

K RADIOAKTIVNÍMU ZAMOŘENÍ

Při výbuchu jaderné nálože vzniká tlaková vlna, světelné a tepelné záření, elektromagnetický impuls, okamžité gama záření a dojde ke vzniku radioaktivní směsi štěpných produktů. Zdrojem radioaktivního zamoření jsou radioaktivní látky štěpných reakcí jader uranu apod., části jader nálože a částice půdy s indukovanou aktivitou.

Největší množství radioaktivních látek vzniká při pozemním jaderném výbuchu, kdy asi polovina ohnivé koule jaderného výbuchu se dotkne země, čímž dojde ke zplynění a roztavení půdy. V důsledku velkého žáru v prostoru centra jaderného výbuchu nastane velké sání, vzduch, který se nasatí prachem a roztavenou zeminou, začne stoupat, čímž se vytváří radioaktivní oblak hřibového tvaru. Rozměr oblaku a rychlost jeho vzestupu závisí na mohutnosti pozemního výbuchu. Po výstupu radioaktivních částic do výšky je prach unášen ve směru převládajícího výškového větru.

V zahraničním tisku bylo uveřejněno, že při jaderném pozemním výbuchu střední ráže se zvedne do ovzduší asi 40 000 t materiálu ze vzniklého kráteru.

Zdrojem radioaktivního zamoření terénu, ovzduší atd. v době míru i za války může být havárie nebo násilné poškození jaderného reaktoru v elektrárně, teplárně a dalších zdrojích pohonu.

Radioaktivní stopa bude mít pravděpodobně tvar deformované elipsy v závislosti na směru a rychlosti výškového větru. Na rozměr, tvar stopy a hodnoty radioaktivního zamoření v ní má vliv mohutnost jaderné náplně a meteorologické podmínky.

Čím větší je rychlost větru, tím delší je i radioaktivní stopa, avšak úroveň zamoření terénu v čase a prostoru bude menší. Radioaktivní zamoření při havárii jaderného reaktoru bude z hlediska plochy menší.

Meteorologické srážky (déšť, sněžení) způsobují nepravidelné rozložení aktivity ve stopě a tím i značné rozdíly v úrovni radiace. V důsledku vymývání radioaktivního prachu v ovzduší mnohonásobně převyší hodnoty, vzniklé za normálních podmínek. Dlouhotrvající nebo silné meteorologické srážky způsobují u vytvářené radioaktivní stopy zmenšení aktivity a nižší úroveň radiace. [Jde o vsakování a jejich smývání deštěm

nebo překrytí části sněhovou vrstvou. Tím vzniká nebezpečí zamoření povrchových vod, což je počátek nebezpečí potravinového řetězce voda — rostlinná produkce — skot — mléko — člověk. Obdobné fyzikální vlastnosti budou mít i radioaktivní látky z havárie jaderného reaktoru.

Radioaktivní záření pro osoby a veškerý živý organismus představuje smrtelné nebezpečí, které nemá žádnou vnější podobu, nemá chuť, barvu ani vůni a lidské vědomí se vzpírá smířit se s touto osudovostí radioaktivního zamoření. Rovněž lékaři v prostoru černobylské elektrárny spatřili poprvé pacienty postižené nemocí z ozáření. I když zdravotníci neradi podléhají emocím, od začátku věděli, že někteří pacienti nepřežijí.

Radioaktivní spad se při vypadávání usazuje na objektech, zařízeních, terénu, rostlinách, povrchu vodních ploch, na půdě a jiných objektech. Drobné částice vytvářejí ve vzduchu aerosoly. Po vypadnutí radioaktivního spadu dochází postupně ke snižování úrovně radiace, a to přirozeným rozpadem radioaktivních izotopů, odvanutím tohoto spadu z povrchu země a objektů nebo pronikáním půdy v dešťové vodě. Částice, usazené na hladině vody, zčásti klesají ke dnu a zčásti je voda unáší. Rozhodujícím faktorem pro snížení úrovně zamoření je radioaktivní rozpad.

