ŠPINAVÁ BOMBA

Dirty bomb

8: 1 - 200, 2006
ISSN 1212-4117

Jaroslava Kaňková

Jihočeská univerzita České Budějovice, Zdravotně sociální fakulta, katedra radiologie a toxikologie

Summary

The dirty bomb is not a nuclear weapon, but a conventional bomb with explosive filling comprising radioactive material. It does not exert the destructive power of nuclear bombs and its explosion is not the case of a nuclear explosion. Dirty bombs can contain radioactive materials as e.g. ^{137}Cs or other radionuclides. This bomb can spread radioactive material on large areas, thus causing external and internal contamination of persons, which may be even fatal.

Key words: Dirty bomb – radioactivity – danger – terrorism

Souhrn

Špinavá bomba není jaderná zbraň, ale konvenční bomba s explozivní náplní obsahující radioaktivní materiál. Nemá destruktivní sílu jaderné pumy a při jejím výbuchu se nejedná o jadernou explozi. Špinavé bomby mohou obsahovat radioaktivní materiály jako např. cesium ($\text{Cs}137$) nebo jiné radioaktivní prvky. Taková bomba může rozptýlit radioaktivní materiál na velké ploše a způsobit tak zevní a vnitřní kontaminaci osob, která může mít fatální průběh.

Klíčová slova: špinavá bomba – radioaktivita – nebezpečí – terorismus

ÚVOD

V dnešní době jsou radiační zbraně velkým rizikem pro civilní obyvatelstvo. Teroristické skupiny je mohou zneužít pro svůj útok, je to pro ně levný a konstrukčně jednoduchý prostředek (Dalton, 2002; Zink, 2003). Doposud bylo vynaloženo mnoho prostředků na to, aby se teroristé nemohli zmocnit nukleární zbraně, a poněkud byla opomíjena závažnost útoku tzv. špinavou bombou (Bunn, Braun, 2003). Nejedná se o žádnou vědeckou novinku, protože úvahy o jejím využití se objevují již od počátku jaderného věku. Na druhou stranu někteří odborníci varují před přehnanou panikou a odůvodňují to tím, že existence reálné hrozby pomocí těchto zbraní nebyla dosud prokázána (Ring, 2004). Kdo tedy má pravdu? Tento článek je určen všem, kdo se chtějí poučit o tom, co je „špinavá bomba“ a dozvědět se něco o možnostech jejího zneužití.

CO VLASTNĚ JE ŠPINAVÁ BOMBA?

Špinavou bombou se myslí určité množství méněcenného radioaktivního materiálu smíchaného s konvenční průmyslovou trhavinou (Willis, Coleman, 2003). Radiologické zbraně se zařazují mezi zbraně hromadného ničení, do podskupiny jaderných zbraní. Ačkoliv název „špinavá bomba“ im-

plikuje výbuch, nelze tuto zbraň řadit do skupiny výbušných jaderných zbraní (tam patří: atomové, vodíkové – termonukleární a neutronové bomby). Špinavá bomba využívá nálože s konvenční náplní (např. trinitrotoluenem) k rozptýlení radioaktivních materiálů a ve srovnání s výbušnými jadernými zbraněmi je její bezprostřední ničivý účinek zanedbatelný (Levi, Kelly, 2002). Při jejím odpálení tedy nedochází k žádnému obrovskému výbuchu. Její princip tkví v zamoření prostoru exploze a vzniku radioaktivního mraku, který se rychle šíří v závislosti na síle větru, přičemž následný spad radioaktivních částic zamořuje další a další území (Fox, Medina, 2005). To se pak vzhledem k nemocem z ozáření a dlouhodobě vzniku rakoviny stává nebezpečným pro další pobyt v něm. Zamořenou oblast je pak nutné dekontaminovat, a to je velmi složité (Elcock et al., 2004). Radiologický spad se totiž dokáže dobře vázat s půdou či dokonce s betonem. Asi jedinou efektivní metodou by bylo danou oblast opustit nebo zbourat, vybagrovat půdu do hloubky 0,5 m a veškerou suť odvézt a zakonzervovat jako radiologický materiál. Ztráty na životech by byly nízké, ale totéž nelze říct o škodách materiálních a ekonomických, nehledě na paniku, kterou by takovýto úder vyvolal.

JAKÝ ÚČINEK MÁ ŠPINAVÁ BOMBA?

