

KATASTROFA V ČERNOBYLSKÉ JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ A JEJÍ DOPAD NA PŘÍRODU A LIDSKÉ ZDRAVÍ

Vladislav NAVRÁTIL

Abstrakt: Černobylská jaderná katastrofa, ke které došlo v roce 1986, se stala tragickou událostí s mnoha oběťmi, z nichž některé nesou následky dodnes. Její materiální škody jsou obrovské a jejich odstranění znamenalo pro Ukrajinu značné zatížení. Likvidace škod jaderné exploze v Černobylské elektrárně se zúčastnilo asi 200 000 osob ("likvidátorů") z celého tehdejšího Sovětského svazu. U rostlin, vystavených záření došlo k mobilizaci evolučních mechanismů, které je chrání proti účinkům záření od ^{137}Cs a ostatních radioaktivních prvků. Stejně závěry jako pro rostliny platí i pro živočichy. Jejich nové generace jsou odolnější proti účinkům záření ve srovnání s těmi, kteří jí byli zasaženi v době katastrofy.

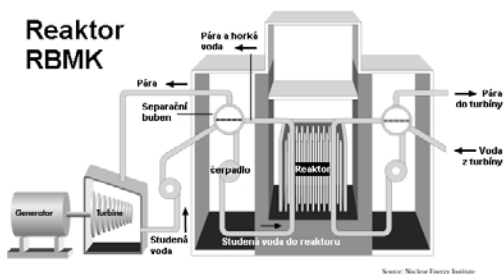
Klíčová slova: černobylská katastrofa, nukleární energie, radioaktivní prvky, kontaminace, lidské zdraví

1. Katastrofa v Černobyli (historie a příčiny)

Pod pojmem Černobylská katastrofa chápeme výbuch jaderného reaktoru v Černobylské jaderné elektrárně, která se nacházela na Ukrajině, v té době části bývalého Sovětského svazu (jaderná elektrárna byla vystavěna prakticky v centru malého města Pripjať, asi 100 km od Kyjeva, hlavního města Ukrajiny – Obr.1). Podle shodného stanoviska vědců, inženýrů i politiků z mnoha národů, je Černobylská katastrofa pokládána za nejhorší nukleární katastrofu, ke které dosud došlo (je hodnocena č. 7 podle sedmi-stupňové stupnice jaderných katastrof).



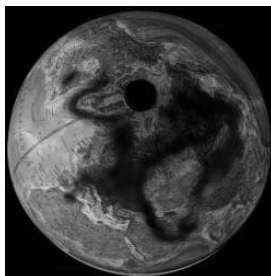
Obr.1 Okolí Černobylu



Obr.2 Schéma jaderného reaktoru RBMK.



Obr.3 Jaderná elektrárna krátce po explozi.



Obr.4 Radioaktivní mrak asi týden po katastrofě.

Již několik dní před 26. dubnem 1986, dnem katastrofy, byl na 4. reaktoru této jaderné elektrárny připravován poměrně důležitý experiment, jehož výsledkem měla být odpověď na otázku, jak dlouho je schopna parní turbína rotovat v případě, že dojde k přerušení dodávky elektrického proudu potřebného k řízení reaktoru. Takový experiment má svou důležitost pro zajištění chlazení reaktoru těsně po jeho nečekaném vypnutí. Reaktor typu RBMK (Obr.2), obsahuje kromě jiného cca 1600 jednotlivých kanálů obsahujících jaderné palivo. Každý takový kanál vyžaduje pro své chlazení velké množství vody (cca 28 t za hodinu). Podle názoru některých odborníků nebylo jasné, zda v případě nějaké nepředvídané vnější události, při níž by došlo k přetížení jaderné elektrárny a následnému automatickému odstavení reaktoru, by byl dostatek energie k pohonu chladicích pump. K tomu účelu jsou u každého reaktoru připraveny tři diesलगregáty, vyžadující 15 sekund k nastartování a asi 60–75 sekund k dosažení jejich plného výkonu (celkem tedy cca 90 sekund tzv. “mrtvého chodu”). Tato doba, delší než jedna minuta, se zdála být nedostatečná a vznikl předpoklad, že by bylo možné využít rotační kinetické energie parní turbíny a po jistou dobu jí využívat k výrobě elektrické energie pro pohon vodních čerpadel, než začnou diesलगregáty pracovat na plný výkon. Protože současně se zpomalováním rotace turbíny dochází k poklesu napětí, měl být během tohoto simulovaného výpadku testován i speciální přístroj, stabilizující napětí.