Zvláště rychlé snížení úrovně radiace zamořeného prostoru po pozemním jaderném výbuchu nastává v prvních hodinách po výbuchu. Např. jestliže za 1 hodinu po výbuchu je úroveň radiace 100 R/h (100 rad), pak za 7 hodin se bude rovnat cca 10 rad/h a za 49 hodin 1 rad/h. (Příklad je orientační, vhodný k získání předběžných údajů o úrovni zamoření terénu a jeho poklesu v závislosti na čase, a pro rychlý přepočet poklesu radiace.)

Radioaktivní látky obsahují radioaktivní atomy (radionuklidy), které při své přeměně vysílají zejména záření beta a gama. Celkové množství radioaktivních látek udává jejich aktivitu, tj. počet rozpadů, které se v zářiči uskuteční za 1 sekundu. Jednotkou aktivity radioaktivní látky je Bq (Becquerel). Jeden Bq je taková aktivita zářiče, při níž nastává jeden jaderný rozpad za sekundu ($1 \text{ Bq} \cdot \text{s}^{-1}$).

Objemové zamoření materiálu se vyjadřuje jako měrná aktivita, což představuje množství radioaktivních látek na jednotku hmotnosti materiálu ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$). Při povrchovém zamoření je uváděna plošná aktivita ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$) a při objemovém $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$.

Pro měrnou a plošnou aktivitu je obvykle užíván pojem stupeň zamoření.

Expozice — ozáření — se uvádí v R, podle soustavy SI v coulombech na kilogram ($\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$, $1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \cdot \text{C/kg}^{-1}$).

Množství energie ionizujícího záření, předané látce, se nazývá dávka. Její jednotkou je gray (Gy), dosud se vyjadřovala v radech ($1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$). Dávka, předaná za jednotku času, se nazývá dávkový příkon ($\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$). Pro tento příkon se používá pojem úroveň radiace nebo expoziční příkon ($1 \text{ R} \cdot \text{h}^{-1} = 0,01 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$).

Terén považujeme za zamořený při úrovni radiace $0,005 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ [$0,5 \text{ R} \cdot \text{h}^{-1}$] a více. Od této hranice radioaktivního zamoření bude vhodné podle místních podmínek, meteorologických podmínek a bojové situace používat ochranné prostředky jednotlivce a využívat i zařízení kolektivní ochrany.

Kromě přírodních radioaktivních látek (radionuklidů), jako je uran, rádium apod. vznikají radioaktivní látky umělou cestou, a to:

v míru při:

— všech pokusných, výzkumných jaderných, termojaderných nebo neutronových výbuších (pozemních i vzdušných),

— exploataci (havárii) jaderných technických zařízení, tj. jaderných reaktorů elektráren, tepláren, pohonů lodí, úpraven jaderných paliv a dalších technických zařízení, kdy dojde k úniku radioaktivních látek,

ve válce při:

— použití jaderných, termojaderných a neutronových zbraní jako operačního (taktického) prostředku vedení války, nebo po odpálení pásma jaderných min, položených v přihraničním pásmu NSR,

— záměrném poškození jaderných reaktorů apod. konvenčními nebo jadernými zbraněmi.

Štěpné produkty vznikají i při převozu jaderných reaktorů působením neutronů jaderného paliva. Při normálním provozu jsou palivové články ponechávány 3 roky v reaktoru. Vyhořelé palivové kazety se rozřežou a jsou ponechávány (obdobně dlouho) uvnitř jaderného zařízení, aby jejich počáteční vysoká radioaktivita poklesla. Orientační přehled poklesu radioaktivity vyhořelých palivových článků pro jednu kazetu o tepelném výkonu 4 MW — viz **tabulku 1**.

