

Co je se děje s elektrárnou po havárii



Problémy samotné elektrárny katastrofou ve 4. reaktoru neskončily. Ukrajinská vláda ponechala kvůli nedostatku elektřiny v zemi tři zbývající reaktory v provozu. V roce 1991 poškodil požár kabelové vedení reaktoru číslo 2 a odpovědní činitelé prohlásili, že je neopravitelně poškozen a odpojili ho. Reaktor číslo 1 byl odstaven v listopadu 1996 jako část dohody mezi ukrajinskou vládou a mezinárodními organizacemi jako je IAEA o ukončení činnosti elektrárny. V listopadu 2000 ukrajinský prezident Leonid Kučma během slavnostního zakončení provozu osobně zmáčkl vypínač 3. reaktoru a odstavil tím definitivně celou elektrárnu.

Potřeba budoucích oprav:

Sarkofág nedokáže trvale účinně uzavřít zničený reaktor. Jeho chvatná konstrukce, v mnoha případech prováděna na dálku průmyslovými roboty, má za následek jeho rychlé stárnutí a pokud by se zhroutil, mohl by se uvolnit další mrak radioaktivního prachu. Bylo diskutováno mnoho plánů na výstavbu trvalejšího pouzdra, jejich realizaci však dosud brzdila korupce. Většina peněz věnovaných zahraničními zeměmi na pomoc Ukrajině byla vyplývána neefektivním rozvržením smluv a celkovým řízením nebo byla jednoduše ukradena. Pod sarkofágem zůstalo po havárii asi 95 % paliva reaktoru, což představuje radioaktivitu asi $18 \text{ MCi} = 0.67 \text{ EBq}$. Radioaktivní materiál se skládá ze zbytků jádra reaktoru, prachu a láv podobných „palivo obsahujících materiálů“ (FCM), které tekly vrakem budovy reaktoru, dokud neztuhly do keramické formy. Podle střízlivých odhadů se pod železobetonovým obalem nachází nejméně 4 tuny radioaktivního prachu. Do betonu pokrývajícího reaktor prosakuje voda a vyplavuje radioaktivní materiály do okolních podzemních vod. Vysoká vlhkost uvnitř krytu přispívá k další erozi jeho ocelové konstrukce a následnému úniku radioaktivity. V reaktoru se vyskytl nový nerost – černobylyt. Před časem Evropská banka pro rekonstrukci a rozvoj zahájila projekt "Úkryt" - stavbu nového sarkofágu, na který přispívá 28 evropských zemí. Příspěvek Ukrajiny byl zpočátku paradoxně tak malý, že neměla mezi ostatními ani hlasovací právo, nyní jej však navýšila a stala se plnoprávným účastníkem. Zatím však projektu, který má celkově přijít na 1,55 miliard eur, chybí asi třetina prostředků. Podle současného modelu bude projekt financován z větší části právě ukrajinská vláda, zbytek dobrovolní přispěvatelé (mezinárodní organizace)

prostřednictvím Evropské banky pro rekonstrukci a rozvoj. Práce už byly zahájeny. Přestože ještě není k dispozici celá částka, pracuje se v současnosti (jaro 2011) na stavbě základů nového sarkofágu. Jsou rovněž známy jeho rozměry a způsob výstavby - bude to sférická struktura vysoká 105 metrů, dlouhá 150 metrů a široká 260 metrů, která bude vybudována mimo areál a potom nasazena na stávající sarkofág a spojena se základy. Podle slov Vladimíra Chološa, ředitele ukrajinského Státního úřadu pro správu ochranného pásma černobylské jaderné elektrárny, je projekt téměř kompletní - doladují se pouze technické detaily, například protikoroze ochrana. Zároveň se zmínil o nutnosti pečlivě navrhnout každý detail sarkofágu, protože s podobnou stavbou nemá nikdo zkušenosti. Původní sarkofág má plánovanou životnost ještě několik let, je tedy čas otestovat technologie jeho nástupce.



www.youtube.com/watch?v=6JMGG-US24 - oficiální vypnutí elektrárny (3. blok)
www.youtube.com/watch?v=gDiODvGXCgA - uvnitř černobylského sarkofágu

Dlouhodobé, globální dopady

Brzy po havárii byl největším zdravotním rizikem radioaktivní jód ^{131}I s poločasem rozpadu 8 dnů. Dnes budí největší obavy kontaminace půdy izotopy stroncia ^{90}Sr a cesia ^{137}Cs , které mají poločas rozpadu kolem 30 let. Nejvyšší koncentrace ^{137}Cs byly nalezeny v

povrchových vrstvách půdy, kde jsou absorbovány rostlinami, hmyzem a houbami a dostávají se tak do místního potravního řetězce. Dřívější testy (kolem roku 1997) ukázaly, že v kontaminovaných oblastech množství ^{137}Cs ve stromech stále vzrůstá. Existují důkazy, že se kontaminace přesouvá do podzemních zvodní a uzavřených vodních rezervoárů jako jsou jezera a rybníky (2001, Germenchuk). Předpokládá se, že hlavním způsobem odstranění kontaminace bude přirozený rozpad ^{137}Cs na stabilní izotop barya ^{137}Ba , neboť vymývání deštěm a povrchovou vodou se ukázalo jako zanedbatelné.

Globální dopad:

Jak dokládají poznámky IAEA, přestože černobylská havárie uvolnila tolik radioaktivní kontaminace jako 400 bomb z Hirošimy, byla její celková velikost asi $100\times$ až $1000\times$ menší než kontaminace způsobená atmosférickými testy jaderných zbraní v polovině 20. století. Lze proto tvrdit, že ačkoliv byla černobylská havárie obrovskou lokální katastrofou, nepřerostla v katastrofu globální.