Každý jaderný reaktor je konstruován tak, že v případě jakékoliv závažnější chyby ohrožující jeho chod dojde automaticky k jeho odstavení. Prakticky se to provede tak, že do reaktoru jsou spuštěny kadmiové tyče, které pohltí neutrony, a tak zastaví řetězovou reakci a tím i činnost dalších zařízení (parní turbíny a generátoru elektrické

ké energie). Podle detailní analýzy příčin Černobylské katastrofy byl tento experiment prováděn v nejméně vhodném okamžiku práce reaktoru. Reaktor byl nastaven na nízký výkon (asi 50 %) a parní turbina naopak na vysokou rychlost. Za takových podmínek došlo k jevu, zvanému “otrava xenonem”, která je charakterizována vysokou koncentrací izotopu ^{135}Xe , který absorbuje neutrony, a tím k potlačování jaderné reakce. Z toho důvodu sáhla obsluha ke kroku, který se ukázal jako fatální, tj. vypnula automatickou kontrolu reaktoru a přešla na kontrolu manuální.

Celý reaktor se tak stal velmi nestabilním a jeho obsluha nezvládla jeho další činnost.



Obr.5 Zасыpávání reaktoru

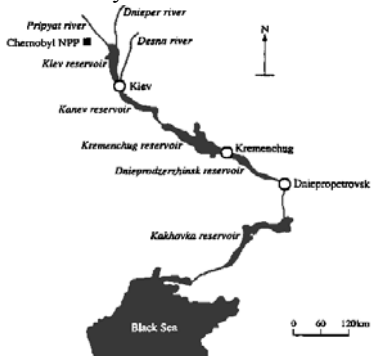


Obr.6 Hasiči na hořící střeše reaktorové budovy.

Výsledkem těchto nestabilních podmínek byla první exploze, při níž velmi horká pára o velmi vysokém tlaku odhodila 2000 tun těžký příklop jaderného reaktoru a nahromaděná pára zničila i strop reaktorové budovy (došlo k ní 26 .4. 1986 v 1 hodinu 23 minut ráno). Druhá, mnohem mohutnější exploze následovala asi 2 sekundy po první a byla způsobena reakcí vody s rozpáleným zirkoniem a uhlíkem, který je u tohoto typu reaktorů používán jako moderátor neutronů. Při této reakci vznikl vodík a ten explodoval a exploze vyvrhla do ovzduší velké množství radioaktivního materiálu, který kontaminoval velké území (Obr. 4). Zároveň došlo ke vzniku požáru střechy budovy, kryté izolační asfaltovou vrstvou. Značná část obsluhy reaktoru zemřela během tří týdnů na nemoc z ozaření.



Obr.7 Ten, který přežil –
Alexander Juvčenko



Obr.8 Ohrožení vodních zdrojů
v okolí katastrofy

Primárním úkolem hasičů bylo uhašení požáru střechy reaktorové budovy. Větší počet hasičů byl ozářen vysokou dávkou záření, neboť požárníci se domnívali, že jde o požár vzniklý vadnou elektrickou instalací a nepoužili žádné ochranné prostředky. Požár byl nakonec uhašen zejména díky vrtulníkům, ze kterých bylo do hořícího kráteru reaktoru svrženo asi 5000 tun písku, olova, jílu a materiálu, obsahujícího bór. (Obr.5, 6).