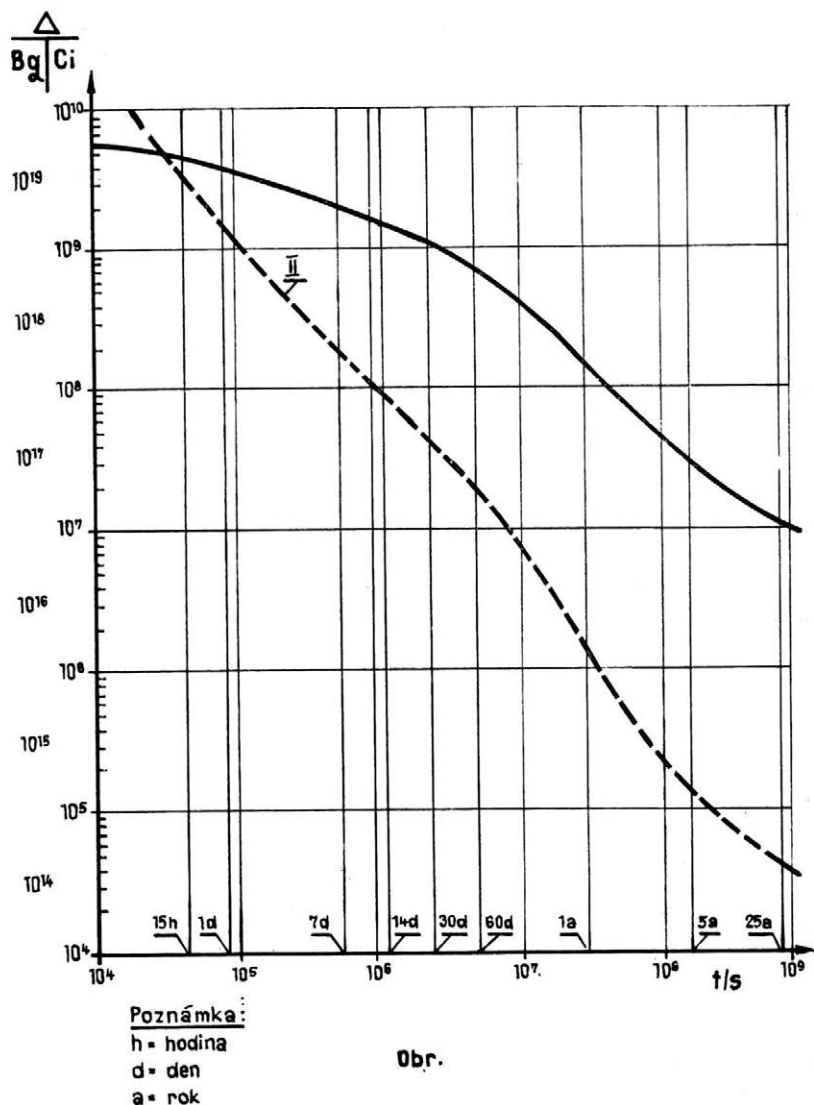
Tabulka 1

Doba poklesu	Radioaktivita v PBq (peta Becquerel)
10 min	400
30 dnů	30
rok	10
5 roků	2

Mezi štěpnými produkty jaderného výbuchu a štěpnými produkty z jaderného reaktoru je rozdíl v rychlosti poklesu jejich celkové radioaktivity (tj. mají delší poločas rozpadu) v důsledku přítomnosti jiných štěpných produktů.

Z **obr.** je patrné, že celková úroveň radioaktivity štěpných produktů jaderného výbuchu o mohutnosti 100 kt a produktů z jaderného reaktoru o výkonu 1 GW po odstavení je za 12 hodin totožná. Po jednom roce je úroveň radioaktivity štěpných produktů jaderného výbuchu dvakrát nižší než štěpných produktů u odstaveného jaderného reaktoru.