Dopad na přírodu:

Podle zpráv sovětských vědců na první mezinárodní konferenci o biologických a radiologických aspektech černobylské havárie (září 1990) dosáhla úroveň spadu v 10 km zóně kolem elektrárny až $4,81 \text{ GBq/m}^2$. Tak zvaný „Rudý les“ z borovic zničený silným radioaktivním spadem leží v této 10 km zóně, začíná hned za komplexem reaktoru. Název lesa pochází z dnů po havárii, kde se stromy jevíly temně rudé, jak hynuly na následky ozáření. Během vyčišťovacích operací po havárii byla většina z 4 km^2 lesa srovnána se zemí a spálena. Území Rudého lesa zůstalo jednou z nejvíce kontaminovaných oblastí na světě. Na druhou stranu se ukazuje, že jde o lokalitu bohatou na výskyt mnoha ohrožených druhů.

Evakuace:

Sovětsští odpovědní činitelé zahájili evakuaci obyvatel z oblasti Černobylu 36 hodin po havárii. V květnu 1986, o měsíc později, už byli přemístěni všichni, kdo žili v okruhu 30 km kolem elektrárny (asi 116 000 lidí). Podle zpráv sovětských vědců bylo $28\,000 \text{ km}^2$ kontaminováno ^{137}Cs o úrovni vyšší než 185 kBq/m^2 . V této oblasti žilo přibližně 830 000 lidí. Asi $10\,500 \text{ km}^2$ bylo kontaminováno ^{137}Cs o úrovni vyšší než 555 kBq/m^2 . Z této plochy zhruba $7\,000 \text{ km}^2$ leží v Bělorusku, $2\,000 \text{ km}^2$ v Ruské federaci a $1\,500 \text{ km}^2$ na Ukrajině. V této oblasti žije asi 250 000 lidí. Jejich zprávy potvrdil International Chernobyl Project Mezinárodní agentury pro atomovou energii. Dnes je dříve zcela evakuovaná oblast kolem elektrárny rozdělena na dvě zóny. V té první žije asi 600 starších lidí, kteří se do oblasti dobrovolně vrátili a dostávají peněžní příspěvek od státu, který zajišťuje také dovoz jídla a vody z nezasořených oblastí. Do druhé, tzv. mrtvé zóny mají přístup jen vědci a exkurze.

Porovnání s jinými katastrofami:

Černobylská havárie byla ojedinělou událostí. Poprvé v historii komerční výroby elektrické energie z jádra nastala při havárii úmrtí přímo způsobená radiací. Pozdější havárie v přepracovacím závodě v japonské Tokaimuře 30. září 1999 vyústila ve smrt jednoho pracovníka na ozáření až 22. prosince téhož roku. Havárie elektrárny A1 v Jaslovských Bohunicích v roce 1976 měla sice dvě oběti, ale ty byly udušeny uniklým oxidem uhličitým, nikoliv radioaktivitou. Počtem zabitých je tato havárie srovnatelná s některými haváriemi přehrad. V Evropě bylo největší havárií přehrady zabito přibližně 2000 lidí vlnou vzniklou po sesuvu půdy do přehrady Vaiont v Itálii (9. října 1966). Největší neštěstí se odehrálo v Číně v roce 1975 na řece Jang-c', kde po protřetí několika hrází zahynulo během jednoho dne 80 000 — 200 000 lidí (přesná čísla byla čínskými úřady utajena). Čínské přehrady mohou

posloužit také pro porovnání počtu evakuovaných - jen kvůli stavbě přehrady Tři soutěsky bylo třeba přesídlit asi 700 000 lidí. Srovnání lze provést i s výrobou elektřiny z uhlí: Každý rok zahynou ve světě při důlních haváriích desítky až stovky horníků. Před zavedením různých technologií na čištění dýmu kyselé deště a spád mírně radioaktivního popílku jen u nás zničily tisíce čtverečních kilometrů lesů a zasáhly s účinkem nemocí a dřívější smrti statisíce lidí.

Dlouhodobé vlivy na civilisty:

Výsledky studií, hlavně udávané počty postižených, se velmi liší podle toho, která organizace je vypracovala. Na neoptimističtějším kraji spektra se nacházejí zprávy vydávané IAEA. S mírným odstupem následuje WHO, a dále UNSCEAR (komise OSN pro studium efektů radiace), které uvádějí větší počty postižených, ale zůstávají řádově stejné. I řádově vyšší počty postižených uvádějí studie postsovětských výzkumníků, studie německé sekce organizace lékařů pro zamezení jaderné válce (IPPNW) a německé společnosti pro radiační ochranu (GfS)[6], a studie vypracované pro stranu Zelených, či Greenpeace.

První studie: nejméně 30 000 zemře:

Zpráva SSSR (Legasov, 1986) vypracovaná pro Vídeňskou mezinárodní konferenci v srpnu 1986 odhaduje počet lidí kteří zemřou rakovinou způsobenou izotopy radiocesia na 30 000 až 40 000. IAEA označila předpověď za extrémně nadhodnocenou a stanovila max. počet na 25 000, pak na 10 000 a 5 100. Autor studie, profesor Valerij Legasov byl nalezen oběšený 27. dubna 1988.