Obě exploze a následný požár vyvrhly do prostoru velké množství nebezpečných radioaktivních prvků, jako je ^{137}Ce , ^{131}I a ^{90}Sr . Roztavené reaktorové tyče a materiálu jádra reaktoru se pomalu protavovaly jako velká žhavá koule o teplotě zemské lávy směrem do nitra Země. Protože se však pod celou oblastí Černobylu nachází velké podzemní jezero čisté vody nasáklé v pískovém podloží, hrozila další katastrofa, tj. mohutný výbuch způsobený obrovským množstvím páry, která by vznikla při setkání žhavé koule s vodou. Aby zabránili tomuto katastrofálnímu výbuchu, vyvrtali likvidátoři následků výbuchu pomocí vrtných souprav používaných v naftovém průmyslu úzké vrty do prostoru pod reaktorem a chladili jej tekutým dusíkem na teplotu cca $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Asi 30 hodin po katastrofě byla započata evakuace obyvatel nejpostiženějších oblastí v okolí elektrárny. Z důvodu jejího rychlého průběhu bylo obyvatelům řečeno, že se brzy (do tří dnů) vrátí, aby si nebrali sebou velká zavazadla. Výsledkem je, že domy v městečku Pripjat' působí, jakoby byly opuštěny včera (Obr. 13–20)

Reaktor byl, jak již bylo uvedeno, nakonec zasypan obalem z písku, olova, jílu a materiálu, obsahujícího kyselinu boritou a překryt betonovým sarkofágem (Obr.5). Velké množství dopravních prostředků, které používali likvidátoři katastrofy, se nachází dodnes na obrovských parkovištích v okolí Pripjati, neboť jejich počáteční ozáření činilo $0,1 - 0,3\text{ Gy/hod}$ (Obr. 27–29).

Likvidace škod jaderné exploze v Černobylské elektrárně se zúčastnilo asi 200 000 osob ("likvidátorů") z celého tehdejšího Sovětského svazu. Všichni byli ozáření dávkou v mezích od 100 do 500 mSv (převážně od ^{131}I a ^{137}Cs). V oblastech, kontaminovaných těmito prvky s aktivitou vyšší než 37 kBq/m^2 žije v současné době asi 5 milionů lidí.

Tři roky po katastrofě byly ukončeny přípravné práce na dosud nedokončených reaktorech 5 a 6. Další požár v budově turbíny reaktoru č. 2, ke kterému došlo v roce 1991, způsobil, že tento reaktor byl odstaven v roce 1996 a celá elektrárna nakonec ukončila svou činnost v roce 2000 (ukončil ji sám prezident Ukrajiny). Bývalý personál elektrárny je nyní spolu s celými rodinami ubytován v novém městečku Slavutič, vybudovaném asi 30 km od Pripjati.

Černobylský reaktor je nyní uzavřen v provizorním sarkofágu. Nový a bezpečnější kontainment bude vybudován v roce 2011 za pomoci Evropské banky pro rekonstrukci a rozvoj, podporované různými mezinárodními institucemi a sponzory.

2. Zdravotní a environmentální důsledky Černobylské havárie.

2.1. Rostliny.

Stromy, keře, rostliny a vinná réva někdy doslova obalily a prorostly opuštěné ulice a domy v Pripjati (Obr.10). Navzdory počáteční devastaci se stav flóry nejen ne-

zhoršil, ale dokonce se zlepšily některé její vlastnosti. Podle Martina Hajdúcha, biologa pracujícího ve Slovenské Akademii Věd v Nitře, obsahují sójové boby pěstované uvnitř 30 km zakázaného pásu asi trojnásobek cystein syntázy než boby, pěstované 100 km od něho. Tato bílkovina chrání rostliny před účinky těžkých (často radioaktivních) kovů. Černobylské sójové boby obsahují dále o 32 % více betaine aldehyde dehydrogenazy, látky, která brání chromozomálním poruchám v lidské krvi způsobeným zářením.



