

OCHRANA OSOB A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ V PŘÍPADĚ POTENCIÁLNÍHO ZNEUŽITÍ RADIONUKLIDŮ POUŽÍVANÝCH V MEDICÍNĚ

**Ing. Jana Hudzietzová¹, doc. Ing. Jozef Sabol, DrSc.^{1,2},
prof. Ing. Bedřich Šesták, DrSc.²**

ABSTRAKT

Referát se zabývá některými otázkami souvisejícími s případným zneužitím zdrojů ionizujícího záření používaných v medicíně a jejími dopady na zdraví ozářených osob i na okolní životní prostředí. Jsou uvedeny parametry typických radionuklidů, které pro radiologický útok přichází v úvahu. Rovněž jsou diskutována opatření směřující k prevenci radiologického útoku a minimalizaci jeho důsledků z hlediska ozáření osob.

Klíčová slova:

Radionuklid, radiologický terorismus, radiační ochrana, ochrana osob

ABSTRACT

The paper addresses some issues related to the misuse of ionizing radiation sources used in medicine and its impact on the health of exposed persons and the surrounding environment. The parameters of typical radionuclides which may be considered for radiological attack are debated. They are also discussed measures to prevent radiological attacks and minimize its consequences in terms of exposure of individuals.

Key words:

Radionuclide, radiological terrorism, radiation protection, personal protection

¹Fakulta biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze, Nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno, hudzietzova@gmail.com, j.sabol44@gmail.com

²Policejní akademie ČR v Praze, Lhotecká 555, 140 00 Praha 4, j.sabol44@gmail.com, sestakb@polac.cz

1 RADIONUKLIDY V MEDICÍNĚ

Jak známo, radionuklid je definován jako druh atomu, který má stejný počet protonů, stejný počet neutronů, shodný energetický stav a rovněž podléhá samovolné změně ve složení nebo stavu atomových jader. Radionuklidy mohou být použity v široké škále vědních oborů, techniky, průmyslu, ale i v medicíně, kde se s nimi setkáváme ve formě, která je uměle vyrobena člověkem (výroba izotopů na základě ozařování vhodných výchozích nuklidů v reaktoru nebo na urychlovačích, příprava radionuklidů v radionuklidovém generátoru).

Mezi medicínské obory, kde se radionuklidy využívají ve větší míře, patří radioterapie či nukleární medicína. V radioterapii se pro účely brachyterapie (ozařování cílového objemu z velmi krátké vzdálenosti) v dnešní době hojně využívá ^{192}Ir , ^{125}I , ^{198}Au , ^{103}Pd , naopak pro teleterapii (ozařování cílového objemu z větší vzdálenosti, 35 cm - 1 m) slouží radionuklidy ^{137}Cs či ^{60}Co . V nukleární medicíně se můžeme běžně setkat s radionuklidy jako je $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{32}P , ^{67}Ga , ^{81}Kr , ^{90}Sr , ^{90}Y , ^{111}In , ^{123}I , ^{131}I nebo ^{201}Tl . V případě pozitronové emisní tomografie (PET) je nejčastějším zástupcem ^{18}F . Parametry některých výše zmíněných radionuklidů shrnuje tab. 1.

Tab. 1: Nejčastěji používané radionuklidy v medicíně a jejich vlastnosti

Radionuklid	Poločas rozpadu	Způsob rozpadu	Typ záření
^{192}Ir	72,4 dne	β^- , EC	Beta, gama
^{125}I	60 dní	EC	Gama
^{137}Cs	30 let	β^-	Beta, gama
^{60}Co	5,26 let	β^-	Beta, gama
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6,02 hod	IT	Beta, gama
^{32}P	14,3 dne	β^-	Beta
^{81}Kr	13 s	IT	Gama
^{90}Sr	28 let	β^-	Beta
^{90}Y	64 hod	β^-	Beta
^{111}In	2,8 dne	EC	Gama
^{123}I	13,2 hod	EC	Gama
^{131}I	8,04 dne	β^-	Beta, gama
^{18}F	110 min	β^+ , EC	Anihilační

Poznámka: EC – Electron Capture (elektronový záchyt), IT - Internal Conversion (vnitřní konverze)

