

616-001.26/29:614.82

**RADIČNÍ NEHODY V MÍRU****Dozimetrická a zdravotnická problematika****Část I: Přehled havarijních nehod v jaderném průmyslu a výzkumu  
v letech 1945—1964**

Podplukovník MUDr. Vlastimil HÁJEK, CSc.

vojenská nemocnice Slovenského národního povstání v Ružomberku

Konstrukce atomové pumpy v letech druhé světové války si vynutila řešení nejen obtížných fyzikálních a chemických problémů, ale i mnoha otázek ochrany a bezpečnosti práce, na které nedávala odpověď žádná teorie ani praktická zkušenost. Za 25 let se počet osob zaměstnaných v jaderných provozech a pracujících s nejrůznějšími formami radiačních zdrojů zmnohonásobil; vzrostl i okruh lidí, kteří se nejen svým zaměstnáním, ale hlavně životním prostředím dostávají do okruhu těchto zdrojů a mohou být zasaženi, zamořeni a poškozeni. Díky rozsáhlému bezpečnostnímu programu, který postupoval současně s vývojem techniky, patří zařízení atomového průmyslu k nejbezpečnějším provozům vůbec, frekvence pracovních úrazů je asi desetkrát menší než v chemickém provozu. Např. v letech 1957 a 1958 bylo v provozech atomové komise USA a podniků, které kontrolovala, zaznamenáno 940 pracovních úrazů: 289 poranění kůže, 228 zlomenin a 209 vymknutí a vykloubení; 78 osob bylo popáleno a u 45 osob byly provedeny amputace, převážně prstů horní končetiny. Jen u deseti došlo k ozáření nad přípustné hodnoty profesionální expozice (36).

Velkých nehod bylo poměrně málo, smrtelné končící byly vzácné; přesto má jejich studium velkou cenu pro mírovou i válečnou medicínu, protože nám umožňuje podrobné poznání různých projevů nemoci z ozáření, zhodnotí cenu různých diagnostických testů (7), objektivitu a spolehlivost dozimetrických měření a účinnost terapeutických postupů. Je proto velmi nutné, aby každý lékař, který by se mohl sejit s radiačním poškozením, měl k dispozici podrobné údaje o všech postižených: srovnání s jejich osudem je považováno za nejlepší metodu stanovení dávky (7).

Vojenský lékař má potencionálně největší pravděpodobnost, že se setká s ozářeními osobami, s masami ozářených, jejichž zdraví a život budou záviset na jeho rozhodnutí, na jeho diagnostických závěrech a na pohotovosti, s jakou využije omezený diagnostický a léčebný arsenál. „V posledních deseti letech se velmi mnoho námahy vynaložilo na získání informací o dějích, které se odehrávají v okamžiku exploze nukleární zbraně a v milisekundách po ní. Tento přístup vedl k zaneprázdnění detaily, které nám zdravotníkům nepomohou při řešení problémů zasažených osob“ (16). Tato slova byla sice řečena na 62. výročním shromáždění amerických vojenských chirurgů, mají však platnost i pro nás.

Osoby zasažené vnějším ozářením při jaderných nehodách nám poskytují mnoho údajů, které právě mohou pomoci „při řešení problémů zasažených osob“. Proto pro tuto práci byly vybrány nejzávažnější nehody, spojené s vnějším ozářením za podmínek, které se blíží polním — jak náhle uvolněným při kritické reakci, tak protahovaně působícím při ztrátě nebo zavlečení zářičů. Nejsou zde zachyceny přirozeně všechny nehody; rovněž u mnohých nebyla zveřejněna všechna potřebná data.

Podle charakteru nehod lze rozdělit zasažené do několika skupin.

**A. Osoby zasažené při experimentálních pracích**

1. USA — 21. 8. 1945 — Los Alamos (dále jen LA 1). 26letý fyzik byl ozářen při práci na pokusném kritickém uspořádání dávkou okolo 480 R smíšeného záření; ruce a břicho byly zasaženy mnohem větší dávkou převážně měkkého záření. Vyvinula se typická nemoc z ozáření, kombinovaná rozsáhlým poškozením kůže, která vedla ke smrti za 24 dny (18).

