



HAVÁRIE

ČERNOBYLSKÉ ELEKTRÁRNY

35 LET POTÉ

Obsah

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Úvod..... | 2 |
| 2. | Havárie na jaderné elektrárně Černobyl – zkouška, která změnila lidstvo..... | 3 |
| 3. | Opatření přijatá po havárii v Černobylu | 5 |
| 4. | Opatření na území ČR | 6 |
| 4.1 | Monitorování na území Československa..... | 6 |
| 4.2 | Kontrola potravin | 9 |
| 4.3 | Přehled opatření zavedených na území ČR po černobylské havárii..... | 10 |
| 5 | Opatření zaměřená na jaderné elektrárny | 10 |
| 6 | Zdravotní dopady havárie v Černobylu..... | 11 |
| 7 | Sociální a psychologické aspekty | 14 |
| 8 | Zvládání radiační mimořádné události | 14 |
| 9 | Obnova území v Černobylu..... | 15 |
| 10 | Aktuální informace ke konci roku 2020 | 16 |
| 11 | Citace | 19 |

1. Úvod

V letošním roce si připomínáme události spjaté s černobylskou havárií, které před 35 lety zasáhly celý svět a svým rozsahem se neblaze zapsaly do lidské historie. Havárie si bezprostředně vyžádala 29 lidských obětí následovaných dalšími úmrtími a onemocněními s trvalými následky. Dopady havárie jsou patrné nejen na území bývalého Sovětského svazu, ale i v Evropě včetně České republiky a své stopy zanechala i na ostatních kontinentech. Zasažené skupiny obyvatelstva a území jsou vzhledem k dlouhodobým účinkům ionizujícího záření sledovány dodnes.

Havárie zanechala hlubokou stopu v pohledu na využívání jaderné energetiky a na dlouhá léta zanechala v lidských myslích nedůvěru spojenou s využíváním jaderné energie. Nedůvěra se také významně dotkla způsobu předávání informací. Míra a otevřenost informací o havárii v době, kdy k ní došlo, byla bohužel poplatná tehdejší době a obyvatelstvo se správné informace včas nedozvědělo. Důvěra v předávání pravdivých informací o takovýchto událostech byla narušena i do budoucna a např. ještě v roce 2011, kdy došlo k havárii v elektrárně ve Fukušimě, mnoho lidí zveřejňovaným oficiálním informacím nevěřilo.

Přitom řada oborů lidské činnosti úspěšně využívá potenciálu „jádra“ a zdrojů ionizujícího záření (dále jen „ZIZ“) naprosto běžně, v některých případech si již vůbec nedovedeme představit použití jiných prostředků – vedle energetiky je to např. využití diagnostických či terapeutických prostředků ve zdravotnictví (RTG zlomenin), široké je též využití ZIZ v průmyslu (hladinoměry, hustoměry), geologii, stavebnictví (diagnostika mostních konstrukcí, testování asfaltových směsí), atp.

Důkazem o mimořádnosti této havárie je i neustálý zájem široké veřejnosti a soustavná pozornost věnovaná sledování a sanaci následků ze strany ostatních států a mezinárodních institucí.

Tento článek si bere za cíl připomenout černobylskou havárii, včetně událostí které k ní vedly a zároveň informovat o opatřeních, která byla provedena v průběhu let na zasažených územích a změnách, které ovlivnili život v těchto oblastech.

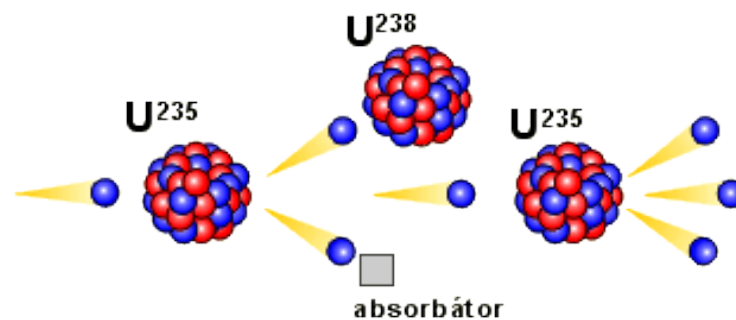
Historie nám ukazuje, že každé neštěstí či krize s sebou přináší i obrovský impuls, který lidstvo posouvá dál. A stejně tomu je i v případě celého jaderného odvětví. Za uplynulých 35 let nezůstala jediná oblast, která by nebyla podrobně revidována s ohledem na skutečnosti zjištěné při pátráních po příčinách této havárie. Výsledkem této usilovné práce je, že k 15. 4. 2021 máme ve světě stále v provozu 444 jaderných reaktorů a dalších 53 reaktorů je ve výstavbě napříč všemi kontinenty s výjimkou Afriky a Antarktidy [1].



Obr. 1 Poloha jaderné elektrárny Černobyl

Základní údaje o černobylské elektrárně

Černobylská elektrárna leží přibližně 130 km severně od hlavního města Ukrajiny Kyjeva a sestávala ze čtyř reaktorů RBMK, zkratka ruského *reaktor bolšoj moščnosti kanalnyj* (česky kanálový reaktor velkého výkonu). Reaktor čtvrtého havarovaného bloku (RBMK-1000) s nominálním výkonem 1000 MW_e (3200 MW_t) byl moderován grafitem a chlazen vodou, která procházela tlakovými kanály (1661 ks) s palivem a absorpčními tyčemi (211 ks) sloužícími k regulaci výkonu a havarijnímu odstavení reaktoru. Palivo UO₂ bylo obohaceno 2 % izotopu ²³⁵U. Aktivní zóna měla výšku 7 m a průměr 12,2 m. Podstatným nepříznivým rysem tohoto reaktoru z hlediska jaderné bezpečnosti je kladný dutinový teplotní koeficient reaktivity, což znamená, že s rostoucím množstvím páry v aktivní zóně se zvyšuje násobící schopnost neutronů v reaktoru, tedy množství neutronů v aktivní zóně, a tím se zvyšuje i počet štěpených jader atomů uranu, tím pádem dochází k nárůstu výkonu a opět se zvyšuje teplota a množství páry. Chybějící samoregulační vlastnost a kladná reaktivita vznikající v aktivní zóně musí být kompenzována velkým počtem regulačních tyčí v systému regulace výkonu. [2]



Obr. 2 Schématické znázornění štěpné reakce [3]

2. Havárie na jaderné elektrárně Černobyl – zkouška, která změnila lidstvo

Dne 25. dubna 1986 bylo zahájeno odstavení 4. bloku na plánovanou opravu. Než byl reaktor odstaven, měla být vyzkoušena funkce nového regulátoru magnetického pole rotoru. Cílem této zkoušky bylo ověření, zda bude turbogenerátor po rychlém uzavření přívodu páry do turbíny schopen při svém setrvačném doběhu ještě zhruba 40 vteřin napájet čerpadla havarijního chlazení aktivní zóny reaktoru.

Jak zkouška skutečně proběhla?

Samotná zkouška začala snižováním výkonu reaktoru již 25. dubna v noci. Když byl výkon snížen na polovinu (v 13:05), byl odstaven první turbogenerátor. Krátce poté byl odpojen systém havarijního chlazení. Další snižování výkonu bylo pozastaveno (po celou dobu byl systém havarijního chlazení odpojen) a následně ve zkoušce pokračovala nová směna, která na ni však nebyla připravena. Od 23:10 pokračovalo další snižování výkonu a kvůli chybě operátora poklesl výkon tak prudce, že prakticky došlo k zastavení štěpné reakce (30 MW_t). Při takto nízkém výkonu roste koncentrace Xe-135, který má velkou schopnost absorbovat neutrony a nastává tzv. „xenonová otrava reaktoru“. V této chvíli měli operátoři experiment ukončit a reaktor odstavit, protože jej dostali do značně nestabilního stavu. Přesto se rozhodli ve zkoušce dále pokračovat.

Operátorům se nedařilo udržet správné hodnoty tlaku a obsahu páry v reaktoru. Za normálních okolností by zapůsobil systém havarijní ochrany, ale operátor předchozí směny ji zablokoval, aby nedošlo k odstavení reaktoru. Další příležitostí k odstavení reaktoru bylo zjištění, že počet regulačních tyčí v aktivní zóně odpovídá jen necelé polovině povolené hodnoty. Přesto operátoři ve zkoušce pokračovali. K 6 pracujícím hlavním cirkulačním čerpadlům operátor připojil také obě záložní, čímž mělo být zajištěno dostatečné chlazení reaktoru i po skončení experimentu (4 hlavní cirkulační čerpadla měla při zkoušce sloužit jako zátěž dobíhajícího turbogenerátoru). Zvýšený průtok chladiva měl však za následek snížení obsahu páry v chladivu aktivní zóny, a tím další pokles reaktivity, na který systém reagoval dalším vytahováním regulačních tyčí. Výkon reaktoru se stabilizoval na výkonu 200 MW_t. Počet regulačních tyčí se však snížil na hodnotu v rozporu s předpisy (místo požadovaných 30 tyčí bylo v aktivní zóně jen 6–8 tyčí). I velmi malá změna teploty nebo tlaku chladiva vyvolává velké změny v obsahu páry, a tím i velké změny výkonu.