Stigmatizace mladých:

Vedoucí zdravotní komise IAEA roku 1996 předložil psychologický dopad havárie. V eseji píše, že mnoho adolescentů a mladých dospělých ze zasažených oblastí trpí stresovými symptomy, depresemi, strachem, pocity bezmoci, slabosti a ztrátou životních vyhlídek. Jelikož se o nich referuje jako o obětech, a nikoliv jako o přeživších, ústí to buď k přehnaným obavám o jejich zdraví a sebepozorování, či k zcela bezohlednému chování vůči nim samým. Příklady jsou: konzumace lesních plodů z vysoce zamořených oblastí, nadužívání alkoholu a tabáku, nechráněná promiskuitní pohlavní aktivita. (Mettler, 1996)

11 let poté: chronické ukládání Cs-137:

V roce 1997 tým profesora Juryje Bandaževského, patologa a ředitele zdravotního centra v běloruském kraji Homel, studoval aktivitu radiocesia v zemřelých, a jejich potravě z této zemědělské oblasti.

Hlavní poznatky ze studie:

Koncentrace radiocesia v místní zelenině, mléku, a zejména lesních plodech roste, a jejich konzumenti jsou těžce zamořeni.

Děti do 6 měsíců jsou nejpostiženější, aktivita radiocesia je až 11 000 Bq/kg ve slinivce, 6250 Bq/kg ve štítné žláze, v srdci 5333 Bq/kg. Účinným transportním prostředkem pro radiocesium je mateřské mléko. Děti zemřely na: sepsi, degeneraci mozku, hnisavé krvácení, poruchu srdce, tedy nikoliv na rakovinu. V tělech 51 dětí do 10 let věku našli 2 až 3 krát větší koncentrace radiocesia než u dospělých. Nejvyšší úrovně byly ve štítné žláze (2054 Bq/kg), nadledvinkách (1576 Bq/kg), slinivce (1359/kg). Vzorky byly měřeny ukrajinskými a německými přístroji, pro kontrolu byly vzorky dvakrát přeměřeny ve Francii. Studie konstatuje, že dříve byly školní děti posílány jednou ročně na měsíční ozdravný pobyt ze zasažené zóny, a ve školní jídelně dostávaly zdarma nekontaminované jídlo. Z úsporných důvodů byl pobyt v sanatoriu zkrácen a některé kontaminované oblasti prohlášeny za "čisté",

což ukončilo dodávku dekontaminované školní stravy. Studie požadovala pokračování jelikož kontaminovaná zemědělská půda začala být obdělávána, čímž se radiocesium dostalo do oběhu. Studie byla publikována v roce 2003, době kdy byl profesor Bandaževský ve výkonu osmiletého trestu za údajné přijetí úplatku. Po čtyřech letech mezinárodních protestů a petic byl propuštěn.

20 let poté: 9 000 až 60 000 zemře:

V roce 2005 bylo v studii IAEA množství lidí kteří zemřou na rakovinu způsobenou katastrofou odhadováno na 9 000 až 10 000. "Jiná zpráva o Černobylu"(Fairlie, Sumner, 2006) označuje chyby a vynechané údaje ve zprávách IAEA/WHO. IAEA se dle nich zabývá pouze populací tří států (Bělorusko, Ukrajina, Rusko), zatímco více než polovina radioaktivního spadu skončila na nesovětských územích Evropy. Tudíž lidí, kteří v důsledku radioaktivity zemřeli či zemřou je mnohem více, dle použitého modelu škodlivosti 18 000 až 60 000.

2007: indikováno 985 000 obětí:

Akademie věd v New Yorku vydala v roce 2009 anglický překlad[2] velmi obsáhlé studie[12] publikované v roce 2007, jejíž zásadní výpovědí je, že do roku 2004 na následky havárie zemřelo již 985 000 lidí, z toho 170 000 v Severní Americe. Jen v Bělorusku se mezi lety 1990–2004 zvýšila celková úmrtnost o 43%. Zvýšení úmrtnosti je ale i důsledkem prudkého zhoršení životní úrovně a životních podmínek v Bělorusku po rozpadu Sovětského svazu. To samé platí i o Ukrajině a Rusku. Tyto dvě věci - vliv radiace a pokles životní úrovně - však žádná studie nerozlišuje. Zcela běžné jsou dnes i předtím spíše výjimečné projevy nedostatečné výživy a podvýživy. Autoři V. Jablokov (ruská akademie věd), A. Nesterenko (běloruský institut radiační bezpečnosti), Prof. V. Nesterenko (bývalý ředitel běloruského jaderného střediska) měli za podklad více než 1000 vědeckých titulů a 5000 jiných publikací týkající se havárie a lékařských záznamů. Autoři upozornili, že tyto vědecké zdroje byly IAEA a UNSCEAR ignorovány či zlehčovány.



[10let_od_cernobylu.pdf \(3,1 MB\)](#)

[co_prinesl_cernobyl_pro_havarijni_pripravenost.pdf \(1 009,9 kB\)](#)

[situace_po_cernobylske_havarii_v_ceske_republice.pdf \(93,3 kB\)](#)

[Černobyl - 1.ppt \(498 kB\)](#)

[Černobyl - 3.ppt \(684 kB\)](#)

Krátkodobé dopady na obyvatelstvo



Pracovníci a likvidátoři:

Pracovníky účastníci se obnovy a vyčištění po havárii zasáhly vysoké dávky radiace. Ve většině případů nebyli vybaveni osobními dozimetry měřícími množství obdržené radiace, takže velikost těchto dávek mohli odborníci jen odhadovat. I tam, kde se dozimetry používaly, se dozimetrické procedury lišily. O některých pracovnících se předpokládá, že odhady dávek radiace v jejich případě jsou mnohem přesnější než u jiných. Podle sovětských odhadů se 300.000 až 600.000 lidí účastnilo vyčištění 30 km evakuační zóny kolem reaktoru, ale mnoho z nich vstoupilo do zóny až 2 roky po havárii. (Odhady množství „likvidátorů“ – pracovníků přivezených do oblasti na řízení krize a práce na obnově – se liší; Světová zdravotnická organizace například uvádí sumu 800.000, a také Rusko počítá mezi likvidátory některé lidi, kteří ve skutečnosti v kontaminovaných oblastech nepracovali). V prvním roce po havárii se množství lidí pracujících na vyčištění zóny odhadovalo na 211.000 a tito pracovníci obdrželi odhadovanou průměrnou dávku 165 mSv (16,5 Rem).