Při havárii tohoto reaktoru nebo jeho zničení konvenčními zbraněmi v porovnání s pozemním jaderným výbuchem, nedochází k výbuchu jaderného reaktoru, uvolňuje však energii jaderným štěpením. Dokonce i za nejnepríznivějších podmínek je rychlost jejího uvolňování přibližně 10 až 100krát menší než při výbuchu štěpné jaderné nálože. Na druhé straně úroveň radioaktivity, která vzniká při výbuchu jaderné nálože, je dosaženo do značné míry izotopy, jež mají poločas rozpadu menší než úroveň radioaktivity vznikající po havárii (násilném poškození) jaderného reaktoru, který způsobuje v jeho okolí poměrně malé štěpné záření. Plynné a pevné částice z reaktoru unikají vertikálním směrem a ve srovnání s pozemním jaderným výbuchem nedosahují větších výšek. Rovněž množství radioaktivních látek uniklých z reaktoru je menší. Tyto látky



vynesené do ovzduší z poškozeného reaktoru klesají poměrně rychle na zem. Proto zamoření je mnohem menší než u pozemního jaderného výbuchu, kdy radioaktivní mrak vystoupá do větších výšek, což má vliv na velikost zamoření.

V důsledku poměrně pomalého úniku a nárůstu radioaktivity, tím i plochy radioaktivního zamoření, lze po havárii jaderného reaktoru určitý čas evakuovat z jeho okolí a pásma ohrožení obyvatelstvo, domácí zvířata a přijmout nezbytná opatření k ochraně pitné vody, potravin, skladů apod., a to dříve než by začaly působit vypadlé radioaktivní částice. Radioaktivní spad pro živý organismus, potravinu, ale i pro rostlinnou produkci, vodu, biosféru a pro životní prostředí, včetně vnitřní kontaminace, představují vážné nebezpečí. To potvrzují některé poznatky z havárie jaderného reaktoru v Černobylu. Je známo, že 26. dubna 1986 v černobylské jaderné elektrárně došlo k havárii jednoho ze čtyř reaktorů; její průběh popsal náměstek předsedy Státního výboru pro použití jaderné energie SSSR B. Semjonov. Ve čtvrtém reaktoru v době, kdy byl odstavován k pravidelné údržbě a pracoval na 7 % normálního výkonu, došlo k nahromadění velkého množství energie. Chladicí vodní systém reaktoru selhal a vzniklá pára, jež byla pod značným tlakem, prorazila ochranný plášť. V důsledku přítomnosti kyslíku a reakce se zirkonovými trubkami vznikl vodík, který pod vysokým tlakem způsobil výbuch. Vrchní část reaktoru byla zničena a štěpné produkty létaly do výše až 1000 m.

V důsledku toho byla okolo epicentra výbuchu vymezena bezpečnostní zóna v okruhu asi 10 km a později 30 km. Radiace tam dosáhla vrcholu 27. dubna 1986. Z prostoru bylo evakuováno obyvatelstvo spolu s domácím zvířectvem a technickými zařízeními. Pravidelně byl kontrolován stav půdy, vody a potravin. V oblasti působilo 1300 lékařů, zdravotnických sester, laborantů a dozimetristů. První část evakuace obyvatelstva byla zahájena 27. 4. 1986 v odpoledních hodinách. V prvním pořadí bylo vystěhováno obyvatelstvo z pásma do 10 km od elektrárny, včetně města Pripjat. Počet evakuovaných dosáhl přibližně 42 000 obyvatel. Po rozšíření pásma na 30 km byl tento počet zvětšen na více než 100 000 osob. V uvedeném pásmu zůstávali pracovníci, kteří se podíleli na odstraňování následků, zdravotnické a řídicí orgány. Obyvatelstvo bylo evakuováno do 4 okresů. Ke splnění tohoto úkolu bylo využito 1100 autobusů a jeho realizace byla uskutečněna během krátké doby. Současně bylo odsunuto 18 000 kusů skotu.