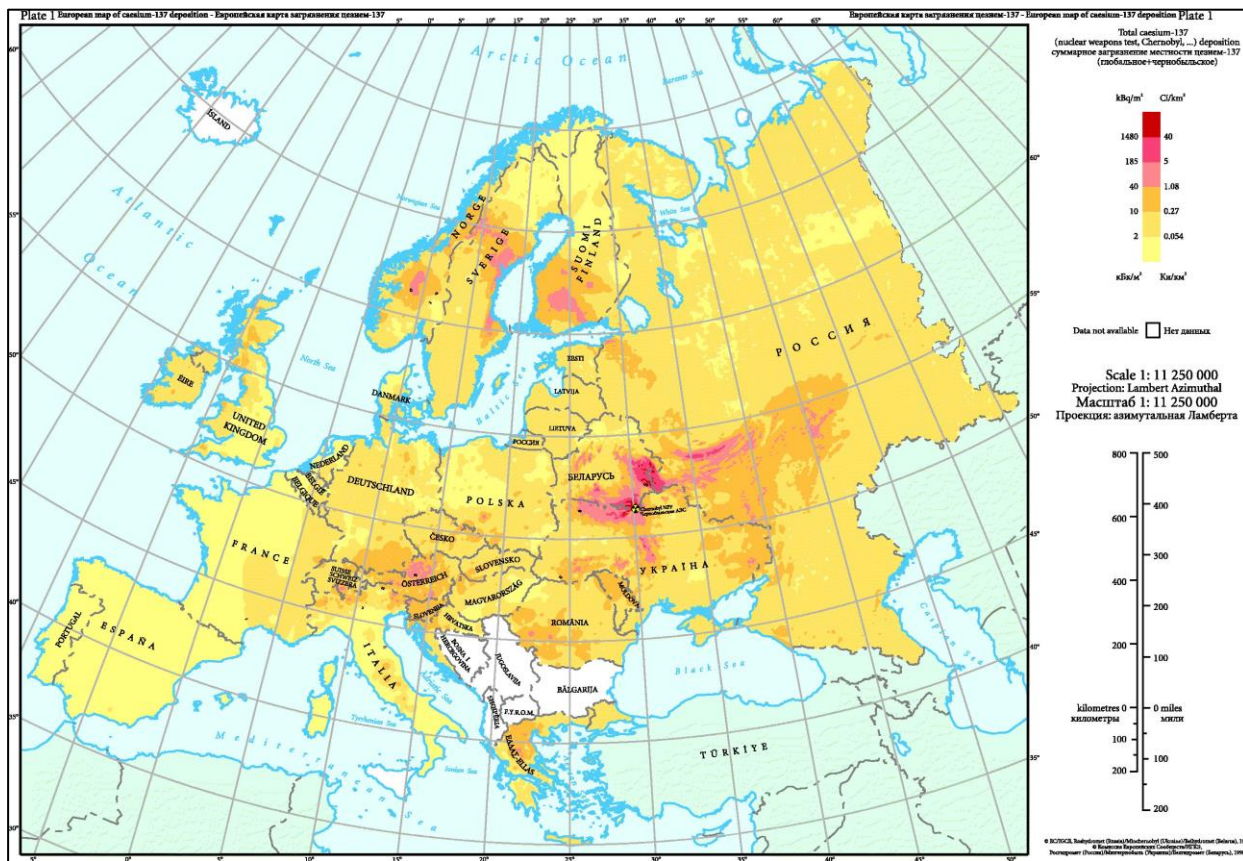
V 1:23 operátoři zablokovali havarijní signál, který by po uzavření přívodu páry na turbínu automaticky odstavil reaktor. Operátoři tímto opatřením chtěli, v rozporu s plánem zkoušky, zajistit podmínky pro budoucí opakování.

Samotná zkouška začala uzavřením ventilu turbogenerátoru. Snížení výkonu 4 hlavních čerpadel od dobíhajícího turbogenerátoru vedlo ke snížení průtoku chladicí vody reaktorem a tím rostla její teplota i tlak. To mělo za následek zvýšený výkon páry a tím i reaktivity a výkonu reaktoru. Systém regulace výkonu bránil nárůstu výkonu zasunutím regulačních tyčí, ale růst výkonu pokračoval dál nekontrolovatelně. Pokles průtoku chladiva a vzrůst množství páry vedl k přehřátí paliva a destrukci jeho pokrytí.

V 1:23:40 dali operátoři signál k havarijnímu odstavení reaktoru zasunutím regulačních tyčí. Regulační tyče však byly skoro všechny vytaženy a jejich účinek byl proto příliš pomalý. Grafitové hroty regulačních tyčí navíc paradoxně podpořily nárůst výkonu reaktoru. V 1:24 došlo ke dvěma výbuchům. Při reakci horkého paliva a vody došlo k výbuchu páry. Tento výbuch odhodil a posunul horní betonovou desku reaktoru (o váze 1000 t). Ke druhé explozi došlo o 2 až 3 vteřiny později. Nebylo objasněno, jestli exploze byla způsobena reakcí vodíku se vzduchem, nebo zda šlo o důsledek druhé výkonové exkurze. Část aktivní zóny reaktoru byla rozmetána (včetně paliva a hořícího grafitu), střešní část budovy reaktoru byla zničena a následovalo propuknutí požáru na střeše turbínové haly a v prostorách reaktorové haly.

Ve 02:20 byl požár lokalizován, o 3 hodiny později se zdál uhašen. [2]. Bohužel po několika hodinách znovu vzplanul grafitový moderátor, přes veškeré úsilí se jej hasit nedařilo a požár v podstatě samovolně dohasl až 14. května.

Oblak z hořícího reaktoru rozptýlil nad velkou částí Evropy četné množství radioaktivních materiálů, zejména radionuklidy jódu a cesia. Radioaktivní I-131, který nejvíce zasahuje štítnou žlázu, má krátký poločas rozpadu (cca 8 dnů) a z větší části se rozpadl během několika týdnů po havárii. Radioaktivní Cs-137, má mnohem delší poločas rozpadu (cca 30 let) a v mnoha částech Evropy je stále měřitelné v půdě a některých potravinách. K největším kontaminaci došlo v rozsáhlých oblastech Sovětského svazu kolem elektrárny, kde se nyní nachází území Běloruska, Ruska a Ukrajiny, viz obr. 3. [6]



Obr. 3 Kontaminace Cs-137 na území Evropy (1998) [5]

Tabulka 1 srovnání havárií v jaderných elektrárnách Černobyl a Fukušima

| | Černobyl (1986) | Fukušima (2011) |
|--|---|---|
| Příčina havárie | Hrubé chyby obsluhy | Živelní pohroma |
| Poškození reaktorové nádoby | Totální | Roztavené palivo v reaktorech 1, 2, 3 |
| Bezprostřední úmrtí na ozáření | 29*) | 0 |
| Únik radioaktivních látek do okolí (Bq) | I-131 ~ cca 10^{18} Cs-137 ~ cca 10^{17} | I-131 ~ cca 10^{17} Cs-137 ~ cca 10^{16} |
| Kategorie INES | INES 7 **) | INES 7 |

*) NEA, OECD (2002). Chernobyl: Assessment of Radiological and Health Impacts. Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development

***) Obě havárie jsou zařazeny do kategorie INES 7, avšak odhad celkového úniku z Fukušimy dosahoval cca 1/4 úniku z JE Černobyl.

[Simulace šíření radioaktivních látek v ovzduší nad územím Evropy.](#)

3. Opatření přijatá po havárii v Černobylu

V letech 1986 – 1987 bylo do likvidace následků havárie zapojeno odhadem 200 000 zasahujících pracovníků z armády, zaměstnanců elektrárny, místní policie, hasičů a dobrovolníků. Počet registrovaných „likvidačních“ pracovníků v průběhu vystoupal na 600 000, nicméně pouze malý zlomek těchto lidí byl vystaven nebezpečným úrovním radiace. Největší dávky obdržely likvidační týmy a personál elektrárny, celkem asi 1 000 lidí, během prvního dne po havárii.

V oblastech Běloruska, Ruska a Ukrajiny, které byly po havárii kontaminovány radionuklidem Cs-137 na úrovni větší než 37 kBq.m^{-2} , žije asi pět miliónů lidí. Z nich asi 400 000 lidí žilo ve více kontaminovaných oblastech - klasifikovaných sovětskými úřady jako oblasti se zpřísněnou kontrolou (Cs-137 více než 555 kBq.m^{-2}). Z tohoto počtu obyvatel bylo na jaře a v létě 1986 evakuováno 116 000 lidí z oblasti kolem černobylské jaderné elektrárny (označené jako „uzavřená zóna“) do nekontaminovaných oblastí.