Účinek špinavé bomby (kromě psychologických aspektů) spočívá v zamoření určitého území radioaktivním zářením, přičemž nejčastěji diskutovanými materiály k tomu účelu jsou gama záření produkující ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir nebo částice alfa vysílající ^{241}Am a ^{238}Pu (Van Moore, 2004). V úvahu přichází i ^{90}Sr (Reshetin, 2005). Nejdůležitější pro výrazný efekt této bomby je vytvoření technického zařízení, schopného vytvořit radioaktivní mrak distribuující záření na širokém prostoru (Sohier, Hardeman, 2006). Nejvhodnější je aerosol. V období studené války se při ověřování možnosti výroby „špinavých bomb“ používaly zředěné roztoky radioaktivních látek. Nejčastěji byly zkoušeny umělé radioaktivní izotopy, které se získávaly v atomovém reaktoru ozářením určitých stálých prvků. Dnešní teroristé se snaží buď tyto materiály získat v již existující podobě (především ze zdrojů nacházejících se na území bývalého Sovětského svazu), anebo se je snaží vyrábět (Ring, 2004; Karam, 2005).

NĚKTERÉ RADIOAKTIVNÍ PRVKY POUŽITELNÉ K VÝROBĚ ŠPINAVÉ BOMBY

Plutonium (Pu)

Plutonium je těžký, silně radioaktivní a toxický kov, uměle vytvořený chemický prvek, který se v přírodě nevyskytuje. Získává se z vyhořelého jaderného paliva, ve kterém vzniká radioaktivní přeměnou z přírodního uranu. Plutonium se využívá k výrobě atomové bomby nebo ho lze využít k výrobě jaderného paliva pro zvláštní druh jaderného reaktoru.

Americium (Am)

Americium je uměle připravený kovový prvek ze skupiny transuranů. Americium bylo poprvé vyrobeno v roce 1944. Vyrobila ho skupina vědců v čele s Glennem T. Seaborgem. Nově vzniklý prvek byl pojmenován po světadílu, na kterém vznikl. Americium vzniká při ozařování plutonia 239 neutrony. Je to stříbřitě bílý kujný kov a tvoří několik izotopů. Všechny jeho izotopy jsou radioaktivní. Nejstálejším z nich je ^{243}Am s poločasem přeměny 7000 let. Jedná se o nebezpečný prvek, protože je vysoce radioaktivní a může se hromadit v oční tkáni. Používá se jako složka přesných měřících přístrojů, jako složka detektorů kouře a v lékařství se využívá při léčbě nádorů štítné žlázy.

Cesium (Cs)

Cesium patří mezi alkalické kovy, vyznačuje se velkou reaktivitou a mimořádně nízkým redox-

potenciálem. Je to měkký, lehký a stříbrolesklý kov, který mimořádně rychle reaguje s kyslíkem i vodou, a v přírodě se s ním proto setkáváme pouze ve formě sloučenin. Elementární kovové cesium lze dlouhodobě uchovávat pod vrstvou alifatických uhlovodíků (petrolej nebo nafta), se kterými nereaguje. Soli cesia barví plamen fialově. Objevili ho roku 1860 německý chemik Robert W. Bunsen a německý fyzik Gustav R. Kirchhoff za použití jimi objevené spektrální analýzy. Díky jeho velké reaktivitě se v přírodě setkáváme pouze se sloučeninami cesia, a to pouze v mocnoství Cs^+ . Cesium se vyskytuje pouze vzácně jak na Zemi, tak i ve vesmíru. Elementární cesium se vyrábí elektrolýzou roztaveného chloridu cesného (CsCl) na železné anodě. Na grafitové katodě přitom vzniká plynný chlor. Vzhledem ke své mimořádné nestálosti a reaktivitě má kovové cesium jen minimální praktické využití. Jeho nízký ionizační potenciál dává možnost jeho uplatnění ve fotočlancích, sloužících pro přímou přeměnu světelné energie v elektrickou. Zároveň je proto perspektivním médiem pro iontové motory jako pohonné jednotky kosmických plavidel. Při výrobě katodových trubic, pracujících s nízkotlakou náplní inertního plynu, se cesia používá jako getru, tj. látky sloužící k zachycení a odstranění posledních zbytků reaktivních přímíšených plynů.