2. USA — 21. 5. 1946 — Los Alamos (LA 2). Při opakování pokusu došlo rovněž ke kritické reakci, při které byl 32letý fyzik zasažen celotělovou dávkou okolo 2000 R. Po typických prodromálních příznacích a pětidenní latenci došlo k plnému rozvinutí nemoci z ozáření a smrti za 9 dní. Současně bylo exponováno dalších 7 spolupracovníků dávkou mezi 35 až 416 R; nedošlo však již k dalšímu úmrtí (18).

3. SSSR — 1956 (SSSR — 2). Při bližší neudané pokuse byly ozářeny dvě ženy: 19letá dávkou 360—980 rad, 24letá 170—470 rad smíšeného záření. Dávka byla udělena během 30 minut, signalizační zařízení selhalo. Obě přežily typickou nemoc z ozáření a při kontrolních vyšetřeních za 3 a 4 roky byly bez potíží a poruch (4).

**B. Osoby zasažené při nehodách reaktorů**

4. USA — 2. 6. 1952 — Lemont, Argonne Laboratory (AL). Při práci s pokusným reaktorem došlo k reakci a 4 manipulátoři byli ozáření 12 až 198 rem smíšeného záření. Již za půl hodiny byli vyšetřeni v nemocnici; za 6 dní byli propuštěni a za měsíc opět nastoupili do práce (28).

5. SSSR — 1953 (?) (SSSR — 1). Při práci na experimentálním reaktoru došlo k ozáření 27letého a 21letého muže dávkou 300 a 450 R. U obou proběhla typická nemoc z ozáření; byli hospitalizováni 3 a 4 měsíce; za půldruhého roku byli v plné práci (17).

6. Jugoslávie — 15. 10. 1958 — Ústav Borise Kidriče, Vinča (BK). Při uvádění pokusného reaktoru o nulové energii do chodu došlo ke kritické reakci, která se projevila až zápachem ozónu. 8 osob z 11 přítomných obdrželo dávku převyšující přípustnou (40); šest nejvíce zasažených bylo druhý den dopraveno do Paříže na léčení v Curiově nadaci — dávka činila 350—640 rad. V druhém až pátém týdnu byla pěti podána kostní dřev. Přesto zemřel nejtíže zasažený za měsíc po nehodě; zbývající se po 4 měsících vrátili do Bělehradu (7, 30).

7. USA — 3. 1. 1961 — Idaho Falls (SL — 1). Lehký reaktor, SL — 1, nejmenší reaktor na světě, určený jako 600kW zdroj pro vojenská zařízení na dalekém severu byl po dvou letech bezchybného zkušebního provozu odstaven koncem roku 1960 na 11 dní. Při chybné manipulaci s regulačními tyčemi došlo k nekontrolovatelné reakci, jejíž mechanický projev usmrtil 3 muže obsluhy — jeden z nich byl výbuchem vymrštěn až do stropní konstrukce. Mrtvoly byly odstraněny po několika dnech usilovné práce více než dvou set osob ve vysoce zamořeném prostředí, kde úroveň dosahovala až 500 R/h (1, 9, 19).

C. Nehody při separaci a zpracování štěpného materiálu

8. USA — 16. 6. 1958 — Oak Ridge, provoz Y-12 (Y-12). Roztok obohaceného uranu byl omylem vypuštěn do odpadní nádoby; proběhla kritická reakce, která uvedla v chod sířeny automatického monitoračního systému. 5 osob z 8 zasažených bylo v noci odvezeno do nemocnice, velikost dávky se po upřesnění pohybovala mezi 298 až 461 rem. Objevil se typický obraz nemoci z ozáření, 44. den byli propuštěni z nemocniční péče (7, 11).