Spolehlivé informace o havárii a následné radioaktivní kontaminaci byly zpočátku nedostupné havárií postiženým obyvatelům bývalého Sovětského svazu a ještě asi dva roky po havárii bylo obyvatelstvo informováno nedostatečně. Toto selhání a zpoždění vedlo k obecně rozšířené nedůvěře k oficiálním informacím a chybnému přičítání mnoha zdravotních problémů vlivu radiace. [6]

Masivní radioaktivní kontaminace donutila během roku 1986 k evakuaci více než 100 000 lidí z postiženého regionu a po roce 1986 k přesídlení dalších 200 000 obyvatel z Běloruska, Ruska a Ukrajiny. Přibližně 5 milionů obyvatel zůstává dále v kontaminovaných oblastech a potýkají se se zdravotními, sociálními, ekonomickými a environmentálními následky.

Vlády tří postižených států (Ukrajina, Bělorusko, Rusko) s podporou mezinárodních organizací vynaložily vysoké náklady na dekontaminaci, poskytování lékařských služeb a obnovu sociálního a ekonomického stavu regionu. Roky 2006 – 2016 byly dle prohlášení Generálního shromáždění OSN dekádou obnovy a udržitelného rozvoje postižených regionů. Rezoluce shromáždění uvítala přípravu Akčního plánu OSN pro obnovu Černobylu, na jejíž přípravě a implementaci se podílela Mezinárodní agentura pro atomovou energii. [13]

4. Opatření na území ČR

V době černobylské havárie byl v Československu státní dozor nad radiační ochranou v kompetenci českého i slovenského ministerstva zdravotnictví a byl realizován činností obou hlavních hygieniků a krajských hygieniků. Příslušní odborníci působili jednak v Centru hygieny záření v Praze, na Slovensku ve Výzkumném ústavu preventivního lékařstva v Bratislavě a dále pak na již zmiňovaných krajských hygienických stanicích a v Ústavu hygieny práce v uranovém průmyslu. V únoru 1986 byla schválena směrnice o zásadách monitorování při radiační havárii jaderné elektrárny, která mohla posloužit jako vodítko a systém mohl být uveden v činnost.

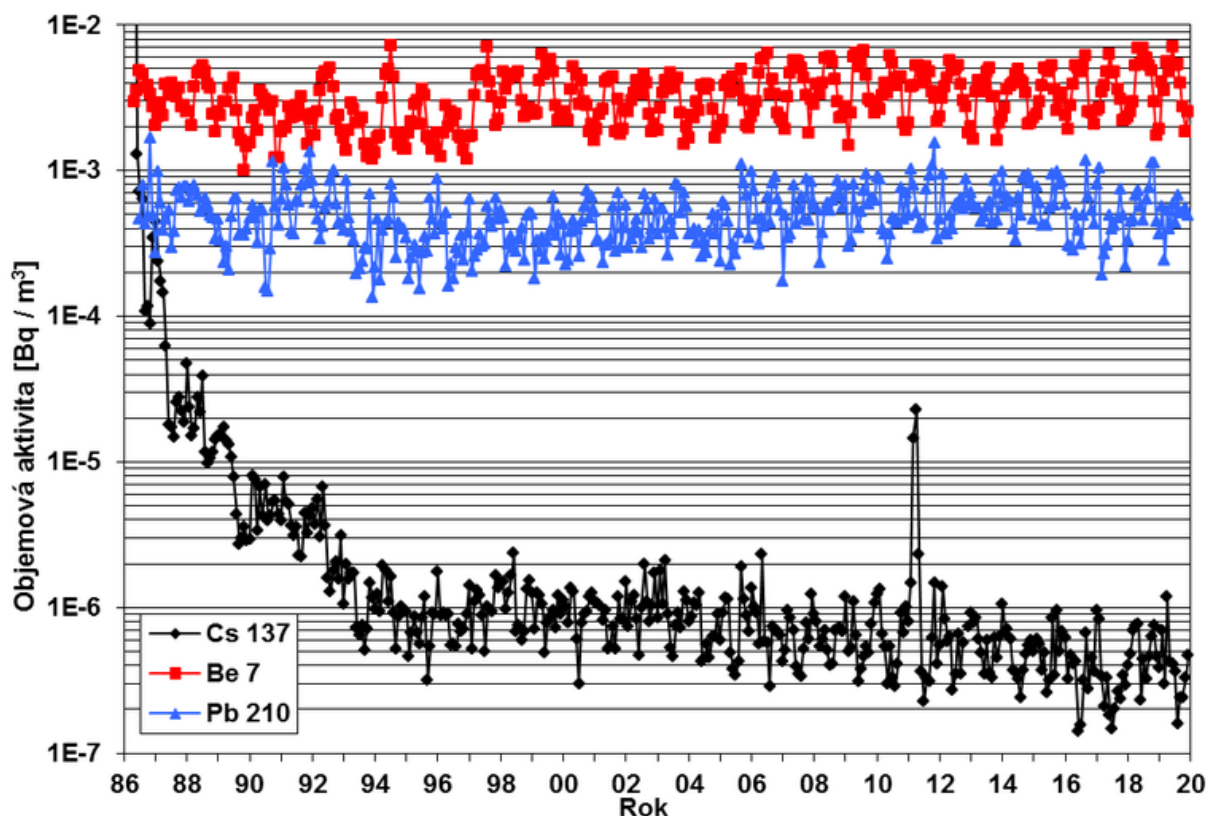
4.1 Monitorování na území Československa

V Československu byly zachyceny první známky kontaminace v noci z 29. na 30. dubna 1986 v rámci prováděných kontrolních měření na jaderných elektrárnách. Ráno pak započalo měření i na krajských hygienických stanicích a v Centru hygieny záření.

Nejvýznamnější kontaminanty byly I-131, Cs-137 a Cs-134. Na dávkách v počátku období se podílel především I-131, ale jeho význam klesal vzhledem k jeho krátkému poločasu rozpadu (8 dnů). Kontaminace Cs-134 byla asi o polovinu nižší než Cs-137 a později jeho podíl též klesal. Celkem bylo na našem území identifikováno 27 radionuklidů.

Na základě měření aktivity radionuklidů v ovzduší, ve spadu (na 10 místech) a měření dávkových příkonů (na 6 místech v ČR) byly provedeny konzervativní odhady dávek obyvatelstvu a predikce jejich časového vývoje. Odhadované dávky ležely hluboko pod hodnotami, pro něž byla doporučována ochranná opatření. Dávkové příkony vzrostly z obvyklých průměrných hodnot kolem 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ na 0,3 $\mu\text{Sv/h}$ s místními hodnotami od 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ do 0,6 $\mu\text{Sv/h}$. Od konce června 1986 pak už není pozorovatelné zvýšení oproti stavu před havárií a černobylský příspěvek k zevnímu ozáření musí být stanovován přepočty na základě kontaminace půdy.

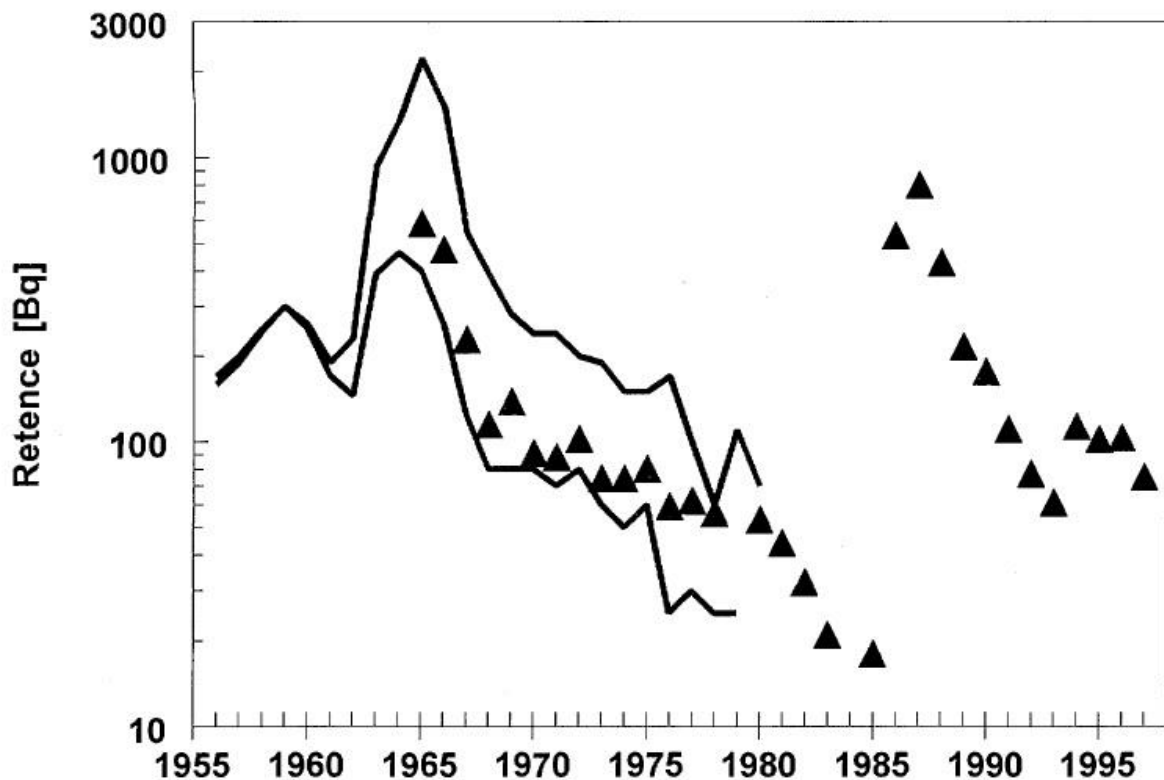
Kontaminace vzduchu byla nejvyšší 30. dubna 1986. Z obvyklých milióntin Bq/m^3 stouply hodnoty objemových aktivit umělých radionuklidů na desítky a místy i stovky Bq/m^3 . [2]