Kobalt (Co)

Kobalt je namodralý, feromagnetický a tvrdý kov. Používá se v metalurgii pro zlepšování vlastností slitin při barvení skla a keramiky a důležitou roli hraje i v biologii. Objevil jej roku 1735 chemik George Brandt. Ozářením stabilního izotopu kobaltu ^{59}Co energetickými neutrony (např. v jaderném reaktoru) vzniká nestabilní ^{60}Co . Tento radioizotop se rozpadá s poločasem přibližně 5 let za uvolňování silného gama-záření. Protože ^{60}Co lze poměrně snadno připravit a manipulace s ním není obtížná, využívá se v medicíně jako zdroj gama-paprsků pro ozařování rakovinných nádorů a dalších tkání. Přístroj pro ozařování se nazývá kobaltové dělo a jeho podstatou je silná olověná ochranná schránka válcovitého tvaru, která propouští potřebné gama-záření pouze v úzkém paprsku určeným směrem. Izotop ^{60}Co je využíván i v defektoskopii pro vyhledávání vnitřních skrytých vad materiálů. Uvolněným zářením jsou prozařovány kovové součásti důležitých aparatur – zařízení pro jaderný průmysl, chemické reaktory pro vysoké tlaky, části kosmických raket apod. Citlivý detektor snímá množství gama paprsků, které materiálem projdou a výskyt vady (trhlina, chybného svaru) se projeví změnou intenzity měřeného záření. Ozařování gama-paprsky slouží

i k likvidaci hub, plísni a dřevokazného hmyzu v historicky cenných dřevěných předmětech, které není možno ošetřit klasickými chemickými přípravky kvůli zachování jejich vzhledu.

Stroncium (Sr)

Stroncium je poměrně měkký, lehký kov, který bouřlivě reaguje s kyslíkem i vodou, a proto se s ním v přírodě setkáváme pouze ve formě sloučenin. Reaktivita stroncia je tak vysoká, že může být dlouhodobě uchováváno pouze pod vrstvou alifatických uhlovodíků (petrolej, nafta) s nimiž nereaguje. Na vzduchu se okamžitě pokrývá vrstvou nažloutlého oxidu, práškové stroncium je na vzduchu schopno samovolného vznícení. Soli stroncia barví plamen karmínově červeně. Bylo objeveno roku 1790 Adairem Crawfordem. Čisté kovové stroncium poprvé izoloval sir Humphry Davy v roce 1808 pomocí elektrolýzy. Běžné izotopy stroncia se v živých organismech chovají podobně jako atomy vápníku a jsou tedy naprosto neškodné. Zdravotní rizika spojená se stronciem jsou spojena s radioaktivním izotopem ^{90}Sr , který vzniká při radioaktivním rozpadu uranu, tedy při výbuchu atomové bomby i v jaderných reaktorech. Izotop ^{90}Sr je poměrně silný beta zářič s poločasem rozpadu 29,1 let. Pokud se dostane do živého organismu, může se zabudovat do kostní tkáně a je potenciálním zdrojem vzniku rakovinného bujení. Při objektivním hodnocení jeho skutečné rizikovosti je nutno posoudit poměr výskytu uvedeného izotopu k ostatním podobným atomům (vápník, baryum, neškodné izotopy stroncia) a pravděpodobnost vyzáření beta částice (elektron) a následným spuštěním rakovinného bujení právě sledovaným izotopem ^{90}Sr .

Uran (U)

Uran je radioaktivní chemický prvek, kov a patří mezi aktinoidy. Prvek objevil v roce 1789 Martin Heinrich Klaproth, v čisté formě byl uran izolován 1841 Eugene-Melchior Peligotem.

Byl pojmenován podle tehdy nově objevené planety Uran, která byla pojmenována podle boha Urana v řecké mytologii. V roce 1896 zjistil Henri Becquerel, že uran je radioaktivní a – pokud nepočítáme objev rentgenových paprsků krátce předtím – vlastně tím radioaktivitu objevil. Pro účely jaderného průmyslu se začal uran využívat až během (resp. po) druhé světové válce.