9. USA — 30. 12. 1958 — Los Alamos, provoz DP West (LA 3). 38letý zkušený zaměstnanec napsal do mísidla roztok s poměrně vysokým obsahem extrahovaného plutonia; pohybem lopatek zařízení se vytvořila kritická konfigurace, s rozštěpením asi  $1,5 \cdot 10^{17}$  jader. Pracovník byl výbuchem odmrštěn a ozářen dávkou okolo 10 000 rad. Byla mu poskytnuta první pomoc, byl odmořen a za 25 minut byl v lékařském ošetření; přes intenzivní péči zemřel v šoku za 35 hodin po ozáření. Dva spolupracovníci, kteří ho vynesli a vypnuli mísidlo, byli zasaženi dávkou okolo 40 až 130 rad (7, 26).

10. USA — 7. 4. 1962 — Hanford, provoz Recuplex (RX). Kritická reakce ve 45 litrech štěpného materiálu vedla k ozáření 24 osob; u tří nejtíže postižených činila dávka smíšeného ozáření 19, 47 a 123 rem, hospitalizace trvala 9 dní (8, 14, 33).

11. USA — 24. 7. 1964 — Rhode Island, United Nuclear (UN). Pracovník odpolední směny přelil koncentrovaný roztok obohaceného uranu do nevhodné nádržky s uhlíčanem sodným. Ještě před koncem přelévání došlo změnou konfigurace ke kritické reakci a obsluha v okamžiku zasažena dávkou smíšeného záření, která činila na některé části těla až 8800 rad. Zasažený ze-

mřel za dva dny. Dalších 30 až 50 rad bylo uděleno směnmistru a dvěma dalším mužům, kteří provedli po nehodě dekontaminaci pracoviště a převedli tekutinu do bezpečnostních nádob (6, 20, 23).

D. Ozáření krytými zdroji záření gama

12. Austrálie — 1959 (Austrálie, Cs). 28letý muž nosil týden 2curieový zdroj Cs 137 v kapse overallu, který doma odkládal v kuchyni. Celotělové ozáření dosáhlo 150—200 R, projevilo se jen hematologickými změnami; lokální poškození kůže si však vyžádalo pozdější amputaci nohy v kyčli. Žena a tři děti byli ozáření 10—20 R, spolupracovníci 5—10 R (38).

13. ČSSR — 1960(?) (ČSSR — Co — 1). Chlapec nosil 45 minut 150 mC zářič Co 60 bez poškození kůže i skeletu (39).

14. USA — 1961(?) Madison, Wisc. (USA — Co — 1). 33letý vědecký pracovník ozařoval v tekutém dusíku pokusný biologický materiál. Během ozáření se uvolnil 200 C zdroj Co 60 a zůstal nepozorován v Dewarově nádobě. Ozáření z největší blízkosti trvalo 12,5 minut a udělena dávka na horní břicho až 3000 R, celotělová dávka byla o řád nižší. Za půldruhé hodiny se objevily typické prodromální příznaky; jejich příčina byla odhalena až při večerní monitoraci pracoviště, která ukázala ztracený zdroj. Postižený byl hospitalizován za 11 hodin a neměl žádné potíže; po propuštění za 52 dny trpěl poškozením kůže, které si vyžádalo plastické zásahy (34).

15. Mexiko — březen až červenec 1962 (Mexiko Co 60). 10letý syn našel na dvoře domu, do kterého se přistěhovala mexická rodina, zdroj Co 60, který nosil několik dní v kapse, než jej uložil do příborníku v kuchyni. Ozařování rodiny trvalo až do 22. července, kdy byla kobaltová kapsle odnesena původním majitelem. Hoch zemřel první po dávce 4700 R, byl postupně následován matkou (3500 R), sestrou (2870 R) a babičkou (3000 R), které zemřely za typických příznaků radiačního syndromu; úroveň záření, kterému byly oběti vystaveny, se pohybovala mezi 1,8 až 484 R/den. Otec, který se většinu dne zdržoval mimo domov, přežil s 1200 R celotělového ozáření, uděleného za 123 dny (3, 15, 29).