V ohroženém prostoru bylo ihned lékařsky vyšetřeno kolem 100 000 osob a ve městě Kyjev se preventivního vyšetření zúčastnilo 20 000 osob různých profesí. V pásmu evakuace byly lidem vydány jódomové tablety.

Zádná epidemie v minulosti neznamenalala pro obyvatelstvo tak rychlé a zvyšující se nebezpečí a její vyřešení si nevyžádalo přesun tak obrovského počtu obyvatel jako černobylská havárie. Čtyřicet tisíc obyvatel Pripjati nemělo mnoho času na přípravu. Brali si s sebou jen nejn nutnější a mnozí ani to ne, protože byli přesvědčeni, že se co nevidět zase vrátí.

V září loňského roku se situace v pásmu zvýšeného nebezpečí natolik zlepšila, že si obyvatelé mohli své věci odstěhovat do nových domovů.

Jedním bodem jednání na konferenci o bezpečnosti jaderných zařízení (v srpnu roku 1986 ve Vídni) byla i otázka návratu evakuovaného obyvatelstva. Sovětská odborníci návrat obyvatel do 30kilometrové zóny v okruhu Černobylu nepřipouštějí. Pracují na podrobné studii o radiační situaci v této oblasti. Sovětské experti uvedli, že celkové množství cesia 137, které vypadlo na Bělorusko a Ukrajinu, se rovná desetině celkového množství uvolněného při výbuchu a bude pro obyvatele znamenat nebezpečí ještě dalších 70 let. V ostatních oblastech může obyvatelstvo normálně konzumovat mléko a zeleninu.

Pro příznaky ozáření bylo postupně vyšetřeno zhruba 220 000 osob. Havárie si podle údajů z 6. června 1986 vyžádala 26 lidských životů, přičemž bezprostředně po výbuchu zemřeli pouze 2 muži (jeden následkem popálenin, pokrývajících 80 % jeho těla, a druhý byl zabit padajícími předměty). R. Gale (americký odborník na transplantace kostní dřeně), který byl s dalšími vědci vyslán do Sovětského svazu, nepředpokládal, že by počet obětí byl vyšší než 30 osob. Podle jeho odhadu bylo po havárii bezprostředně vystaveno ozáření asi 100 000 lidí. Jejich zdravotní stav bude v následujících letech pravidelně kontrolován.

Přesnou dávku ozáření jednotlivých osob bezprostředně po havárii nebylo možné zjistit, avšak asi 1000 osob bylo vyšetřeno pro podezření z vyššího stupně. Většina z nich není bezprostředně ohrožena. Radiaci do výše 1 Gy (gray) bylo vystaveno přibližně 200 osob a do výše 3 Gy přes 100 postižených. Počet těch, kteří byli ozáření dávkou přes 5 Gy, je podle dostupných údajů nižší než 50.

Odborníci se postupně soustředili na ty pacienty, kteří byli vystaveni vyšším dávkám ozáření. Mnozí z nich utrpěli i jiné druhy poranění, způsobené zejména popálením a inhalací radioaktivních látek. To znamená, že vnitřní kontaminace pro osoby představuje nebezpečí, kterému je nutné v budoucnu věnovat pozornost, možná i změnit názory na nebezpečí tohoto zamoření.

Postižení, kteří byli vystaveni nejvyšším dávkám ozáření (vyšší než 5 Gy), byli podrobeni transplantacím kostní dřeně. Tato metoda je považována za nejúčinnější způsob, jak zachránit postižené. Předpoklad úspěšnosti zákroku byl 25 % vzhledem k poškození jiných orgánů.