Civilisté:

Některé děti byly v kontaminovaných oblastech vystaveny vysokým dávkám až 50 Gy, což zvýšilo výskyt rakoviny štítné žlázy, protože přijímaly radioaktivní jód, izotop s krátkým poločasem rozpadu, z místního kontaminovaného mléka. Několik studií potvrzuje, že výskyt rakoviny štítné žlázy

Rozsah havárie a následky

Rozsah tragédie byl ještě zhoršen nekompetencí místního vedení a nedostatkem náležitého vybavení. Všechny dozimetry v budově čtvrtého reaktoru kromě dvou měly limit 1 mR/sec (milirentgen za sekundu), tj. 3,6 R/hod. Zbývající dva měly limit 1 mR/sec (tj. 3,6 R/hod), ale přístup k jednomu z nich byl zablokován explozí a druhý selhal ihned po zapnutí. Proto si směna v reaktoru mohla být jistá pouze tím, že hodnoty radiace ve většině budov reaktoru přesahují hodnoty 4 R/hod (skutečná úroveň byla v některých oblastech více než 20 000 R/hod; smrtelná dávka je asi 500 rentgenů po více než 5 hodin). To dovolilo náčelníku směny Alexandru Akimovovi předpokládat, že reaktor zůstal nedotčen. Důkazy opaku, jako například kousky grafitu a paliva reaktoru ležící kolem budov, byly ignorovány a údaje jiného dozimetru přineseného v 4:30 místního času byly odmítnuty s tím, že přístroj musí být vadný. Akimov zůstal se směnou v budově reaktoru až do rána a pokoušel se do reaktoru pumpovat vodu. Nikdo nenosil ochranný oblek. Většina z nich, včetně Akimova samotného, zemřela na ozáření během tří týdnů následujících po havárii.

Brzy po havárii přijeli hasiči uhasit ohně. Nikdo jim neřekl, že sutiny a kouř jsou nebezpečně radioaktivní. Příčinu požáru neznali a proto hasili vodou i reaktor samotný, v němž byla teplota asi 2000 °C. Při této teplotě se voda rozkládala na vodík a kyslík a opětné slučování těchto látek provázely výbuchy, které dále přispěly k úniku radioaktivity. Otevřené ohně byly uhašeny v 5 hodin, mnoho hasičů však utrpělo ozáření vysokými dávkami radiace. Vládní komisař určený k vyšetření havárie přijel do Černobylu ráno 26. dubna. V té chvíli byli již dva lidé mrtví a 52 bylo hospitalizováno. V noci z 26.–27. dubna — více než 24 hodin po explozi — komisař, konfrontovaný s dostatečnými důkazy o vysoké úrovni radiace a s množstvím případů ozáření, musel připustit zničení reaktoru a přikázat evakuaci blízkého města Pripjat'

Aby omezila rozsah katastrofy, poslala sovětská vláda na místo pracovníky, aby je vyčistili. Mnoho „likvidátorů“ (členů armády a jiných pracovníků) tam bylo posláno jako do normálního zaměstnání; většině se nikdo nezmínil o jakémkoliv nebezpečí. Neměli k dispozici ochranné obleky. Nejhorší radioaktivní trosky vyvržené z reaktoru byly posbírány a umístěny do budov. Reaktor sám byl pokryt pytli s pískem shazovanými z vrtulníků (kolem 5 000 tun během týdne po havárii), přičemž poškozená střecha nevydržela takové zatížení a část se jí propadla. Tím se uvolnila další radiace a mnoho vojáků bylo těžce ozářeno. Únikům radioaktivního materiálu do ovzduší se podařilo zamezit až po devíti dnech od havárie. Aby byl zapečetěn reaktor a jeho obsah, byl kolem něj rychle vytvořen velký betonový sarkofág. 203 lidí bylo okamžitě hospitalizováno, z nich 31 zemřelo (28 z nich na akutní nemoc z ozáření). Mnozí z nich byli hasiči a záchranáři snažící se dostat havárii pod kontrolu, kteří nebyli plně informováni, jak nebezpečné je radiační ozáření (z kouře). 135 000 lidí bylo z oblasti evakuováno, včetně 50 000 z blízkého města Pripjať. Ministerstvo zdravotnictví předpokládá po následujících 70 let 2% zvýšení úrovně rakoviny u většiny obyvatelstva, která byla zasažena (informační zdroje se liší) 5–12 EBq (tj. $5-12 \times 10^{18}$ Bq) radioaktivní kontaminace uvolněné z reaktoru. Dalších 10 jedinců zemřelo v důsledku havárie na rakovinu.

Analýza IAEA z roku 1986 označila za hlavní příčinu havárie akce operátorů. V lednu 1993 ale vydala IAEA revidovanou analýzu, v níž hlavní vinu přisoudila konstrukci reaktoru a nikoliv chybě operátorů.