Obr. 4 Měření aerosolů na území ČR od roku 1986 do konce roku 2020. V roce 2011 lze pozorovat výkyv způsobený havárií v jaderné elektrárně Fukušima, jeho vliv je z dlouhodobého hlediska zanedbatelný [7].

Pro úplnost uvádíme výsledky monitorování retence Cs-137 u českého obyvatele získané před rokem 1986, kdy byl příjem Cs-137 ovlivněn zkouškami jaderných zbraní. Tyto zkoušky byly částečně zakázány v roce 1963 podpisem Smlouvy o částečném zákazu zkoušek (Partial Test Ban Treaty - PTBT), kterou následovala v roce 1968 Smlouva o nešíření jaderných zbraní (Non-proliferation of Nuclear Weapons Treaty - NPT), která zakazovala tzv. nejaderným státům vlastnit, vyrábět nebo získávat jaderné zbraně nebo jiné jaderné explozivní prostředky. Podrobnější informace naleznete na webu [Základní informace a aktivity ČR ve vztahu k CTBTO](#).

Časový průběh retence ^{137}Cs u českého obyvatelstva

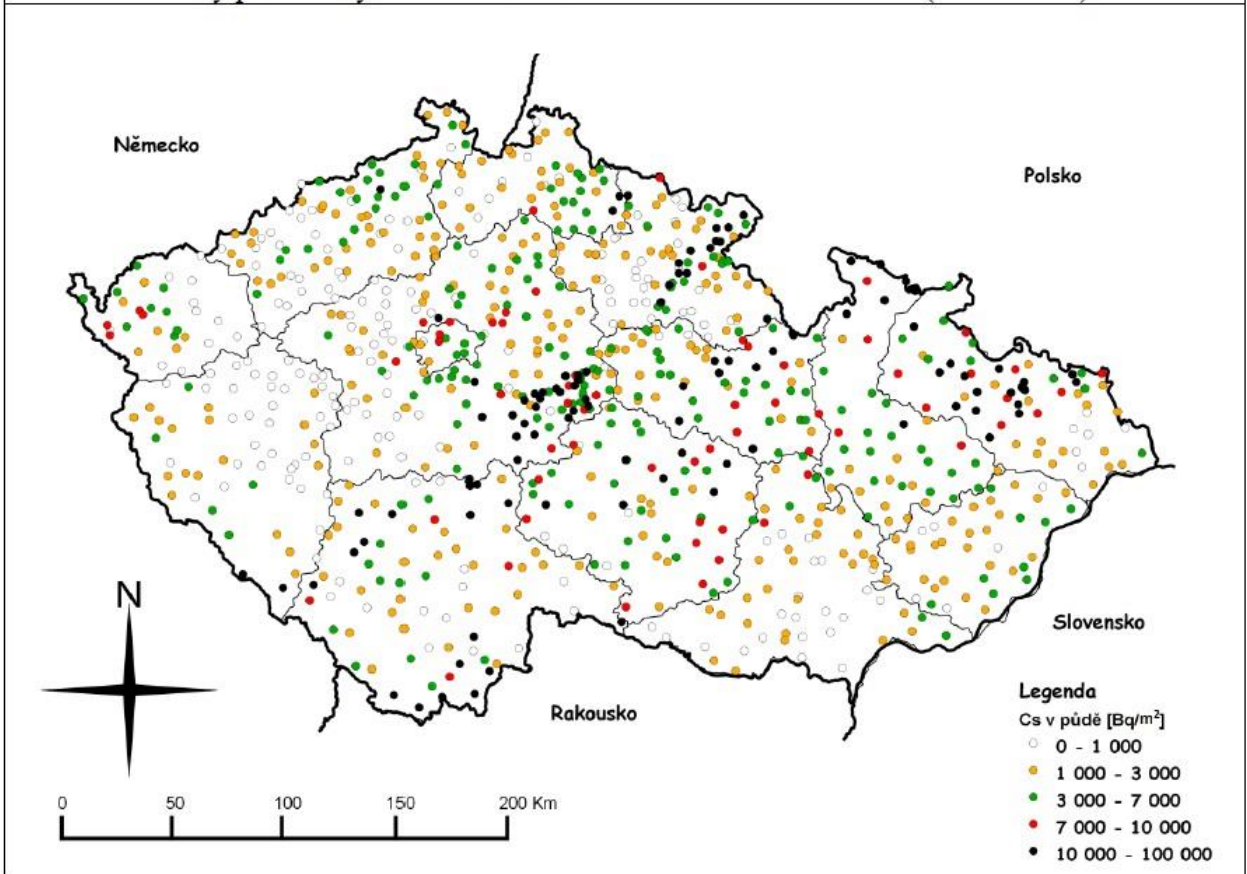


Obr. 5 Retence Cs-137 u českého obyvatele před rokem 1986.

Od 1. 5. 1986 bylo organizováno rozsáhlé monitorování celého území ČR (Výsledky monitorování na území Slovenské republiky nejsou do přehledu zahrnuty). Jednalo se o velmi náročnou logistickou akci, neboť monitorovací síť byla poměrně hustá a bylo odebráno téměř 1172 vzorků z 909 lokalit, přičemž z některých lokalit byly vzorky odebírány opakovaně. Ve dnech 16. – 18. 6. 1986 byl proveden velký celostátní průzkum, při kterém byly vzorky odebírány z nezastíněných míst (mimo budovy, keře, stromy, atd.) bez travnatého porostu se sklonem menším než 3° s půdou málo propustnou pro vodu. Plocha odběru byla z plochy 0,09 m² do hloubky 3 cm. Aktivita vzorku byla stanovena pomocí polovodičové spektrometrie gama na HPGe a Ge(Li) detektorech.



Plošné kontaminace ČR ^{137}Cs v důsledku havárie JE Černobyl
 Odběry provedeny v období od 1.5. 1986 - bodové zobrazení (909 hodnot)



Obr. 6 Zobrazení výsledků monitorování plošné kontaminace na území ČR provedené v rámci monitorování po 1. 5. 1986 v 909 lokalitách [10]

Tabulka 2 Monitorování na území ČR po havárii v jaderné elektrárně Černobyl. Celkem proběhlo monitorování v 909 lokalitách (v některých lokalitách byly vzorky odebírány opakovaně) [10]

| Data za období v roce 1986 | Data včetně stejných lokalit |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1. 5. – 4.5. včetně | 40 |
| 1.5. – 5.5. včetně | 76 |
| 1.5. – 9.5. včetně | 117 |
| 1.5. – 15.6. včetně | 279 |
| 1.5. – 18.6 včetně | 1157 |
| 19. 6. – 24.9. včetně | 15 |
| Celkem od 1. 5. 1986 | 1172 |

4.2 Kontrola potravin

Od 1. května bylo zavedeno také měření obsahu radionuklidů v mléce, později i v pitné vodě a dalších potravinách a též v krmivu.

Ke kontaminaci na našem území došlo na začátku vegetačního období, kdy byla vzrostlá (a to částečně) pouze tráva a některá listová zelenina (salát, špenát, atd.). V období na přelomu dubna a května se při krmení hospodářských zvířat teprve přecházelo na zelené krmivo. Pro základní představu: hmotnostní aktivity významných radionuklidů se u trávy pohybovaly v rozmezí stovek až tisíců Bq/kg, ale díky hmotnostnímu přírůstku (a rozpadu např. I-131) poměrně rychle klesaly. Hlavní pozornost byla proto soustředěna na sledování obsahu radionuklidů v mléce a mléčných produktech, protože tyto produkty byly nejvýznamnějším zdrojem příjmu I-131, Cs-137 a Cs-134 potravinovým řetězcem.