Na videňském jednání byla projednána i otázka ochrany lidského organismu proti radioaktivnímu záření. Odborníci považují transplantace kostní dřeně jako jednu z forem ochrany s rizikovou metodou, použitelnou jen v určitých případech. Při vysokých dávkách ozáření, které způsobují smrt, je transplantace bezpodmínečně nutná. Proto je třeba podle názorů odborníků v budoucnu počítat s jinými formami léčby. Pokud jde o oběti jaderného ozáření, jsou podle „Výběru vědeckých zdravotnických informací“ č. 10/1986 krevní transfúze daleko účinnější než transplantace kostní dřeně.

Jak jsem již uvedl, v následujících letech bude sledován zdravotní stav určeného okruhu osob. Jen málo z nich bude pravděpodobně trpět ozářením. Ale jak potvrzují zkušenosti z Hirošimy, může dojít (podle odhadu odborníků) ke zvýšení výskytu nádorových onemocnění. Konkrétně jde zejména o karcinom kostí, jater a plic, ale rovněž i o leukémii.

Ministerstvo zdravotnictví Ukrajinské SSR založilo centrální banku zdravotnických informací o osobách, které byly při havárii jaderného reaktoru vystaveny dávkám radioaktivního záření. Banka informací je součástí rozsáhlého programu lékařské péče o občany, jež žijí v Kyjevské, Gomelské a Žitomířské oblasti. Kromě toho rozhodlo organizovat v příštích letech pravidelné povinné lékařské prohlídky všech osob, které bydlí v blízkém i vzdálenějším okolí elektrárny.

Terén zamořený radioaktivními látkami ať po havárii jaderného reaktoru, nebo po pozemním jaderném výbuchu, lze za určitých předpokladů dezaktivovat, vytváří však velmi složitou situaci nejen pro živou sílu, hospodářská zvířata, ale i pro rostlinnou zemědělskou produkci. Z toho důvodu je nutné v co nejkratší době uskutečňovat ochranná opatření a dezaktivaci komunikací a v dalším období i dezaktivaci zamořeného prostoru, a to dříve než déšť splaví nebo vítr roznese radioaktivní částice do okolí k vodním plochám, nebo než se radioaktivní látky vsáknou do půdy apod.

V Černobylu se na dezaktivaci rozhodující mírou podílejí příslušníci Sovětské armády. To si vyžádalo a v budoucnosti ještě vyžádá mnoho sil a prostředků. Dezaktivace je vykonávána metodou pokrývání půdy speciálním dezaktivacím povlakem, který pevně přilne na povrch půdy nebo vodní hladinu, čímž zamezí pronikání radioaktivního prachu (denně bylo pokrýváno až 300 000 m²). Kromě této metody je použita i forma seřiznutí zeminy. Shrnutá zemina, prach, voda atd. byly dokonale jištěny, aby nedocházelo k zamoření spodních vod nebo odplavování radioaktivity do okolí. V tomto směru byl rozsah prací náročný na čas, techniku i prostor. Zkušenosti z Černobylu svědčí o tom, že dezaktivací byla podstatně snížena úroveň radiace a tím i zmenšeno nebezpečí ozáření a vnitřní kontaminace živé síly.

V této situaci se z hlediska radiační hygieny a ekologických hledisek nabízí otázka, zda metoda dezaktivace techniky a speciální očištění osob by byla prováděna správným způsobem v porovnání se zkušenostmi z Černobylu. Zvláště jde o uchování nezamořeného prostředí a docílení efektu speciální očištění a dezaktivace. Jsem toho názoru, že větší pozornost bude nutné věnovat vnitřní kontaminaci, protože lékaři zjistili, že množství radiace pohlcované pokožkou, je značné. Dále bude zapotřebí včas řešit otázku monitorování radiační situace, organizaci systému varování a činnosti jednotek (útvarů) pro případ situace, která by vznikla po havárii.