První umělou jadernou řetězovou reakci spustil 2. prosince 1942 italský fyzik E. Fermi na hřišti Chicagské univerzity. Prostřednictvím jaderného reaktoru (FBR1) byl poprvé vyroben proud 20. prosince 1951, první jaderná elektrárna byla zprovozněna v roce 1954 v SSSR. V přírodě se

uran vyskytuje ve formě směsi izotopů označovaných jako ^{238}U (99,276 %) a ^{235}U (0,718 %) a jen ve velmi malé míře ^{234}U (0,004 %). Dnes se po tzv. obohacení uranu (zvýšení koncentrace izotopu ^{235}U) používá jako palivo v jaderných reaktorech nebo jako náplň jaderných bomb. Pro využití uranu jako jaderného paliva je nutné zvýšit koncentraci izotopu ^{235}U z 0,72 % většinou na 2–4 %. Pro použití v jaderné bombě je koncentraci třeba zvýšit na hodnotu okolo 50 %. Jako jaderné palivo se dá v tzv. těžkovodních reaktorech využít rovněž ^{238}U , je to však mnohem náročnější, proto se tato možnost zatím v praxi příliš nevyužívá. Nadkriticky štěpitelný je rovněž ^{234}U . Z izotopu ^{238}U se v rychlých množivých reaktorech dá vyrábět plutonium, jež také může sloužit jako jaderné palivo nebo náplň atomových bomb, tento postup se však zatím příliš nepoužívá. Jako odpad po obohacování uranu zbude tzv. ochuzený uran – ochuzený proto, že byl zbaven podstatné části izotopu ^{235}U . Ochuzený uran je pro svou vysokou hustotu využíván všude tam, kde je žádoucí vysoká hmotnost (vyvážení, nutnost dosáhnout vysoké kinetické energie při malém objemu).

Využívá se na výrobu protipancéřových projektilů (tzv. šípové, přesněji podkaliberní střely – průměr střely je menší než průměr hlavně, ze které je vystřelena). Působí zde sice především vysoká kinetická energie střely, účinek však zesiluje i to, že po průniku projektilu za pancíř se tlakem a třením rozžhavené částice uranu vznítí, což zvyšuje ničivý účinek uvnitř obrněného prostoru. K dosažení tohoto efektu se střela musí pohybovat rychlostí zvuku. Jako vedlejší produkt použití těchto střel může dojít k radioaktivnímu zamoření, míra jeho neškodnosti, nebo škodlivosti není dosud dořešena. Velkou roli přitom hraje sice nízká radioaktivita ochuzeného uranu, ale jeho velké rozptýlení v prostředí a možnost dostat se přímo do těla živých organismů (potravou, pitím nebo vdechnutím). Tyto střely byly použity spojenci v Iráku v roce 1992, v Kosovu v roce 1999 a pravděpodobně rovněž v Afghánistánu v roce 2001.

ÚČINKY ŠPINAVÉ BOMBY

Účinky závisí na druhu, době a intenzitě záření, a také na množství použitého materiálu. Dalšími faktory, které mají vliv na účinek špinavé bomby, jsou hustota obyvatelstva v oblasti nasazení, povětrnostní podmínky během a po výbuchu (děšť, směr a síla větru apod.) a také stavební materiály používané v oblasti – některé radioaktivní substance se chemicky spojují s materiály jako beton, sklo či asfalt. Největší škody by špinavá bomba udělala v městské zástavbě (Anderson, 2006).

Časopis Scientific American v listopadu 2002 uvažoval o následcích explozivního použití Cesia 137 s aktivitou $1,3 \times 10^{14}$ becquerelů (takový materiál, který by si teroristé mohli obstarat v bývalém SSSR) jihovýchodně od Manhattanu. Katastrofa by byla menší než v případě Černobylu, přesto by území 800 km² bylo zamořeno více, než připouštějí normy. Na území přibližně dvaceti ulic by obyvatelé byli po třicet let vystaveni zvýšenému riziku rakoviny. Areál asi 15 km² by musel být podle doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany (International Commission on Radiological Protection) evakuován. Dokonce i kdyby povolené standardy klesly na úroveň užívanou v okolí Černobylu, bylo by stále sto domovních bloků neobyvatelných. Materiální škody by dosahovaly miliard amerických dolarů, přičemž pro dekontaminaci takto velkého území v hustě obydleném městě by neexistoval precedens. Zkušenosti by mohly být čerpány pouze z relativně malých dekontaminací firemních prostor a ze studií prováděných v období studené války o následcích atomové války, případně ze soudobých cvičení armád a jednotek civilní ochrany.

Případné použití špinavé bomby může mít velký psychologický dopad s následnými zdravotními, ale i ekonomickými důsledky. Mezi zdravotní účinky špinavé bomby patří negativní účinky ionizujícího záření z použitého radioaktivního materiálu. Záření proniká do lidského těla a vyvolává genetické změny a rakovinu.