Pozornost byla zaměřena na 25 vybraných mlékáren geograficky rovnoměrně rozložených po území Československa. Produkce těchto mlékáren pokrývala 30% veškeré přímé spotřeby mléka. Mimo to bylo v květnu, červnu a prosinci 1986 provedeno několik celostátních průzkumů, které zahrnovaly všechny mlékárenské závody ve státě.

Aktivita I-131 v mléce z mlékáren po 15. 5. 1986 již na žádném místě nepřesáhla zásahovou úroveň 1000 Bq/l a mléko ze zvolených mlékáren bylo dostatečně reprezentativní pro celý stát. Obsah Cs-137 ve vzorcích mléka z vybraných 25 mlékáren je sledován až do současné doby.

Speciální pozornost byla věnována dětské mléčné výživě (DMV) zajišťované podnikem Průmysl mléčné výživy (PMV) Hradec Králové v závodech Opočno a Zábřeh na Moravě. Z oblastí, ze kterých se sváželo mléko do těchto závodů, byly proměřeny objemové aktivity mléka z jednotlivých kravinů, svozové linky, kontrolovány směsné vzorky z každého dne výroby vždy, a to dvakrát – jednak ihned po ukončení výroby, jednak po zabalení ještě před expedicí výrobků. Distribuce DMV vyrobené po 29. 4. 1986 v závodech PMV Opočno a Zábřeh byla pozastavena a podmíněna souhlasem hlavního hygienika. Již tímto zpožděním v distribuci byl prakticky eliminován z DMV krátkodobý I-131 a obsah radioizotopů cesia byl omezen na (v té době) asi nejnižší reálné dosažitelnou úroveň.

Dalším opatřením bylo zavedení výroby DMV v závodě PMV Nový Bydžov (oblast méně zasažená radioaktivním spadem). Výroba DMV v Novém Bydžově byla zahájena 8. června, zajistila pokrytí výpadků výroby (neuvolněné hlavním hygienikem do distribuce) z ostatních závodů PMV. V průběhu první poloviny června byla provedena kontrola obsahu radioizotopů cesia v mléce používaném pro výrobu DMV v cca 350 mléčných farmách a na základě výsledků těchto měření redukovány oblasti svozu mléka pro výrobu DMV a vyřazeny byly mléčné farmy se zvýšeným obsahem radionuklidů v mléce. Toto opatření se projevilo prakticky okamžitě výrazným snížením obsahu radioizotopů cesia v DMV (3 až 6 krát v porovnání s výrobou z května). Opatření na snížení měrné aktivity DMV zůstala v platnosti prakticky do konce roku 1987. Sledování obsahu Cs-137 v DMV trvá v redukováném rozsahu (týdenní směsné vzorky) dosud.

Z dalších potravin byly sledovány ty, které jsou z hlediska spotřeby obyvatelstvem nejvýznamnější, tj. kromě mléka zejména maso, dále obilniny, zelenina, ovoce. Časový průběh průměrných hmotnostních aktivit Cs-137 v hovězím a vepřovém mase a objemových aktivit v mléce a DMV v letech 1986 – 1988 ukázal očekávaný nárůst aktivity v druhém roce po nehodě v důsledku použití krmiv kontaminovaných v roce 1986 (seno atd.). Hmotnostní aktivity I-131 u listové zeleniny (salát, špenát, přezimující pórek, apod.), případně u jarních sušených léčivých rostlin se

v prvních dnech pohybovaly v řádu až tisíců Bq/kg. V ovoci a kořenové zelenině se díky poločasů a vegetačnímu období kontaminace I-131 projevila minimálně. Kontaminace ovoce a zeleniny cesiem v roce 1986 se pohybovala v rozpětí jednotek až desítek Bq/kg (výjimečně stovek u rybízu), kontaminace obilnin ve sklizni 1986 v rozmezí jednotek až desítek Bq/kg.

4.3 Přehled opatření zavedených na území ČR po černobylské havárii

Vzhledem k měřeným aktivitám a dávkám, které podle našich i mezinárodních předpisů nevyžadovaly zavádění ochranných opatření, byla zavedena pouze taková opatření, která nezasahovala do života lidí a vyžadovala minimální finanční náklady:

- 1) Pokud to bylo realizovatelné, bylo doporučeno ponechat dojnice ve stájích na suchém krmení
- 2) Z konzumace bylo vyloučeno mléko s aktivitou I-131 vyšší než 1 000 Bq/l (Doporučení WHO – vyřadit mléko s aktivitou větší než 2 000 Bq/l)
- 3) Do spotřeby byly uvolněny zásoby sušeného a kondenzovaného mléka
- 4) Výroba dětské mléčné výživy byla dočasně přesunuta ze závodů Opočno a Zábřeh do provozovny Nový Bydžov
- 5) Bylo doporučeno zvýšené kropení silnic ve městech
- 6) Byla přechodně zastavena výroba léků z čerstvých hovězích štítných žláz
- 7) Jódová profylaxe byla zavedena na Slovensku u bačů z důvodu vysokých aktivit I-131 v ovčím mléce (opatření se týkala celého území tehdejší ČSSR, proto zde zmiňujeme i to, které se týkalo pouze Slovenska) [8]

5 Opatření zaměřená na jaderné elektrárny

Černobylská havárie nás naučila mnohé, jedny z hlavních poznatků se týkají bezpečnosti reaktorů, a to zejména ve východní Evropě. Na druhé straně, nehoda americké jaderné elektrárny Three Mile Island (dále jen „TMI“) v roce 1979 měla významný dopad na konstrukci a provozní postupy západních reaktorů. V případě TMI byl reaktor zničen, i přesto většina radioaktivity zůstala uvnitř kontejnmentu a nedošlo k masivnímu úniku mimo kontejnment (tak, jak bylo navrženo) a nedošlo k žádným úmrtím ani zraněním. Některé získané zkušenosti byly použitelné i pro nesovětské typy reaktorů a jejich bezpečnost se výrazně zlepšila. Důvodem je do značné míry rozvoj kultury bezpečnosti podporovaný zvýšenou spoluprací mezi východem a západem a významné investice do zdokonalování reaktorů.

Ve všech fungujících reaktorech typu RBMK byly provedeny dodatečné úpravy k odstranění jejich nedostatků zjištěných při zkoumání příčin havárie jaderné elektrárny Černobyl. Byly provedeny změny v konstrukci regulačních tyčí, byly přidány neutronové absorbéry a následně bylo zvýšeno obohacení paliva ze 1,8 % na 2,4 % U-235, což nyní činí reaktory RBMK mnohem stabilnějšími při nízkém výkonu. Mechanismy pro automatické odstavení nyní fungují rychleji a byly vylepšeny i další bezpečnostní mechanismy.

Po černobylské havárii bylo zahájeno mnoho dalších mezinárodních programů. Pozornost si zaslouží např. projekty kontroly bezpečnosti pořádané Mezinárodní agenturou pro atomovou energii pro každý typ sovětského reaktoru. Tyto iniciativy jsou podpořeny také finančně, kdy na podobné projekty byla vynaložena pomoc západních zemí v celkové výši téměř 1 miliardy dolarů na více než 700 projektů souvisejících s bezpečností v zemích bývalého východního bloku.

Dalším výsledkem je [Úmluva o jaderné bezpečnosti](#) přijatá ve Vídni v roce 1994, která má za cíl celosvětově dosáhnout a udržet vysokou úroveň jaderné bezpečnosti, mj. zavedením a udržováním účinné ochrany v jaderných zařízeních proti potenciálnímu radiačnímu riziku a zabráněním vzniku havárií s radiologickými důsledky nebo jejich omezením, pokud vzniknou. Stranami úmluvy jsou všechny země EU.

Zpráva Fóra Černobyl uvádí, že v současné době dostává nebo má nárok na dávky jako „oběti Černobyli“ cca 7 milionů lidí, což znamená, že zdroje nejsou primárně zaměřeny na ty, kteří to nejvíce potřebují. Náprava tohoto stavu však představuje politické problémy [9].



Obr. 7 Jaderná elektrárna Dukovany [15]

6 Zdravotní dopady havárie v Černobylu

Zdravotní následky obyvatelstva lze rozdělit z hlediska účinků ionizujícího záření na deterministické účinky (nežádoucí tkáňové reakce) a na účinky stochastické.

Deterministické účinky se projevily celkem u 134 osob (účastníků záchranných operací). Byla jim diagnostikována a potvrzena akutní nemoc z ozáření, 29 jich zemřelo během prvních 4 měsíců a dalších 19 zemřelo do roku 2004 (u 5 osob lze předpokládat možnou souvislost s předchozím ozářením). Dávky, které tito jedinci obdrželi, se odhadem pohybovaly od 2 do 20 Gy. Skupina osob, které se podílely se na likvidaci havárie, a stále žijí je nadále pozorně sledována. [11]

S výjimkou personálu obsluhy bloku na elektrárně a havarijních pracovníků, kteří byli v blízkosti zničeného reaktoru při havárii a krátce po ní, byly celotělové radiační dávky většiny pracovníků provádějících nápravné operace a lidí žijících v kontaminovaných oblastech relativně nízké, srovnatelné s celoživotním ozářením z přírodního radiačního pozadí.