Černobylský 4. reaktor obsahoval asi 190 tun oxidu uraničitého a produktů štěpení. Odhady množství uniklého materiálu se pohybují mezi 13 a 30 procenty.

Kontaminovaný materiál z černobylské havárie nebyl jednoduše rozprášen po okolní zemi, ale roztrousil se nepravidelně v závislosti na počasí. Podle zpráv sovětských a západních vědců dopadlo z kontaminace, která postihla území dřívějšího Sovětského svazu, 60 % na Bělorusko. Rovněž byla kontaminována rozsáhlá oblast Ruské federace jižně od Brjansku a části severozápadní Ukrajiny.

Na počátku byl Černobyl utajovanou katastrofou. První důkazy, že se stala velká jaderná havárie, nepřinesly sovětské zdroje, ale pocházejí ze Švédska. 27. dubna pracovníci Forsmarkske jaderné elektrárny (přibližně 1100 km od Černobylu) našli radioaktivní částice na svém oblečení. Pátření prokázalo, že problém není ve švédských elektrárnách, což ukázalo na vážný jaderný problém v západní části Sovětského svazu. Ještě 1. května se v Kyjevě konaly obvyklé prvomájové manifestace, neboť obyvatelstvo nebylo o katastrofě informováno.

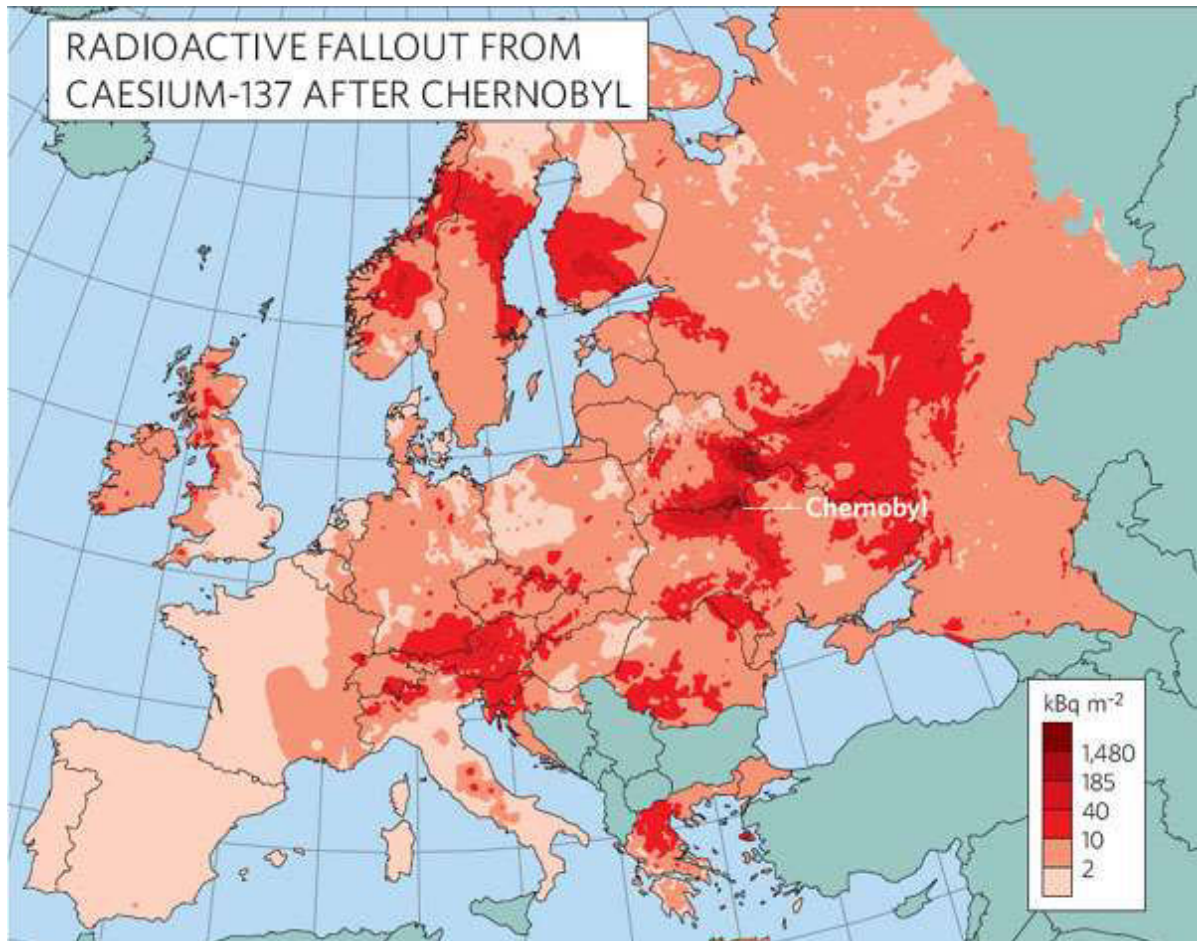








RADIOACTIVE FALLOUT FROM
CAESIUM-137 AFTER CHERNOBYL





Katastrofa 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 nedostatečná komunikace mezi vedoucími bezpečnostními pracovníky a operátory ohledně příkazu vykonat noční experiment. 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 (viz dále). Velmi významnou vadou reaktoru byla také konstrukce jeho regulačních tyčí. Regulační tyče nebyly zcela naplněné; ve chvíli, kdy se zasouvaly, byla na prvních pár sekund chladicí kapalina nahrazena dutými částmi regulačních tyčí. Jelikož chladicí kapalina (voda) je pohlcovač neutronů, výkon reaktoru v té chvíli stoupl. Toto neintuitivní chování reaktoru při zasouvání regulačních tyčí nebylo operátorům vůbec známo.