Pro teroristické účely by potenciálně připadaly v úvahu zejména silné uzavřené zářiče, které se používají v radioterapii (^{137}Cs , ^{192}Ir či ^{60}Co), nebo by bylo možné do určité míry zneužít i otevřené radionuklidy, s nimiž přicházíme do styku na oddělení nukleární medicíny při terapii či paliaci (vhodný je zejména ^{131}I užívaný pro léčbu štítné žlázy). Tyto zmíněné radionuklidy by případně mohly být využity pro konstrukci standardní radiologické zbraně (silný zářič emitující pronikavé ionizující záření v místě, kde se nachází velký počet lidí) nebo radiologické disperzní zbraně, tzv. „špinavé bomby“ [1]. V současné době se stále ještě vychází z předpokladu, že

samotné jaderné zbraně jsou dostatečně zabezpečeny, tudíž by se k nim teroristé prozatím neměli dostat [2]. Je rovněž velmi nepravděpodobné, že by se mohla uskutečnit sabotážní akce na jaderná zařízení, kde je kvalifikace ostrahy na velmi vysoké úrovni. Proto jediné reálnější nebezpečí radiologického terorismu hrozí z použití silných radioaktivních zdrojů, jejichž největší uplatnění je právě v oblasti medicíny.

2 ZNEUŽITÍ RADIOAKTIVNÍCH ZDROJŮ PRO TERORISTICKÉ ÚČELY

Ke konstrukci radioaktivní zbraně může posloužit v zásadě buď uzavřený radioaktivní zdroj (URZ), nebo otevřený radioaktivní zářič. Uzavřené zářiče se mohou v podstatě nastrožit na vhodné místo tak, aby ozářily co nejvíce osob. Druhá možnost zneužití URZ spočívá v tom, že se potřebný zářič mechanicky nebo chemicky převede do vhodné formy, která následně během výbuch zajistí rozptýlení radioaktivního materiálu do okolí. Otevřené radioaktivní látky se mohou obvykle rozptýlit přímo bez předchozí úpravy.

Uzavřený zářič lze získat ze skladu nebo uložště radioaktivních odpadů, kde je zpravidla umístěn v ochranném kontejneru (obr.1a). Principiálně je možné odcizit silný gama zářič z radioterapeutického ozařovače. (obr. 1b) V druhém zmiňovaném případě jsou však problémy s demontáží a také s vysokými dávkami, které by mohly osoby během manipulace s tímto zdrojem záření obdržet. Prostory, kde se zdroje ionizujícího záření nachází, jsou označeny příslušnými varovnými symboly, které by však mohly upozornit teroristy na místo, kde jsou tyto zdroje k dispozici (obr. 1c a obr. 1d).



a



b



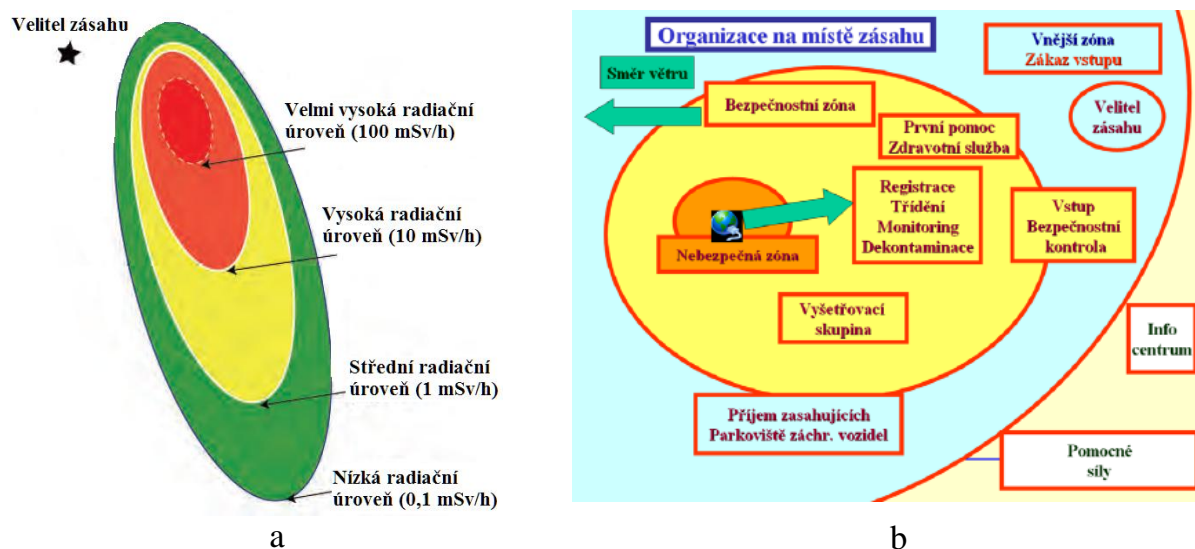
c



d

Obr. 1. Radioaktivní zářiče a příslušné varovné znaky, a) pohled na kontejner, v němž se přepravují silné radioaktivní zářiče gama, b) moderní provedení kobaltového radioterapeutického ozařovače UJP Praha, c) standardní varovný symbol, d) novější podoba varovného symbolu.