16. ČSSR — únor 1963 (ČSSR — Co 2). 13 pracovníků přepravovalo zásobník s 2000 C Co 60; náhle zjistili, že se zářič uvolnil a je volně mezi pracovníky. Vypukla panika, postižení hospitalizováni na 4—10 dní, dávka však nepřesáhla 17,5 R u nejvíce postiženého (24).

17. SSSR — 1963(?) (SSSR — Co). 33letá žena byla ozářena po dobu 10 vteřin radiací gama z nekrytého 40 000 C zdroje radioaktivního kobaltu. Dávka na důležité orgány nebyla menší než 450—600 rad. První pomoc byla poskytnuta za 4,5 hodiny, za 7,5 hodiny byla přijata do nemocnice. Hemoragický syndrom se projevil osmý den, v druhém týdnu onemocnění dominovalo poškození kůže horní části těla a rukou. Byla léčena transfúzí kostní dřevě, úzdrava

Tab. 1

Chronologický sled radiačních nehod. Zkrácené označení je užíváno v další práci pro označení jednotlivých nehod

Zkrác. označení	Rok, den a měsíc	Země a místo	Typ nehody	Počet za- sažených	Druh záření	Dávka		Lit. údaj
						celé tělo	lokální	
LA — 1	1945 21.8	USA — Los Alamos	experiment na kritické úrovni	2 (1+)	n, gama, X	590 R 32 R	až 40 000 R měkkého záření X	HEMPELMANN 18
LA — 2	1946 21.5.	USA — Los Alamos	experiment na kritické úrovni	8 (1)	n, gama, X	2044 R 35—416 R		HEMPELMANN 18
SSSR — 1	1952 (?)	SSSR	pokusný reaktor	2	n, gama	450 R 300 R		GUSKOVA 17
AL	1952 2.6.	USA — Lemont, Ill Argonne Nat. Lab.	závada na kontrolních tyčích reaktoru	4	n, gama	12—190 R		MARINNELLI 28
SSSR — 2	1956 (?)	SSSR	pokusné laborat. zařízení	2	n, gama	320—980 rad 170—470 rad		BAJGOZOLOV 4
Y — 12	1958 16.6.	USA Oak Ridge provoz Y — 12	zpracování obohaceného uranu	8	n, gama	298—461 rem 22—65 rem		ANDREWS v 7
BK	1958 15.10.	Jugoslávie — Vinca, Ústav Borise Kidriče	pokusný reaktor	7 (1)	n, gama, X	350—640 rad		PENČIĆ v 7
LA — 3	1958 30.12.	USA — Los Alamos DP WEST	zpracování plutonia záchr. práce	1 (1) 2	n, gama, X gama	3900—4900 rad 40 a 130 rad	až 12 000 R gama	SHIPMAN v 7
Austrálie Cs	1959 (?)	Austrálie	odcizení 2,5 C Cs 137 v okolí	1 6	gama 0,66 MeV	150—200 R 5— 20 R	několik tisíc	SHIELS v 38
LI	1960 8.3.	USA — Lockport	elektronka radaru	9	X 0,14—0,15 MeV	300—330 R	až 1500 R	HOWLAND v 7
ČSSR — Co 1	1960	ČSSR	odcizení 150 mC Co 60	1	gama 1,33 MeV	okolo 100 R	několik set R (?)	TRUELLE 39
SI — 1	1961 3.1.	USA — Idaho Falls reaktor SL 1	manipulace kontrolními tyčemi	3 (3)	usmrčení mecha- nicky			HORAN 19
USA — Co 1	1961 (?)	USA — Madison	pokusné ozařování 200 C Co 60	1	gama 1,33 MeV	250—300 R	až 3000 R	ROSSI 34
Mexiko — Co	1962 21.3.-22.7.	Mexiko	dlouhodobé ozáření Co 60	5 (4)	gama, 1,33 MeV	1200—4700 R		GONZALES 15
RX	1962 7.4.	USA Hanford provoz Recuplex	zpracování štěpného materiálu	20	n, gama	okolo 90 rad pod 2 rad		FUQUA 14
PR	1962 8.3.	Puerto Rico	manipulace s palivovým článkem	7	gama okolo 2 MeV	4—100 rad		CANDLESS 5
ČSSR Co — 2	1963 únor	ČSSR	transport 2 000 C Co 60	13	gama 1,33 MeV	do 17,5 R		KLENER 24
SSSR Co — 1	1963 (?)	SSSR	ozáření 40 000 C Co 60	1	gama 1,33 MeV	450—600 rad	přes 1000 rad	KURŠAKOV 25
ČSSR Cs	1964 (?)	ČSSR	odcizení 1 C Cs 137	3	gama 0,66 MeV	do 100 R (?)	několik set R (?)	TRUELLE 39
USA Co — 2	1964 (?)	USA	odcizení Co 60	1	gama 1,33	okolo 100 R (?)	několik set až tisíc R	FAO 9
USA Co — 3	1964 (?)	USA	"	1	"	—	"	FAO 9
USA Ir	1964 (?)	USA	náhodné ozáření Ir 192	20	gama 0,316 MeV	do 5 R		FAO 9
USA Co — 4	1964 (?)	USA	uvolnění kC zdroje Co 60	1	gama 1,33	50 rem		FAO 9
USA UN	1964 24.7.	USA — Rhode Island United Nuclear	práce s obohaceným uranem dezaktivace	1 (1) 3	n, gama gama	8800 rad 30—50 rad		KARAS 23