Obr.9 Zakázaná 30 km zóna



Obr.10 Opuštěný dům, obrostlý vinnou révou.



Obr.11 Budova školy



Obr.12 Dnešní Pripjať

Závěrem lze tedy konstatovat, že u rostlin vystavených záření došlo k mobilizaci evolučních mechanismů, které je chrání proti účinkům záření od ^{137}Cs a ostatních radioaktivních prvků. Je ovšem otázkou, zda se tyto pozitivní vlastnosti uchovají i v dalších generacích rostlin.



Obr.13 Ruské kolo (mělo být dáno do provozu na 1. máje 1986.



Obr.14 Školní knihovna



Obr.15. Kalamář.



Obr.16. Sovětští představitelé.



Obr.17 Bez komentáře.



Obr.18 Velmi smutný obrázek.



Obr.19 Školní kabinet.



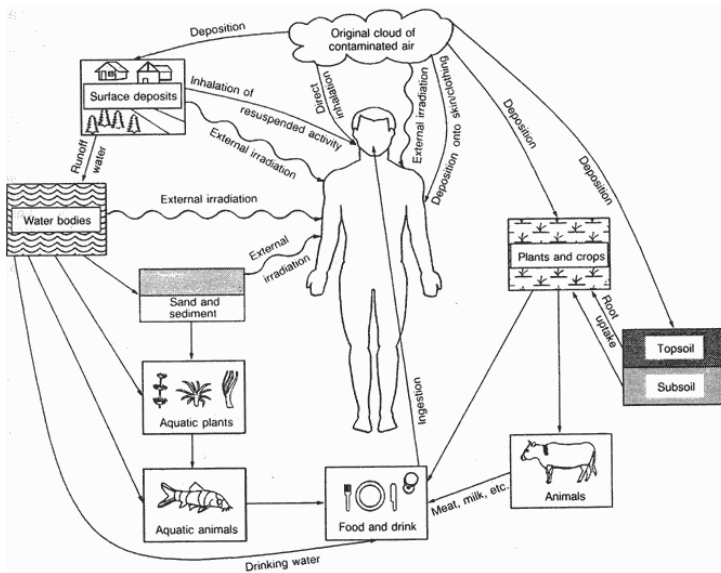
Obr.20 Nemocnice



Obr.21 Les postoupil do města



Obr.22 Dnešní Pripjat'



Main environmental pathways of human radiation exposure
[Source : IAEA technical report ISBN 92-0-129191-4 Vienna 1991]

obr.23 Vliv radiace na člověka

2.2. Člověk a živočišná říše.

V posledních dvou desetiletích byl v postižených oblastech sledován vztah mezi ozářením a rakovinou štítné žlázy u dětí. Nejškodlivější jsou radioaktivní prvky, které jsou akumulovány v potravním řetězci, jako například některé izotopy jódu a stroncia. Z celkového počtu asi 600 pracovníků přítomných v elektrárně v době katastrofy bylo vysokou dávkou (0,7 Gy–13,4 Gy) ozářeno 134 lidí a všichni onemocněli nemocí z ozáření. 28 z nich zemřelo během tří měsíců a dalších 19 zemřelo v letech 1987–2004 z jiných příčin, které nemusely mít nutně radiální povahu. Jeden z mála, kteří snad zázrakem přežili, je Alexandr Juvčenko (Obr.7), ozářený vysokou dávkou ihned po výbuchu. Prodělal mnoho operací a trpí nemocí z ozáření. Žije však dodnes.