I v případě špinavé bomby s velmi nízkou úrovní uvolněné radioaktivity se očekává vysoká intenzita negativního psychologického dopadu, jelikož mezi lidmi existují velké obavy z ionizujícího záření.

MÁ NĚKDO ŠPINAVOU BOMBU?

Předpokládá se, že snadná příprava špinavé bomby a dostupnost radioaktivních materiálů, které by se daly využít, může lákat řadu teroristických seskupení k jejímu použití (Branscomb, 2004). Jednoznačné důkazy, že by některá teroristická skupina měla či má špinavou bombu, ale chybí.

Platí to i pro stále nejnebezpečnější islamistickou síť Al-Káida, které však začínají v rizikovitosti konkurovat i další organizace. V květnu 2002 byl v USA zadržen americký občan José Padilla, který konvertoval k islámu a přijal jméno Abdullah al Muhajir. Měl mít velmi úzké vazby na Al-Káidu a plánovat útok špinavou bombou na americkém území. I podle amerických vyšetřovatelů však nebyl ve fázi, kdy by měl určen konkrétní cíl; byl pouze vyškolen v Pákistánu pro zacházení s výbušninami a zřejmě se pokoušel na území bývalého SSSR obstarat radioaktivní materiály. Plány na

špinavou bombu byly zajištěny i při několika akcích proti bin Ládinově síti, přičemž zřejmě nejdále v jejím vývoji byly složky v Afghánistánu.

Po americkém upozornění byl v červnu 2003 v Thajsku zadržen místní občan Naron Penanam, který se pokoušel propašovat z Laosu 30 kg Cesia 137 (materiál byl ale zřejmě ruského původu). V tomtéž týdnu byli v Bangkoku zatčeni příslušníci organizace Džamaa Islámíja, která bojuje za vytvoření fundamentalistického muslimského státu v jihovýchodní Asii, je odpovědná za teroristické útoky na Bali 12. 10. 2002, a která plánovala útoky proti velvyslanectvím a místům navštěvovaným turisty a především proti zasedání summitu Rady pro ekonomickou spolupráci Asie a Tichomoří (ve dnech 20. - 21. 10. 2003 se jej měl zúčastnit i americký prezident George Bush).

Na možné vlastnictví špinavé bomby čečenskými teroristy upozorňují hlavně ruské úřady. Už během první války v Čečensku v roce 1995 byl v moskevském parku objeven kontejner s radioaktivním materiálem Cesium 137, který tam měl údajně zakopat jeden z čečenských polních velitelů Šamil Basajev. Radioaktivita tohoto materiálu však byla nízká a neohrozila lidské zdraví. Obavy, že alespoň některé z řady ztrát a krádeží radioaktivních materiálů na ruském a postsovětském území mají na svědomí Čečenci, však přetrvávají. Kromě možnosti použití špinavých bomb proti ruským cílům a zmíněnému předání radioaktivních materiálů celosvětovým islamistickým sítím je problematický i případný ilegální obchod s těmito materiály, realizovaný vlivným čečenským (či jiným kavkazským) organizovaným zločinem.

Komponenty k výrobě alespoň minimálně účinné špinavé bomby mohou mít některé státy, přičemž zdrojem materiálu mohou být jaderné reaktory, a to včetně reaktorů v jaderných elektrárnách (Edwards, 2002). Je však sporné, zda by byly ochotny špinavou bombu použít či ji předat teroristům, protože by se tím vystavily hrozbě odvety ze strany USA. Každopádně státem, který v poslední době deklaroval vlastnictví špinavých bomb a od nějž pochází vysoké riziko jejich použití při případném napadení, je Korejská lidovědemokratická republika. Ta navíc disponuje i velmi důležitým prostředkem k zasažení cíle. Jsou jimi různé typy balistických raket včetně Teapodong-1 s doletem až 2 500 km (která byla testována v srpnu 1998) a plánované třístupňové rakety Taepodong-2 s doletem kolem 15 000 km (které budí největší obavy USA).

OBRANA PROTI ŠPINAVÉ BOMBĚ

Existují tři metody, jejichž vzájemným skloubením se dá úderu špinavou bombou předejít. Tako-

výto útok může být namířen proti jakékoli zemi, a tudíž je nutná mezinárodní spolupráce.