Dávky u pracovníků provádějících krátkodobě nápravné operace během čtyř let po havárii podle Státních registrů Běloruska, Ruska a Ukrajiny dosahovaly až 500 mSv, s průměrem kolem 100 mSv.

Dávky evakuovaných obyvatel černobylské oblasti dosahovaly v průměru 17 mSv, přičemž u jednotlivců se dávky pohybovaly od 0,1 do 380 mSv. Průměrná dávka u evakuovaných obyvatel příhraniční oblasti Běloruska byla 31 mSv s tím, že největší průměrná dávka ve dvou vesnicích byla kolem 300 mSv. [6]

Široká veřejnost byla po havárii vystavena ozáření jak z externích zdrojů (např. Cs-137 v půdě), tak přijímáním radionuklidů (opět hlavně Cs-137) v potravě, vodě a vzduchu - viz obr. 8 Průměrné efektivní dávky u obyvatel kontaminovaných oblastí nahromaděné v letech 1986 – 2005 se v různých oblastech odhadovaly v rozmezí 19 až 20 mSv. Někteří obyvatelé dostali až několik set mSv, zatímco jiní dostali nižší dávky. Je třeba poznamenat, že průměrné dávky u obyvatel teritorií kontaminovaných radioaktivním spadem z Černobylu jsou celkově nižší než dávky u lidí, kteří žijí v dobře známých oblastech s vysokým pozadím přirozené radiace v Indii, Íránu, Brazílii a Číně.

Někteří obyvatelé v těchto oblastech dostanou ročně více než 25 mSv z radioaktivních materiálů v půdě, na které žijí a jsou bez jakýchkoliv zjevných zdravotních následků.



Obr. 8 Cesty ozáření člověka od úniku radioaktivních materiálů z životního prostředí [6]

Roční efektivní dávky z radioaktivního spadu u velké většiny z asi pěti miliónů lidí žijících v kontaminovaných oblastech Běloruska, Ruska a Ukrajiny v současnosti činí méně než 1 mSv (doporučený dávkový limit pro širokou veřejnost). Avšak roční dávky u asi 100 000 obyvatel více kontaminovaných oblastí jsou stále ještě vyšší než 1 mSv. Ačkoliv se předpokládá, že snižování úrovně ozáření bude v budoucnu značně pomalé, tj. asi 3 až 5 % ročně, velká většina dávky pocházející od havárie již byla akumulována.

Významné dávky u těchto osob obdržela štítná žláza, což bylo následkem požívání potravy kontaminované radioaktivním jódem. Ozáření štítné žlázy se pohybovalo v širokém rozmezí v závislosti na věku, úrovni kontaminace půdy I-131 a množství konzumovaného mléka. Hlášené dávky ozáření štítné žlázy u jednotlivců se pohybovaly kolem 50 Gy, přičemž průměrné dávky v kontaminovaných oblastech byly kolem 0,03 až 0,3 Gy v závislosti na oblasti, kde lidé žili, a na jejich věku. Jednou z hlavních příčin vysokých dávek ozáření štítné žlázy u dětí byla konzumace mléka od krav, které se živily kontaminovanou trávou bezprostředně po havárii, což bylo zároveň důvodem, proč se u tolika dětí následně rozvinul karcinom štítné žlázy.

Dávky ozáření štítné žlázy u obyvatel města Pripjať situovaného v blízkosti černobylské elektrárny byly významně sníženy včasnou distribucí tablet stabilního jódu. [6]

V letech 1991-2005 bylo v Bělorusku, Rusku a na Ukrajině diagnostikováno 6 848 případů rakoviny štítné žlázy u těch, kteří v době havárie byli dětmi a adolescenty (0 – 18 let), včetně 5 127 ve věkové skupině 0 – 14 let. [12]

V Bělorusku dramaticky vzrostl výskyt rakoviny štítné žlázy mezi dětmi mladšími 10 let a následně poklesl, především pro ty, kteří se narodili po roce 1986. To naznačuje, že tento dramatický nárůst byl spojen s havárií. Nárůst výskytu rakoviny štítné žlázy u dětí a dospívajících se začal objevovat asi 5 let po nehodě a přetrvával až do roku 2005. Běžný výskyt rakoviny štítné žlázy u dětí mladších 10 let je přibližně 2 až 4 případy na milion ročně. [12]



Obr. 9 Měření štítné žlázy [6]

Z 1152 případů rakoviny štítné žlázy diagnostikovaných mezi dětmi v Bělorusku, které byly ošetřeny v letech 1986-2002, byl podíl těch, které přežily, 98,8 %. Osm pacientů (0,7 %) zemřelo vlivem progresu rakoviny štítné žlázy a 6 dětí (0,5 %) zemřelo z jiných příčin. Jeden pacient s rakovinou štítné žlázy zemřel v Rusku.

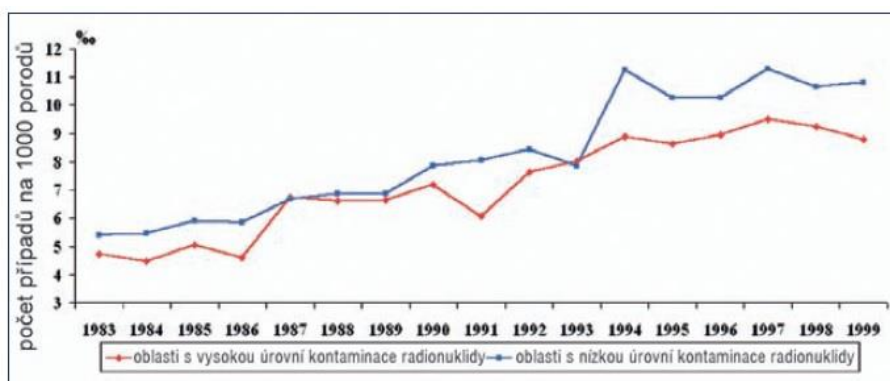
Vezmeme-li v úvahu značné riziko rakoviny štítné žlázy u dětí a adolescentů a vysoké dávky ozáření štítné žlázy, můžeme si být poměrně jisti, že většinu případů výskytu rakoviny štítné žlázy lze připsat ozáření. [6]

V případě leukémie došlo k dvojnásobnému nárůstu ve výskytu leukémie mezi roky 1986 a 1996 u ruských pracovníků, kteří se podíleli na likvidaci následků havárie a nápravných operacích (byli vystaveni více než 160 mGy). Ovšem u ostatního obyvatelstva Ruska a Ukrajiny, ať už dětí či dospělých, nebyl pozorován zvýšený výskyt leukémie.

V případě nádorových onemocnění a onemocnění kardiovaskulárního systému došlo u ruských pracovníků podílejících se na záchranných pracích k nárůstu. Ovšem u široké veřejnosti, s výjimkou rakoviny štítné žlázy, k takovému nárůstu zatím nedošlo. I nadále by se měl sledovat zdravotní stav, především záchranných pracovníků vystavených vysokým dávkám.

V souvislosti s ozářením po černobylské havárii se mohou rozvinout také oční zákaly. Údaje z výzkumů ukazují, že k očnímu zákalu mohou vést již dávky od 250 mGy.

Důsledkem ozáření může být také vliv na dědičnost či reprodukci. Ovšem vzhledem k relativně nízkým dávkám, které obdrželi obyvatelé postižených oblastí Černobylu, neexistuje důkaz ani pravděpodobnost pozorování snížené plodnosti u populace mužů i žen jako přímý důsledek ozáření. Nepravděpodobný je také vliv na počet mrtvých narozených dětí, nepříznivý konec těhotenství, porodní komplikace nebo celkový zdravotní stav dětí. Co se týká vrozených malformací, od roku 1986 je hlášen mírný, ale stálý nárůst jak v kontaminovaných tak nekontaminovaných oblastech Běloruska, viz obr. č. 10. Zdá se, že to nesouvisí s radiací, ale je spíše výsledkem pečlivějšího sledování.