Základní údaje



Poloha: Ukrajina, 100 km severně od Kijeva na řece Pripjat', hranice s Běloruskem

Počet reaktorů: 4, pátý a šestý ve výstavbě

Typ reaktorů: RBMK - kanálový reaktor vysokého výkonu

Výkon: 4 x 1.000 MW

Palivo: obohacený uran 2%

Provoz 1. bloku:

Provoz 2. bloku:

Provoz 3. bloku:

Provoz 4. bloku: 1983 - 26.4.1986

Elektrárna má 4 reaktory RBMK, každý o výkonu 1000MW (Temelín má 2 reaktory VVER 1000MW). Reaktory se u těchto typů elektráren sdružovaly po dvou. U některých elektráren jsou v oddělených budovách, v Černobylu jsou bloky navázány v jednom komplexu. V roce 1986 probíhala stavba 5. a 6. bloku. Ty jsou v samostatném budově. Výstavba byla po havárii zastavena.

Elektrárna leží na řece Pripjat', ze které bere vodu na chlazení. V rezervoáru, odkud bere vodu na chlazení. Voda se v jezeru točí proti směru hodinových ručiček.

Xenonová otrava

Ještě než se pustím do popisu samotné nehody, je nutné přiblížit pojem xenonové otravy (anglicky xenon poisoning), protože tento fyzikální jev sehrál při černobylské havárii rovněž důležitou úlohu. Co to tedy vlastně je? Xenonová otrava je redukce reaktivity reaktoru v důsledku velmi vysokého pohlcování neutronů v štěpném produktu Xe-135. Jedním z vedlejších produktů vznikajících ze štěpení jader uranu U-235 nebo Plutonia-239 je tvorba jodu I-135. Reaktorová fyzika vychází z toho, že jód-135 je běžný štěpný produkt, který činí zhruba 6% z v reaktoru vzniklých štěpných produktů. Jelikož je malá šance, že by jód absorboval neutron, není jeho výskyt z hlediska řízení štěpné reakce významný. Ovšem Jód-135 má poločas rozpadu 6,7 hodin a přeměňuje se postupně v xenon Xe-135 s poločasem rozpadu 9,2 hodin. Tento izotop má neobvykle velký průřez pro absorpci neutronů. Jeho

hodnota činí 3 500 000 barnů; oproti tomu Bor má pouhých 750 barnů a Uran-235 549 barnů (1 barn = 10^{-28} cm²). Xenon-135 se tak stává téměř dokonalým absorbatorem neutronů (dokonce se tvrdí, že je to látka s nejvyššími absorpčními schopnostmi) a je velmi důležitým činitelem ovlivňujícím reaktivnost v aktivní zóně! Při normálním provozu reaktoru je přítomnost xenonu-135 a jódu-135 v rovnováze. Tato situace je daná tím, že probíhající štěpná reakce neustále produkuje nový jód-135, který se mění v xenon-135 a ten se buď přirozeně rozkládá na stabilní cesium-135, a nebo (častěji) pohlcuje neutrony a přeměňuje se na stabilní xenon-136. Zde platí, že ani cesium-135 ani xenon-136 již neutrony neabsorbují a šíření štěpné reakce tedy neovlivňují. Pakliže ovšem drasticky snížíme výkon reaktoru a nebo reaktor odstavíme, je rovnováha narušena a v reaktoru se začíná hromadit xenon-135, protože již vytvořený jód-135 se stále přeměňuje na xenon-135, ale ten vlivem výrazně menšího počtu neutronů v aktivní zóně zůstává v reaktoru a „nevyhoří“. Vrchol koncentrace xenonu-135 nastává zhruba po 12 hodinách od odstavení reaktoru. To je dáno především poločasem rozpadu xenonu-135 (9,2 hodin). Z tohoto důvodu není ani možné spustit krátce po odstavení opět reaktor - xenon tomu prostě zabrání.

Kompletní popis havárie

25. dubna 1986 krátce po půlnoci začala směna operátorů 4. bloku černobylské jaderné elektrárny provádět pokus, jehož cílem bylo ověření dodávek elektřiny pro čerpadla primárního okruhu reaktoru po odstavení turbín bloku. Podle teorie inženýrů a vědců se potřebná energie pro čerpadla (cca 6 MW) měla získat ze setrvačného doběhu turbíny. Podle výpočtů to mělo být dostatečné množství k udržení chodu čerpadel po dobu 50 sekund. Reaktor je sice také vybaven dieselovými agregáty, ty však potřebují 45 - 50 sekund k rozběhu na plný výkon. Proto měl být výkon získaný ze setrvačnosti dostatečný na překlenutí mezery mezi vypnutím proudu a náběhem agregátů. Předchozí testy ukázaly, že ačkoliv byla turbína schopná potřebnou energii dodat, napájecí napětí čerpadel kolísalo a jejich chod tak nebyl uspokojivý. Inženýři proto provedli změny v magnetickém poli regulátoru napětí. K otestování změn měl posloužit právě připravovaný experiment. Plánovaný průběh experimentu měl vypadat následovně: Nejprve se měl snížit výkon reaktoru na 1/2 a mělo dojít k odpojení první ze dvou turbín bloku. Poté mělo následovat další snižování výkonu až na 1/3, což byla takřka minimální bezpečná hranice provozu reaktoru RBMK. Dále mělo

následovat uzavření druhé turbíny. Tento krok měl být zároveň signálem pro systém havarijní ochrany, který měl současně automaticky odstavit reaktor. Poté měly být vyhodnoceny výsledky testu.