Po jakémkoli útoku radiologickou disperzní zbraní se vytvoří určité prostorové rozložení radiačních úrovní a také koncentrace radionuklidů ve vzduchu. Radiační úrovně od pronikavého záření se obvykle vyjadřují pomocí veličiny příkon dávkového ekvivalentu. Skutečné kontury této veličiny závisí v rozhodující míře na řadě faktorů, zejména na síle a směru větru, vlastnostech prachových částic a aerosolů, na nichž jsou zachyceny radioaktivní látky, charakteru terénu v daném místě včetně jeho reliéfu nebo na rozmístění budov či stromů v okolí výbuchu. Ideální průběh radiačních úrovní bez překážek (budovy, stromy, hory atd.) je ilustrován na obr. 1.



Obr. 2. Charakteristika rozložení a šíření radioaktivní kontaminace, která ovlivňuje radiační úroveň (a) a schéma organizace na místě zásahu (b).

Je třeba si uvědomit, že kromě zasahujících jednotek jsou i další osoby nacházející se v místě radiologického útoku, vystaveni působení vnějšího, ale i vnitřního ozáření, k němuž přispívají radionuklidy, které se inhalací či ingescí dostaly do organismu, kde ozařují jednotlivé tkáně a orgány zevnitř.

Zatímco proti vnějšímu ozáření využíváme známé metody ochrany (vzdálenost, stínění a čas), v případě vnitřní radioaktivní kontaminace je cílem snížit množství radioaktivních částic a aerosolů na minimum pomocí masky s vhodným filtrem. V nouzi lze použít i jakoukoli jinou ochrannou pomůcku, která může redukovat vniknutí radioaktivních látek dýchacími cestami do plic.

O tom, jaké by mělo následky teroristické zneužití radioaktivního zářiče jako je ^{137}Cs , si lze docela dobře představit na základě analýzy radiační havárie v Goianie v Brazílii v roce 1987 [3]. V důsledku nehody v Goianii zemřeli 4 lidé a dalších 249 osob bylo ozářeno. Monitorováno bylo 112 tis. osob, letecky bylo zmapováno 67 km^2 území, 159 domů bylo proměřeno, přičemž 42 z nich bylo dekontaminováno, příp. zbouráno. 35 tis. m^3 zeminy a dalších materiálů bylo kontaminováno, kde 3 000 m^3 z nich muselo být uloženo na 300 let jako radioaktivní odpad.

Rozbory a analýzy dosavadních radiačních nehod a potenciálních hrozeb teroristických útoků ukazují na to, že cílem radiologického terorismu pravděpodobně nebude způsobit vysoký počet obětí v důsledku ozáření, ale že jeho hlavním účelem bude vyvolat vážné ekonomické a psychologické škody (nerealistické hodnocení rizik

ozáření), čerpání technických a personálních zdrojů resp. kapacit záchranných systémů, vysoké náklady na dekontaminaci a to i v případě, že kontaminace zamořeného terénu či okolních budov nemusí být vždy významná. V takových situacích se ovšem projeví tlak ze strany médií, který podnítl okolní obyvatelstvo k akcím, které se mohou nakonec ukázat jako nerealistické a značně nákladné. Takové okolnosti rozhodně nepřispívají ke klidu ani na politické scéně.

4 PREVENCE RADIOLOGICKÉHO ÚTOKU A MINIMALIZACI JEHO DŮSLEDKŮ

Boj proti "špinavé bombě" se musí soustředit především na prevenci, neboť po případné explozi dojde k výše uvedeným negativním účinkům vyžadujícím nasazení značného a nákladného počtu jednotek i techniky na dekontaminaci. Pro případný útok je však zapotřebí vycvičit a proškolit příslušné armádní i civilní složky, ale také obyvatele alespoň v základních rysech, jak se za dané situace zachovat. Mimořádně důležité je zabránit panice, která může mít za určitých okolností tragičtější dopady než účinky samotné „špinavé bomby“.

Za účinnou prevencí se proti možnému zneužití radioaktivních zářičů považuje především jejich důsledná kontrola včetně zamezení jejich ilegální přepravy [4, 5].

Preventivní mezinárodní politika proti zneužití "špinavé bomby" je soustředěna hlavně na politiku proti proliferaci a boji proti terorismu. Zřejmě stále nejpodstatnějším úkolem je zabezpečit sklady jaderného i radioaktivního materiálu v postsovětském prostoru a snažit se vypátrat, kam směřoval materiál z dosavadních krádeží. Část materiálů vhodných pro výrobu "špinavé bomby" je však k dispozici v řadě běžných průmyslových či lékařských zařízení nebo na skládkách (např. kobalt).