Obr. 10 Rozšíření vrozených malformací ve 4 oblastech Běloruska s vysokou a nízkou hladinou kontaminace radionuklidů [6]

Počet úmrtí, které lze připsat na vrub černobylské havárii, byl ve středu zájmu široké veřejnosti, vědců, hromadných sdělovacích prostředků a politiků. Tvrdilo se, že desítky nebo dokonce stovky tisíc lidí zemřely v důsledku havárie. Tato tvrzení jsou přehnaná: celkový počet lidí, kteří mohli nebo mohou v budoucnosti zemřít v důsledku ozáření

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 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. [6]

7 Sociální a psychologické aspekty

Psychosociální důsledky černobylské havárie daleko převýšily všechny přímé účinky, tedy i účinky na zdravotní stav v užším slova smyslu. Psychosociálními důsledky byly postiženy desetitisíce až statisíce lidí a určité strádání může pokračovat v závažné míře po mnoho let. [11]

V exponovaných populacích se ve srovnání s kontrolními skupinami projevily příznaky stresu, zvýšené úrovně deprese, úzkosti (včetně symptomů posttraumatické stresové poruchy) a lékařsky nevysvětlitelné fyzické příznaky. Všechny tyto příznaky měly důležité důsledky pro chování jako je stravování, kouření, konzumace alkoholu a další faktory životního stylu a v zásadě nesouvisí s ozářením. Zřejmě nejsme schopni rozlišit, jestli příčinou těchto projevů jsou obavy z radiace, problémy s nedůvěrou vládě, nedostatečná komunikace, rozpad SSSR, ekonomické otázky, případně další faktory. Přesto je zřejmé, že významnou část účinků lze přičíst havárii v Černobylu, pokud ne přímo účinkům radiace. [12]

Z psychologického hlediska může být situace srovnávána s jiným méně dramatickým skutečným nebo předpokládaným chronickým poškozením zdraví z různorodých příčin souvisejících se zamořením životního prostředí. Z okolí úložišť toxických odpadů v jiných částech světa jsou hlášeny příznaky a klinické projevy zahrnující bolesti hlavy, nevolnost, demoralizaci, snížení kvality života a nedůvěru v úřady. Na bázi těchto zkušeností byla navržena nová diagnostická jednotka nazvaná "chronická porucha z environmentálního stresu". Základní charakteristiky této reakce tak, jak byla pozorována po černobylské havárii, je apatie, asthenie, snížený zájem a "získaný pocit bezmocnosti" [11]

8 Zvládání radiační mimořádné události

Havárie na jaderné elektrárně Černobyl zapříčinila zpomalení či pozastavení nových projektů, protože byl kladen vyšší důraz na dořešení otázek spojených s využíváním jaderné energie, jako je vznik vyhořelého jaderného paliva a možnost vzniku radiačních havárií velkého rozsahu včetně postupů pro jejich předcházení či následné zvládnutí.

Na základě této havárie byla přijata řada mezinárodních úmluv a doporučení zaměřená na provoz, technologii jaderných elektráren, ale i systémy k zvládnutí radiační mimořádné události (dále jen „RMU“), deterministické hodnocení RMU, vývoj nových modelů a výpočetních kódů, plánování ochranných opatření a postupů na likvidaci následků RMU.

Dalším významným důsledkem černobylské havárie byla ztráta důvěry v tyto zdroje u obyvatelstva. Podobnou krizi důvěry je možné vysledovat i při havárii jaderné elektrárny TMI, která téměř zastavila stavbu jaderných elektráren v USA téměř na 3 desetiletí. Nebo v případě havárie elektrárny Fukušima, kde několik zemí vyhlásilo nucený odklon od jádra (Německo) nebo stávající provozované elektrárny již nebudou nahrazovat novými (Švýcarsko).

Jakákoliv lidská činnost s sebou přináší rizika, která je důležité umět správně popsat, ocenit a řádně se připravit na řešení případných následků. V dnešní době je problematika zvládnutí chápána jako komplexní obor zahrnující např. technické prostředky pro zvládnutí RMU (ochranné obálky reaktorů, sirény pro varování), hodnocení dopadů (rozsáhlé monitorovací systémy ovzduší, půdy, potravin atd.) či organizační postupy (krizové řízení, havarijní cvičení).

Podrobnější informace k opatřením, která byla době havárie platná (vycházela z mezinárodních doporučení) a jaké byly důsledky na systémy pro zvládnutí RMU naleznete v článku [„Co přinesl Černobyl v oblasti havarijní připravenosti“](#).

Informace o [Monitorování radiační situace na území ČR](#) a jeho rozsah je dán [Národním programem monitorování](#).

Pro účely odezvy na radiační havárii je zpracován pro území ČR [Národní radiační havarijní plán](#).



Obr. 11 Schéma procesu optimalizace strategie radiační ochrany v přechodné fázi nehodové expoziční situace (NES)

9 Obnova území v Černobyli

Během posledních 20 let došlo v některých částech evakuovaných oblastí v roce 1986 k jejich znovuosídlení. Ve větší míře proběhlo nedávno částečné znovuosídlení v Bělorusku.

V roce 2010 běloruská vláda přišla se záměrem navrátit tisíce lidí do „kontaminovaných“ oblastí. Pro znovuosídlení bylo v porovnání s rokem 2005 reklasifikováno asi 211 vesnic s menšími omezeními. Tento záměr vyústil v nový národní program na období 2011 – 2020, jehož cílem je zmírnit dopad Černobyli a vrátit oblasti k běžnému životu s minimálními omezeními. Projekt se zaměřuje na rozvoj ekonomického a průmyslového potenciálu regionů Homel a Mohylev, ze kterých bylo přemístěno 137 000 lidí.

Hlavní prioritou je zemědělství a lesnictví, přilákat kvalifikované pracovníky a ubytovat je. Bude potřeba rozsáhle rekonstruovat místní infrastrukturu (bez použití místního dřeva), částky odhadované pro toto znovuosídlení se pohybují okolo 2,2 miliardy dolarů. V místech, kde budou zjištěny nízké koncentrace Cs-137 a Sr-90, bude prozkoumána možnost zemědělství, oblasti s vyššími koncentracemi budou zalesněny.

Ve 498 sídelních jednotkách, kde může průměrná efektivní dávka přesahovat 1 mSv za rok, mají být zavedena některá ochranná opatření. Naproti tomu v 1904 vesnicích, kde se průměrná roční efektivní dávka pohybuje mezi 0,1 – 1 mSv, je cílem umožnit jejich obnovení s minimálními omezeními, i když jsou zde dávky záření z cesia již nižší než hodnoty přírodního pozadí kdekoli na světě. [9]



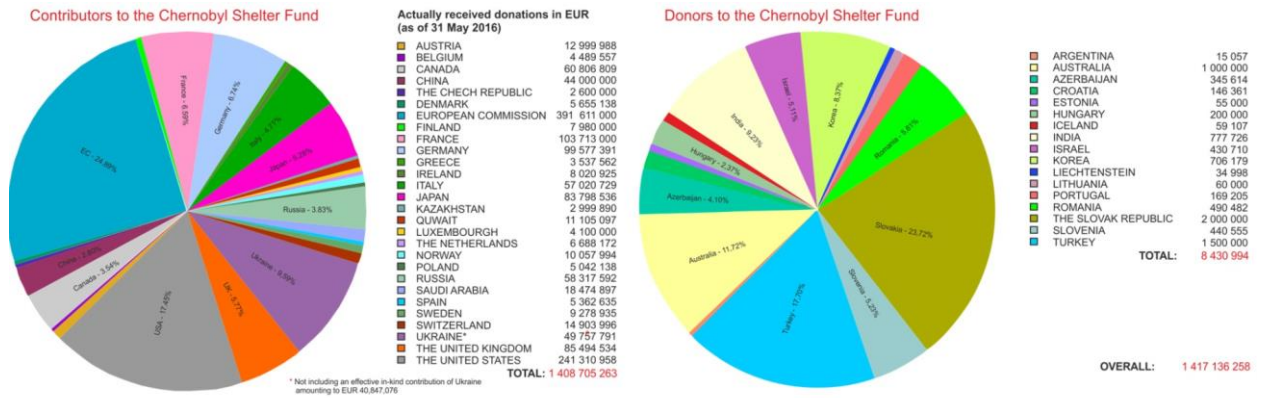
Obr. 12 Nový černobylský plášť ve výstavbě [9]

V prvních pěti letech po havárii bylo hlavním cílem snížit dávky záření, a to především dávky z požití a vdechnutí. Přístup se po rozpadu SSSR v roce 1991 u všech tří zemí (Ukrajina, Bělorusko a Rusko) lišil. Každá ze zemí vypracovala katalogy pro každou obnovovanou sídelní jednotku obsahující roční efektivní dávky jak z vnějšího, tak z vnitřního ozáření. Největší efekt ochranných opatření a nápravy bylo dosaženo v letech 1986 – 1992.