V průběhu května byla úroveň radiace taková, že její stav umožňoval začít s rozsáhlou dezaktivací objektů elektrárny a jejího okolí, ve kterém byla povrchová vrstva zamořené půdy odříznutá. Bylo rozhodnuto havarovaný reaktor „utopit“ v betonu. K jeho zaspání bylo využito olověné drtě, hlíny, boru, písku a dalších látek, které pohlcují (fixují) záření. Na reaktor bylo svrženo 5000 tun materiálu pomocí vrtulníků Mi-8, jež první den uskutečnily 93 letů a druhý dvojnásobný počet. Pod havarovaným reaktorem je vytvářeno betonové zesílení k jeho izolaci od země. Po zaspání a zabetonování reaktoru klesla radioaktivita v pásmu 3 km.

Myslím, že když bude jaderný reaktor zasažen konvenčními zbraněmi, pak účinek zamoření bude zřejmě menší, než po jeho zasažení jadernou náloží střední ráže, kdy se pravděpodobně aktivní obsah reaktoru při výbuchu úplně vypaří a spojí se s produkty radioaktivity, které vznikly při jaderném výbuchu, a spolu s nimi se zvedne do výšky. Směsí radioaktivních částic spadnou postupně v závislosti na jejich velikosti na zemský povrch.

Vzhledem k tomu, že množství uvolněných materiálů z jaderného reaktoru je podstatně menší než při pozemním jaderném výbuchu, dynamika zamoření okolního prostoru se v prvním týdnu nebude příliš lišit od zamoření výbuchu jaderné náplně. Rozdíl bude pouze v tom, že radioaktivní látky z reaktoru mohou mít poločas rozpadu delší a tím se i doba radioaktivního zamoření prodlouží.

V obou případech vzniku zamoření terénu půjde o radioaktivní látky, které svými účinky budou mít vliv a dopad na živý organismus, biosféru a životní prostředí.

Účinek záření od radioaktivních částic reaktoru je stejný, jako od radioaktivních látek po pozemním jaderném výbuchu a bude způsobovat nemoc z ozáření. Její průběh při ozáření radioaktivními látkami z reaktoru a po pozemním jaderném výbuchu bude přibližně totožný, a proto i léčebný postup bude obdobný. Možný vliv časového faktoru na následky celotělového záření — viz **tabulku 2**.

Tabulka 2

Dávka rem	Doba expozice							
	3 dny		7 dnů		4 týdny		3 měsíce	
	nemoc [%]	úmrtí [%]	nemoc [%]	úmrtí [%]	nemoc [%]	úmrtí [%]	nemoc [%]	úmrtí [%]
0-100	-	-	-	-	-	-	-	-
125	7	-	-	-	-	-	-	-
150	10	-	2	-	-	-	-	-
200	25	-	15	-	2	-	-	-
300	60	3	40	-	15	-	-	-
400	100	25	90	15	50	-	3	-



Článek měl za cíl informovat čtenáře o nebezpečnosti radioaktivního zamoření po pozemních jaderných úderech, odpálení jaderných min nepřitelem a po havárii jaderného reaktoru v míru.

V souvislosti s tím chci upozornit na důležitost návrhu s. Gorbačova na vytvoření mezinárodního režimu zaručeného rozvoje jaderné energetiky, ale i bezpečnosti. Ze zprávy o příčinách havárie v Černobylu a ze situace po obdobných nehodách, ke kterým došlo v USA, Anglii, NSR, Francii atd. je možné učinit závěr, že:

- ve světě nejsou rozpracovány potřebné postupy (ve světovém nebo kontinentálním měřítku) jak se chovat a jednat při havárii jaderného reaktoru,
- v takových případech je nutná mezinárodní kooperace, vzájemná výpomoc a že jsou potřebné dvoustranné dohody,
- je účelné vytvořit mezinárodní speciální dozimetrickou, varovací síť k získání informací a zabezpečení objektivitu,
- je zapotřebí podrobně a konkrétně rozpracovat příslušné řady a směrnice, včetně havarijních opatření, která materiálně všestranně zajistit a aplikovat na podmínky ČSLA z hlediska zabezpečení její bojeschopnosti.