Pomocí experimentů a výpočtů bylo ve světě, ale i ČR, vypracováno několik případů, které demonstrují situace po vzniku mimořádné radiologické události (MRU), které jsou ovšem do značné míry ovlivněny i přírodními vlivy v době rozptýlu (děšť, sníh, vítr, geomorfologické rozložení oblasti atd.). Také Mezinárodní agentura pro atomovou energii (MAAE) se rovněž zabývala touto problematikou týkající se postupů při vzniku MRU [6]. Její doporučení se následně promítla i do doporučení používaných v ČR, zejména pro činnosti integrovaného záchranného systému (IZS), kde je velice důležité stanovení priorit v řetězci efektivní ochrany osob, identifikaci, regulace pohybu, monitoringu, dekontaminaci, zabránění „roznesení“ kontaminace z místa nehody, připravenost a vybavení lokálních zdravotnických pracovišť na příjem kontaminovaných osob [7].

Pro minimalizaci MRU je rovněž žádoucí harmonizovaná spolupráce a koordinace jednotlivých zasahujících složek, neboť při dodržování základních zásad radiační ochrany a jejich opatření nemusí být činnosti v blízkosti vysoce aktivního uzavřeného ZIZ po omezenou dobu nebezpečné, což platí jak pro příslušníky hasičského záchranného sboru (HZS), tak pro zdravotnický personál poskytující první pomoc a zajišťující transport zraněných z místa RMU, ale rovněž i pro policisty vyšetřující danou RMU a osoby provádějící radiační monitoring [7].

V posledních letech byla zpracována řada nových, inovovaných dokumentů (jmenovitě MAAE, MKRO a EU), které se zabývají problematikou reakce na radiologický teroristický útok.

5 ZÁVĚR

Nebezpečí radiologického terorismu představuje stále určitou potenciální hrozbu a je třeba proti němu vyvinout úsilí nejenom v rámci jednotlivých zemí, ale i v mezinárodním měřítku, kde se efektivně projeví koordinovaný postup mezinárodního společenství. Z dosavadních znalostí a experimentálně získaných dat týkajících se radiačních událostí spojených s použitím silných lékařských radioaktivních zářičů, se předpokládá, že zdravotní riziko v důsledku účinků ionizujícího záření na zasahující jednotky, jakož i obyvatelstvo budou menší, než se dosud všeobecně předpokládalo. Riziko se dá omezit na přijatelnou mez respektováním zásad radiační ochrany a především využitím vhodných způsobů ochrany před vnějším zářením i vnitřní kontaminací.

Z hlediska prevence je důležité, aby všechny významnější radioaktivní zářiče byly pod důslednou kontrolou příslušných dozorných orgánů. Přitom je nutné věnovat zvláštní péči importu a exportu radioaktivních zdrojů, jejich likvidaci po ukončení pracovního cyklu či přepravě radioaktivních materiálů. V případě závažnější radiační havárie je hlavním cílem minimalizace dopadu této události na obyvatelstvo i životní prostředí.

LITERATURA

- [1] SABOL J., NAVRÁTIL, L., ŠESTÁK, B., HUDZIETZOVÁ, J.: *Evropská unie a radiologický terorismus*. 17. Mezinárodní vědecká konference „Riešenie krízových situácií v špecifickom prostredí“, FŠI ŽU, Žilina, 30. – 31. 5. 2012.
- [2] BÍLKOVÁ, V.: *Jaderný a radiologický terorismus a mezinárodněprávní úprava ochrany proti němu* [online]. Praha, 2005, roč. 40, č. 4 [cit. 2013-04-20]. ISSN 0323-1844. Dostupný z: <http://www.mezinarodnivztahy.com/article/view/179>
- [3] JOHNSTON, R. *Database of Radiological Incidents and Related Events* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupný z <<http://johnstonsarchive.net/nuclear/radevents>>
- [4] STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Vyhláška o radiační ochraně* [online]. Praha, 2002; http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/v307_02.pdf (20.4.2013).
- [5] STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Atomový zákon*. Praha, 1997.
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Manual for First Responders to a Radiological Emergency*. Vienna, 2006. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/epr_Firstresponder_web.pdf (20.4.2013).
- [7] PROUZA, Z. a kol.: *Radiologický terorismus z pohledu zajištění požadavků radiační ochrany*. www.hzscr.cz/.../03-radiologicky-terorismus-z-pohledu-zajisteni-pozadavku-radiacni-ochrany-pdf.aspx (20.4.2013).

Referát byl připraven za částečné podpory poskytnuté v rámci projektů OPVK CZ.1.07/2.3.00/35.0046 (Ochrana obyvatelstva) a CZ.1.07/2.2.00/28.0219 (Inovace).

Článek recenzovali dva nezávislí recenzenti.