Poznámka: + číslo v závorce: z toho zemřelo

počala 70. dnem, do práce se vrátila za 8 měsíců (25).

18. USA — před 1964 (USA Co — 2). Malý hoch nabil odcizeným zásobníkem Co 60 dětský revolver, nosil ho několik dní a utrpěl těžké popáleniny (9).

19. USA — před 1964 (USA Co — 3). Po dvou-denní expozici kobaltovému záři došlo k těžkým popáleninám kůže u staršího muže (9).

20. USA — před 1964 (USA Ir). Odkrytý defektoskop s Ir 192 ozářil skupinu 20 pracovníků dávkou 2—5 R (9).

21. USA — před 1964 (USA Co 4). Z kobaltového přístroje pro teleterapii vypadl zdroj kC a ozářil manipulátora dávkou 5 až 50 R gama, než byla porucha zpozorována (9).

22. ČSSR — 1964(?) (ČSSR Cs). 3 chlapci odcizili 1,2 mC zářič Cs 137 a jeden z nich ho nosil 2 hodiny v kapse. Kromě pigmentovaného okrsku kůže v blízkosti kapsy se u žádného neobjevily chorobné změny (39).

#### E. Jiné zdroje záření

23. USA — 8. 3. 1960 — Lockport (LI). 9 občanských zaměstnanců dolaďovalo klystronovou elektronku ve věži radarové stanice a bylo ozářeno mikrosekundovými impulsy rentgenového záření o napětí 140—155 kV. Lokální dávka dosahovala až několika set R. Byli hospitalizováni za 53 až 101 hodin po ozáření, propuštěni 44. den (7).

24. Puerto Rico — 24. 7. 1962 (PR). 5 mužů a dvě ženy byly ozářeny při manipulaci s palivovým článkem reaktoru: dávka byla v rozmezí 4 až 100 R; jen u nejtíže ozářeného se projeví příznaky nemoci z ozáření lehkého stupně (5).

Chronologický přehled všech nehod s hlavními údaji podává tabulka 1.

Na tabulce 2 je stručný výčet menších nehod, při kterých došlo k zasažení osob zářením v letech 1945—1960.