Obsluha tedy podle plánu započala s plynulým snižováním výkonu reaktoru z 3200 MWt až na výkon 1600 MWt a následným odpojením první ze dvou turbín. Pak byl ale test na žádost energetického dispečinku na 9 hodin přerušen a dále v něm proto pokračovala jiná směna. Jak vyplynulo z vyšetřování černobylské havárie, nová obsluha bloku v Černobylu nedostatečně chápala fyzikální principy činnosti svěřeného reaktoru a například o principu xenonové otravy (která se i vlivem odkladu testu stala aktuální) neměla dostatečné znalosti. Tento nový tým tedy pokračoval v pokusu, při kterém bylo nutno snížit tepelný výkon reaktoru zhruba na hranici 1000 MWt. Přitom obsluha postupovala chybně a výkon klesl až pod hranici oblasti bezpečného provozu (tato hranice se pohybovala kolem 700 MWt - po jejím dosažení začala bezpečnostní automatika okamžitě odstavovat reaktor; operátoři ji ale odpojili, přešli na ruční ovládání a pokusili se reaktor oživit a dokončit pokus). Ani po přechodu na manuální ovládání reaktoru se nedařilo operátorům udržet reaktor při životě a výkon dále klesal až na 30 MWt (pod 1% nominálního výkonu), což znamenalo v podstatě úplné zastavení štěpné reakce. Obsluha se pokoušela během této obrovské ztráty reaktivity zvýšit výkon tím, že postupně vytahovala z aktivní zóny reaktoru regulační tyče (aby to bylo možné, bylo nutno vypnout další automatické ochrany reaktoru). Chod reaktoru v oblasti malého výkonu trval však již příliš dlouho, a tak se v aktivní zóně začalo hromadit velké množství xenonu-135 a samaria-149, a proto na úbytek tyčí v aktivní zóně reaktor nereagoval. Pracovníci velina si tuto situaci nedokázali vysvětlit (nikdo z nich neznal přesné chování těchto vzácných plynů a zkušenosti pracovníci na bloku chyběli). Obsluha proto riskantně vytáhla z aktivní zóny postupně takřka všechny regulační a havarijní tyče až nad přípustné limity (to bylo přísně zakázané a aby to bylo možné, musela obsluha vypnout havarijní ochranu reaktoru. Po tomto zásahu zůstalo v aktivní zóně částečně pouze 8 z 211 regulačních a havarijních tyčí). Takřka úplná absence 200 tyčí znamenala přece jenom značný úbytek absorbčních látek v aktivní zóně a reakce se začala pozvolna opět rozbíhat. Operátorům se postupně podařilo zvýšit výkon reaktoru až na 500 MWt a dokonce považovali jeho chod za stabilní!

Začali proto s pokračováním experimentu. Uzavřeli druhou turbínu a odpojili 4 z 8 cirkulačních čerpadel primárního okruhu (reaktor ovšem pracoval dál, protože havarijní ochrana, která ho měla odstavit byla odpojena). Potom, když byl uzavřen přívod k turbínám, začal výběh rotoru. Kvůli zmenšení průtoku páry ze separačního bubnu rostl tlak páry v aktivní zóně rychlostí 0,5 atm/s a celkový průtok chladiva skrz reaktor se začal snižovat kvůli tomu, že pohony cirkulačních čerpadel byly napájeny z brzdícího generátoru. Ve spojení s výrazným omezením cirkulace chladicí kapaliny došlo k opětovnému nárůstu teploty v reaktoru. Poměrně rychle stoupl hromadění a tvorba páry v reaktoru. Situace se podstatně zhoršila tím, že se pára dostala až do čerpadel, jejichž účinnost se tím pádem výrazně snížila. To znamenalo další zhoršení oběhu chladicí kapaliny v reaktoru a vedlo k nadměrné tvorbě a hromadění páry v aktivní zóně. Nyní se projevil kladný teplotní koeficient reaktoru RBMK. Nárůst páry tak vedl k značnému zvýšení reaktivnosti. S tím jak se začala rozšiřovat štěpná reakce zvyšoval se i počet moderovaných neutronů, které mohly štěpit xenon-135. Vlivem zvyšování reaktivnosti tak xenon-135 ubýval a během několika málo vteřin došlo k jeho „vyhoření“, čímž reaktor přišel o prakticky jediný absorbátor neutronů, který se v aktivní zóně nalézal. To zapříčinilo gigantické rozšíření řetězové reakce a s tím spojený prudký nárůst teploty aktivní zóny zhruba na desetinásobek konstrukční projektované hodnoty (postupný nárůst až na 35 000 MWt). V této fázi si „vedoucí směny“ uvědomil svoji chybu, stiskl tlačítko nejvyššího poplachu (5. stupeň) a vydal pokyn k havarijnímu zasunutí regulačních tyčí a nouzovému odstavení reaktoru. Bylo však již příliš pozdě. Vysoká teplota