Podle závěrů komise UNSCEAR 2000 během let 1986 a 1987 obdrželo asi 450 000 tzv. likvidátorů a dalších pracovníků dávky mezi 0,01 Gy a 1 Gy. Celou tuto skupinu lze považovat za potenciálně ohroženou a jejich zdravotní stav musí být v budoucnu pečlivě sledován. Bylo diagnostikováno více než 4000 případů rakoviny štítné žlázy mezi dětmi v oblastech zasažených radioaktivním spadem na Ukrajině, v Bělorusku a Rusku. Lze předpokládat, že tento typ rakoviny bude v budoucnu postupně pomalu klesat.

Mezi likvidátory, ozářenými dávkami vyššími než 150 mSv byl pozorován vyšší výskyt leukémie. Podobně jako v případě štítné žlázy lze předpokládat, že v budoucnu bude rovněž klesat počet případů onemocnění tímto typem rakoviny. Žádný jiný druh rakoviny způsobený vyšším ozářením po katastrofě nebyl pozorován.

Stejně závěry jako pro rostliny platí i pro živočichy. Jejich nové generace jsou odolnější proti účinkům záření ve srovnání s těmi, které jí byly zasaženy v době kata-

strofy. Výsledkem je, že třicetkilometrová zakázaná zóna se stala “rájem” pro jeleny, vlky, králíky, zajíce, bobry, divoká prasata, a dokonce i pro koně Převalského a vodní svět pro ryby všeho druhu (Obr. 24 – 26).

Radioaktivní zamoření vodních zdrojů bylo zpočátku dosti vysoké (^{131}I , ^{137}Cs a ^{90}Sr), ale v současné době již hladina radioaktivity poklesla pod hranici, povolenou pro pitnou vodu.

Akumulace radioaktivních prvků v rybách byla zpočátku velmi vysoká, převyšující i desetkrát hranici povolenou pro konzumaci (1 kBq / kg).



Obr.24 Koně Převalského



Obr.25 Ti, kteří se vrátili do zakázané zóny.



Obr. 26 Ryby v Kyjevské přehradě.



Obr.27 Helikoptéra v Pripjati.



Obr. 28 Parkoviště v Pripjati



Obr.29 Parkoviště v Pripjati

3. Závěr

Černobylská jaderná katastrofa, ke které došlo v roce 1986, se stala tragickou událostí s mnoha oběťmi, z nichž některé nesou následky dodnes. Její materiální škody jsou obrovské a jejich odstranění znamenalo pro Ukrajinu značné zatížení. Lidstvo se však z jejích následků našťěstí poučilo: došlo k výraznému zlepšení konstrukce jaderných reaktorů typu RBMK tak, že byl u nich kvalitativně zdokonalen systém automatické ochrany. Rovněž byl na doporučení odborníků zvýšen obsah uranu v pracovních tyčích z 1,8 % na 2,4 % ^{235}U . Od r. 1989 navštívilo více než 1000 jaderných inženýrů a techniků z bývalého Sovětského svazu odpovídající pracoviště v USA a v Západní Evropě.

Organizace IAEA (International Atomic Energy Agency) vypracovala pro každý typ sovětského reaktoru bezpečnostní projekt. Tzv. Nuclear Safety Assistance Coordination Centre spolupracuje se všemi jadernými elektrárnami, pracujícími v bývalém Východním Bloku. Podle German Nuclear Safety Agency je v současné době vznik katastrofy typu Černobyl prakticky nemožný.

THE CHERNOBYL DISASTER AND HUMAN HEALTH

Abstract: The accident at the Chernobyl nuclear power plant in 1986 was a tragic event for its victims, and those most affected suffered major hardship. Some of the people who dealt with the emergency lost their lives. About 200 000 people (“liquidators”) from all the former Soviet Union were involved in the recovery and clean up of destroyed region. The plants seem to be protecting themselves from radiation ^{137}Cs and other radioactive elements. Similar conclusions as to the plants can be set also as to the animals. New generations of them is more tough against radiation damage in comparison with the first generation survived in Chernobyl

Keywords: Chernobyl disaster, nuclear power, radioactive elements, contamination, human health