Vedle těchto 63 nehod, při kterých bylo postiženo 179 osob, je zaznamenáno ještě 89 dalších, při kterých došlo k různému uvolnění aktivního materiálu — byly hlášeny z Anglie, Kanady, západního Berlína, Švýcarska, Norska, Francie a Japonska (36). K dvěma nehodám došlo při transportu uranu nebo odpadového materiálu po železnici, jednou se při požáru kamiónu vznítily i přepravované uranové tyče (9).

Prvním a nejdůležitějším poučením z této krátké historie radiačních škod a nehod je, že hlavní příčinou bylo zanedbání bezpečnostních předpisů, nedostatečnost ochranných mechanismů, neoznačení nádob a podobně. Všechny nehody jsou vysvětlitelné fyzikálně a dá se jim zabránit (10). První dvě nehody v Los Alamos spadaly do epochy intenzivní výzkumné práce v posledních dnech války a časných experimentů. Dnes se provádějí za televizní kontroly na dálku (37). U nehody SL — 1 nesprávná manipulace s kontrolními tyčemi zavinila smrt tří osob, podobný postup byl i příčinou nehody AL. Při nehodě LA 3 se nahromadilo při předcházejícím čištění aparatury místo několika set gramů plutonia, jako při normálním provozu, 3,75 kg, které roz-

Tab. 2

Přehled méně významných nehod v letech 1945—1960

Rok	Druh práce	Počet osob
1945	Studium kritického stavu	3
1948	Práce s ra materiálem	5
1949	Studium kritického stavu, ztráta Co 60	2
1952	Práce s ra materiálem	1
1953	Práce s ra materiálem	6
1955	Práce s ra materiálem	4
1956	Práce s ra materiálem, odpad z atomové ponorky SEAWOLF	40
1957	Práce s ra materiálem, ztráta Ir zdroje	9
1958	Práce s ra materiálem, ztráta Ir zdroje	21
1959	Práce s ra materiálem, radioaktivním odpadem, s izotopickými zdroji záření	52
1960	Práce s ra odpadem a zdroji Co a Cs	36

puštěno vytvořilo tloušťku 20 cm (kritická míra je 20,6 cm) (31); přitom byl vadný filtr před míchadlem a obětí byl dlouholetý pracovník, praktik bez větších znalostí (7, 26). Při Y — 12 byl roztok uranu považován za čistou vodu a vypuštěn do odpadové 200litrové nádoby (7); při nehodě UN byla pro poruchu odpařovače považována koncentrace za 200× menší a přelita z geometricky bezpečné nádoby do nevhodné (6, 20). Při nehodě SSSR — 2 nefungovalo signalizační zařízení (4); při jugoslávské havárii BK byl automatický mechanismus dokonce vypnut a konstrukce reaktoru to připustila (30, 40); technici-opraváři radaru (LI) odstranili těžký ochranný kryt v domněnce, že nemůže vznikat žádné záření, není-li vysílána radiofrekvence (7). Špatný dozor, zvědavost, lehkovážnost a nedostatečná kontrola jsou příčinou celé řady nehod s uzavřenými zářiči. Naopak ukazuje se cena vycvičených, ukázněných, prakticky i teoreticky připravených pracovníků. Patří k nim spolupracovníci postiženého z LA 3, kteří jsou ozářeni při první pomoci a dekontaminaci ozářeného, záchranné oddíly pracující v 10° mrazu a vysoké úrovni radioaktivity při nehodě reaktoru SL — 1, dekontaminační pracovníci z provozu UN; konečně zdravotnický personál všech stupňů, který poskytuje i beznadějně nemocným všichni péči, duševní pohodu, i když jejich klid musí často chránit před senzacechtivými reportéry tisku, rozhlasu a televize (7, 1).

Stručný výčet události nemůže vykreslit atmosféru těchto tragických okamžiků; našťastí je většina dokumentů volně přístupna a stává se dokladem nejen katastrof, ale i tvořivé, před ničím se nezastavující tvůrčí síly lidstva.

Literatura bude souhrnně uvedena ve třetí části