v jádře reaktoru vedla ke ztrátě chladicího média, když se veškerá voda přeměnila kompletně v páru. Nyní se ještě více projevoval kladný teplotní koeficient, který řetězovou reakci dále mohutně posiloval. Navíc poté, co obsluha vydala povel k havarijnímu odstavení reaktoru okamžitým zasunutím havarijních tyčí do aktivní zóny vyvstaly další dva problémy. Jednak vlivem obrovské teploty se již některé kanálky reaktoru zdeformovaly natolik, že do nich nešlo zasunout havarijní tyče a potom řídící tyče byly vysunuty nad maximální povolenou mez a jelikož tyto tyče byly vybaveny na svých koncích grafitovým dílem, svým zasouváním do aktivní zóny minimálně v první části reakci rovněž netlumily, ale podpořily (Grafitová část regulačních tyčí sloužila pro lepší ovládání reaktoru za normálního stavu, kdy se absorpční bórová část tyče nahrazovala moderační grafitovou a pak teprve vodou. To umožňovalo při běžném provozu zvýšení účinku zasunutí/vysunutí tyče. Se stavem do kterého operátoři reaktor dostali se nepočítalo). Výkon reaktoru tak dále stoupal a během chvíle se dostal až na 350 000 MWt (zhruba stonásobek konstrukční projektované hodnoty). Ohromné množství páry (tlak stoupal rychlostí 15 atm./s.) vytvořilo na reaktor obrovský tlak, kterému jeho konstrukce nedokázala odolat a ten explodoval. Do reaktoru vnikl vzduch, pára se dostala na rozpálený grafit a reakcí se zirkoniovým povrchem palivových článků vznikla výbušná směs vodíku a kyslíku jejíž následná exploze rozervalo budovu reaktorovny a částečně i strojovny bloků. Výbuch zabil 2 pracovníky elektrárny, kteří se nacházeli v blízkosti reaktoru a dalších 26 zaměstnanců a hasičů zahynulo během likvidace havárie v průběhu 26. dubna (většinou na následky radiačního ozáření). Další tři podlehlí zranění o několik dní později - jednalo se o pracovníky, kteří se vydali zasouvat regulační tyče do reaktoru ručně. Prokázaný počet obětí činí tedy 31 osob. Celkem na 750 tisíc lidí se účastnilo záchranných operací. Úmrtnost mezi nimi je menší, než je ukrajinský průměr v dané věkové kategorii.

[Černobyl - Buletin.pdf \(495,3 kB\)](#)

[Černobyl - Vesmír.pdf \(347,8 kB\)](#)

[Černobyľská havária - SOS.pdf \(1,1 MB\)](#)

[cernobyľska_havarie.pdf \(1,7 MB\)](#)

www.youtube.com/watch?v=3u_8frR0IpE - Brilliant Greenpeace video on Chernobyl

www.youtube.com/watch?v=nbCcutzXzYg - The Chernobyl disaster - the severe days

www.youtube.com/watch?v=jZby_s6gd0E - Černobyl: Jak o havárii informoval

komunistický tisk

www.youtube.com/watch?v=yiCXb1Nhd1o - Dokument: "Bitva o Černobyl" - plný rozsah na Youtube !!!

Historie jaderné elektrárny

Plán na výstavbu jaderné elektrárny v Černobylu byl v Sovětském svazu schválen počátkem 70. let 20. století. V roce 1972 bylo rozhodnuto, že elektrárna bude vybavena reaktory RBMK. První dva bloky byly typu RBMK-1000 (1. generace) a byly otevřeny v letech 1978, respektive 1979. Po dokončení prvních dvou bloků začala stavba dalších dvou bloků RBMK-1000 (2. generace). Rozdíl mezi reaktory RBMK-1000 první a druhé generace spočíval především ve změně uspořádání aktivní zóny, do které bylo na základě předchozích provozních zkušeností přidáno několik regulačních tyčí (bloky první generace měly 179 regulačních tyčí oproti 211 regulačním tyčím bloků druhé generace). Dále se snížil počet palivových kanálků ze 1693 na 1661. Celkově se rovněž změnil design budov elektrárny. Třetí blok elektrárny byl dokončen a spuštěn v roce 1982 a čtvrtý blok v březnu 1984. Po jejich spuštění se začalo se stavbou 5. a 6. bloku (rovněž RBMK-1000 2. generace). Stavba těchto bloků byla zastavena po havárii v roce 1986 a již nebyla obnovena. Celá stavba a provoz elektrárny byl poměrně dosti uspěchaný - například 4. blok byl spuštěn bez provedení řady požadovaných fyzikálních a technických testů. Po havárii 26. dubna 1986 byl zničen 4. blok. První blok byl vážně poškozen havárií v roce 1991 a kvůli předpokládané ceně jeho opravy nebyl již opravován. Druhý blok Ukrajina odstavila v rámci dohody s Evropskou unií v roce 1996 a poslední 3. blok byl rovněž v rámci dohod odstaven 21. prosince 2000.

Radiační situace v ČR, přehled výsledků měření

24.08.2011 15:54

V přiloženém souboru naleznete přesné výsledky měření, které byly prováděny na celém území České republiky, jsou zde zakresleny kontaminace ovzdušní a jsou zde i zakresleny vzdušné proudy, které prošly územím ČSSR pár dní po havárii v Černobylu. V mapách jsou

samozřejmě také zakresleny srážky, tam kde došlo ke srážkám během průchodu mraku z Ukrajiny je naměřená hodnota o něco vyšší.

[radiacni situace v cr po cernobylu.pdf \(936,6 kB\)](#)

UPOZORNĚNÍ: veškeré hodnoty a údaje co jsou v dokumentu uvedeny pocházejí z důvěryhodného zdroje a v žádné případě nejsou a ani nebyly tyto hodnoty zdraví škodlivé.

zdroj: www.sujb.cz - Státní úřad pro jadernou bezpečnost

Průzkum půdy na území ČSSR

V souboru naleznete naměřené hodnoty, které pocházejí z půdního měření provedeného 17. 6. 1986 na celém území Československé republiky

[pruzkum_pud_1986.pdf \(93,6 kB\)](#)

zdroj: www.sujb.cz - Státní úřad pro jadernou bezpečnost