Od roku 1991 byl podíl živočišných produktů s koncentracemi radioaktivního cesia překračující akční úroveň z kontaminovaných oblastí menší než 10 %. Ovšem kvůli finančním omezením v polovině 90. let byla zemědělská opatření výrazně snížena a došlo tak k určitému zvýšení přenosu Cs-137. Nicméně v oblastech, kde je stále vysoký přenos cesia z půdy do vegetace, pokračuje obnova. [13]

10 Aktuální informace ke konci roku 2020

Po havárii byl 4. blok rychle (říjen 1986) uzavřen do obrovského betonového pláště. Tento plášť ovšem již nevyhovoval a bylo potřeba přijít s novým řešením. V roce 2007 byla proto podepsána dohoda pro konstrukci nového pláště mezi SSE Chornobyl NPP a mezinárodním společným podnikem NOVARKA (složeným ze dvou francouzských společností VINCI CONSTRUCTION Grands Projets a BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS). Stavba nového sarkofágu začala v roce 2012 a dokončena byla v roce 2017. Dne 24. 4. 2020 byl nový sarkofág předán do zkušebního provozu. Sarkofág byl postaven v blízkosti 4. bloku a teprve poté byl po kolejích přesunut o 327 m na své místo. Má tvar oblouku, který zakrývá jak 4. blok, tak starý betonový plášť. Je 110 m vysoký, 165 m dlouhý, klene se do šířky 260 m a váží 36 000 t. Oblouk je tvořen mřížovou konstrukcí z ocelových trubek a uvnitř je vybaven jeřáby. Tento nový sarkofág je tak největší pozemní stavbou, která byla kdy postavena. Podrobné informace o průběhu výstavby nového sarkofágů můžete nalézt v angličtině na webu [Project "New Safe Confinement Construction"](#).



Obr. 13 Podíl příspěvků a darů jednotlivých zemí na stavbu nového sarkofágu [4]

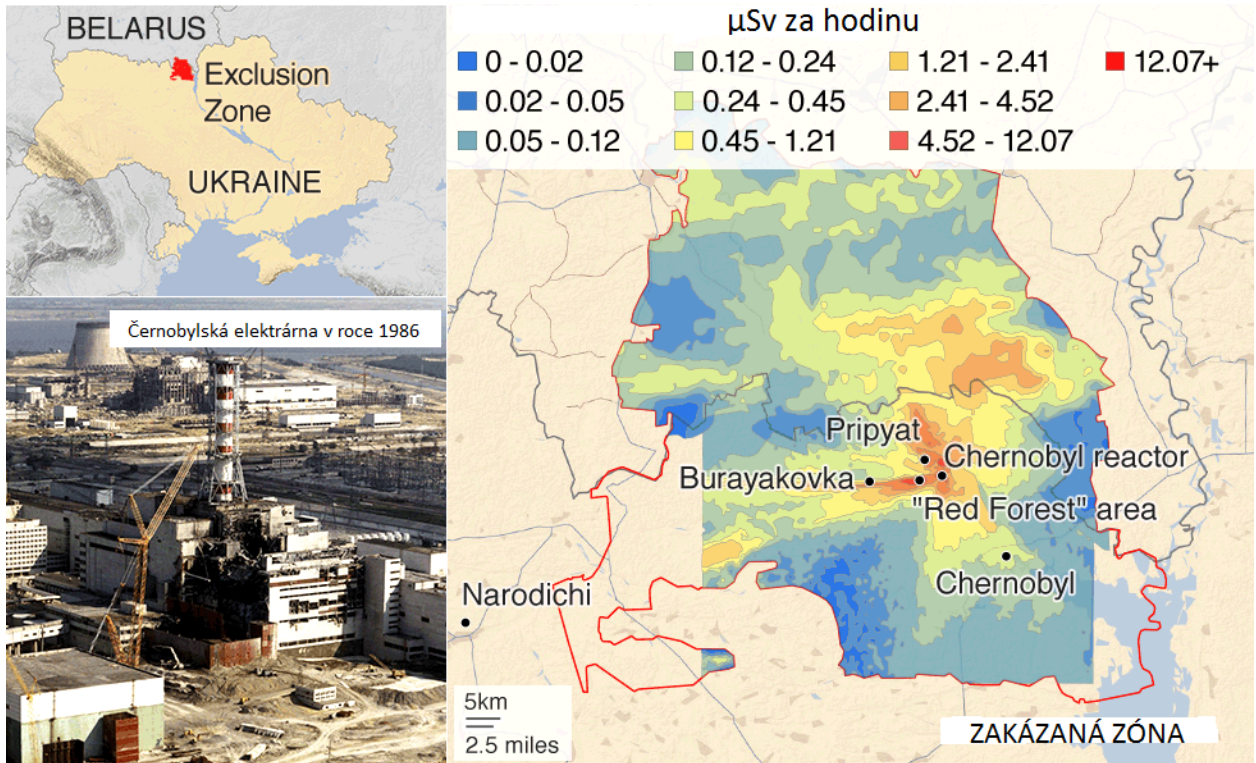
Tato hermeticky uzavřená budova umožní inženýrům na dálku (s využitím průmyslových robotů) demontovat betonový plášť z roku 1986 a umožní případné odstranění materiálů obsahujících palivo ve spodní části budovy reaktoru a připraví je k likvidaci. Tento úkol představuje nejdůležitější krok k eliminaci jaderného nebezpečí v lokalitě - a skutečný začátek demontáže. Během vrcholné výstavby nového sarkofágu bylo na místě asi 1 200 pracovníků.

Celková částka za výstavbu tohoto nového pláště se šplhá ke 2,15 miliardám EUR. [9]



Obr. 14 Nový sarkofág [14]

Aktuální hodnoty radiace v zakázané zóně Černobylu



Obr. 15 Hodnoty dávkových příkonů v zakázané zóně Černobylu [16]

11 Citace

- [1] PRIS Power Reactor Infotmation System [online]. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2021 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>
- [2] Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Státní ústav radiační ochrany, 10 let od havárie jaderného reaktoru v Černobyli – důsledky a poučení, 1996 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/10let_od_Cernobyly.pdf
- [3] Energyweb, Encyklopedie energie [online]. 2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: https://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=2&slovník_page=step_retez_reak.html
- [4] Chornobyl NPP [online]. Kiev: Чорнобильська АЕС, 2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://chnpp.gov.ua/>
- [5] Deposition from Chernobyl in Europe [online]. Copenhagen: European Environmental Agency, 2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/deposition-from-chernobyl-in-europe>
- [6] Dědictví Černobyli: Zdravotní, ekologické a sociálně-ekonomické dopady a Doporučení vládám Běloruska, Ruské federace a Ukrajiny, The Chernobyl Forum, ČSVTS v koedici s Českou nukleární společností 2006, 1 vydání, ISBN 80-02-01806-0, cit. 2021-04-20. [online], Dostupné z: <http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/chernobyl/CZ.pdf>
- [7] Průměrné měsíční hodnoty objemové aktivity ¹³⁷Cs, ⁷Be a ²¹⁰Pb ve vzdušném aerosolu naměřené v lokalitě SÚRO Praha, 2021, [cit. 2021-03-09]. [online], Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/rms/ovzduši/mesicni-hodnoty>
- [8] Hůlka, J., Malátová, I., Radiační situace v České republice, přehled hlavních výsledků měření a opatření [online]. Státní ústav radiační ochrany, 2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: https://www.suro.cz/cz/publikace/chernobyl/radiazni_situace_v_cr_po_cernobyly.pdf
- [9] Chernobyl Accident 1986 [online]. London: World Nuclear Association, 2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident.aspx#ECSArticleLink0>
- [10] Rulík, P.; Helebrant, J.; Mapa kontaminace půdy České republiky ¹³⁷Cs po havárii JE Černobyl. SÚRO Praha, 2021, [cit. 2021-03-09]. [online], Dostupné z: https://www.suro.cz/cz/publikace/chernobyl/plosna-aktivita-radionuklidu-zjistena-ve-vzorcich-odebranych-pud/Zprava%202011%20-%202022%20-%20Kontaminace%20pudy%20Ceske%20republiky%20137Cs%20-%20Mapa.pdf/at_download/file
- [11] Klener, V.; Tomášek, L.; Zdravotní následky černobylské katastrofy, [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost 2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/chernobyl/Zdravotni_nasledky_Cernobyly.pdf
- [12] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 2008, Source and Effects of Ionizing Radiation, United Nations, New York 2011, ISBN-13: 978-92-1-142280-1 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2008_2.html
- [13] Strategies and practices in remediation of radioactive contamination in agriculture, International Atomic Energy Agency. Vienna : International Atomic Energy Agency, 2020. | Series: Proceedings series (International Atomic Energy Agency), ISBN 978-92-0-102120-5, [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1904web.pdf>
- [14] SRzhevsky, S.; New Sarcophagus for the Chernobyl Nuclear Power Plant, [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://ukrainetrek.com/blog/travel/new-sarcophagus-for-the-chernobyl-nuclear-power-plant/>
- [15] Jaderná elektrárna Dukovany je v provozu od roku 1985, O energetice.cz, 2021 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/jaderna-elektrarna-dukovany>
- [16] Chernobyl: The end of a three decade experiment, BBC. 2021 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/science-environment-47227767>