описание Чернобыльской АЭС с реакторами РБМК-1000 и её последствиях.). In Politechnika, Vídeň, s.23.

Motyčka V., Černák M., 2014: *Jaslovske Bohunice*. Databaze online [cit. 2015-04-10]. Dostupné na <http://jaderneinfo.cz/news/jaslovske-bohunice1/>

Novák A., 2011: *Jaslovske Bohunice. Utajená jaderná havárie v srdci Evropy*. Databaze online [cit. 2015-04-10]. Dostupné na <http://www.novakoviny.eu/>

Rogovin M., 1980: *Three Mile Island: A report to the Commissioners and to the Public, Volume I. Special Inquiry Group*. Washington. Databaze online [cit. 2015-03-01]. Dostupné na <http://www.threemileisland.org/downloads/354.pdf>

Wagner V., 2012: *Ekolist: Nejen při posouzení rizika je nejdůležitější srovnání*. Databaze online [cit. 2015-03-12]. Dostupné na <http://ekolist.cz/>

Wikipedie, 2015: *Havárie na černobylské elektrárně. (Авария на Чернобыльской АЭС.)* Encyklopedie online [cit. 2015-02-08]. Dostupné na [https://ru.wikipedia.org/wiki/Авария на Чернобыльской АЭС](https://ru.wikipedia.org/wiki/Авария_на_Чернобыльской_АЭС)