1. Snížit přístup k radioaktivním materiálům – metoda, která zahrnuje zvýšení bezpečnostních opatření u zařízení, jež uchovávají radioaktivní materiál; a dále státní podpora programů pro přeměnu a skladování těchto materiálů, časté kontroly a inspekce zařízení, která s materiály pracují; dotování výzkumu zaměřeného na alternativní prostředky, jež by mohly radioaktivní materiál nahradit.
2. Včasná detekce - systémy pro včasnou detekci by měly být nainstalovány v dopravních uzlech, na letištích, v přístavech, tunelech, na nádražích, v metrech a také v okolí státních

institucí a na dalších zranitelných místech. Tyto senzory by byly propojeny s centrálou, která by v reálném čase dostávala informace a byla by tak schopna včas adekvátně reagovat.

3. Schopnost okamžitého a účinného zásahu - pokud by přes veškerá bezpečnostní opatření došlo k útoku, bylo by nutné co nejrychleji dislokovat krizový tým v dané lokalitě, změřit intenzitu radioaktivního záření v oblasti exploze, ozářené území okamžitě evakuovat, ošetřit ty, kteří byli poblíž výbuchu a dostali tak vysokou dávku ozáření. Potom je také nezbytné předpovědět směr šíření radioaktivního spadu a evakuovat další oblasti, které by mohly být spadem zamořeny.

Tab. 1: Některé radioaktivní prvky použitelné k výrobě špinavé bomby a jejich obvyklé použití:

Izotop	Obvyklé použití
Plutonium-244	univerzity, nukleární inženýrství, nukleární fyzika
Americium-243	univerzity, detektory kouře, zařízení pro hledání naftových ložisek, naftové vrty
Cesium-137	ozářovače potravin, sterilizace zdravotnického vybavení, léčba rakoviny
Kobalt-60	dezinfekce potravin, sterilizace zdravotnického vybavení, léčba rakoviny
Stroncium-90	termoelektrické generátory
Uran	jaderné elektrárny, reaktory ponorek

LITERATURA

ANDERSON K.G.: *Radioactive contamination in urban areas*. J. Environ. Radioactivity, vol. 85, s. 151-153, 2006.
 BRANSCOMB, L.: *Protecting civil society from terrorism: the search for a sustainable strategy*. Technol. Soc., vol. 26, s. 271-285, 2004
 BUNN, G., BRAUN, C.: *Terrorism potential for research reactors compared with power reactors - Nuclear weapons, "dirty bombs," and truck bombs*. Amer. Nebav. Sci., vol. 46, s. 714-726, 2003.
 DALTON, R.: *'Dirty bomb' scare prompts clampdown on lab security*. Nature, vol. 417, s. 776, 2002.
 EDWARDS, R.: *Dirty bomb*. New Scientist, vol. 174, s. 42-45, 2002.
 ELCOCK, D., KLEMIC, G.A., TABOAS, A.L.: *Establishing remediation levels in response to a radiological dispersal event (or "dirty bomb")*. Environ. Sci. Technol., vol. 38, s. 2505-2512, 2004.
 FOX, G.A., MEDINA, V.F.: *Evaluating factors affecting the permeability of emulsions used to stabilize radioactive contamination from a radiological dispersal device*. Environ.

Sci. Technol., vol. 39, s. 3762-3769, 2005.
 KARAM, P.A.: *Radiological terrorism*. Human Exil. Risk Assessment, vol. 11, s. 501-523, 2005.
 LEVI, M., KELLY, H.: *Weapons of Mass Disruption*. Scientific American, vol. 11, s. 76-81, 2002.
 RESHETIN, V.P.: *Estimation of radioactivity levels associated with a Sr-90 dirty bomb event*. Atmospher. Environ., vol. 39, s. 4471-4477, 2005.
 RING, J.P.: *Radiation risks and dirty bombs*. Health Physics, vol. 86, Suppl 2, s. S42-S47, 2004.
 SOHIER, A., HARDEMAN, F.: *Radiological Dispersion Devices: are we prepared?* J. Environ. Radioactivity, vol. 85, s. 171-181, 2006.
 VAN MOORE, A.: *Radiological and nuclear terrorism: are you prepared?* J. Am. Coll. Radiol. vol. 1, s. 54-58, 2004.
 WILLIS, D., COLEMAN, E.A.: *The dirty bomb: management of victims of radiological weapons*. Medsurg. Nurs., vol. 12, s. 397-401, 2003.
 ZINK, J.C.: *Revealing the secrets of the dirty bomb*. Power Engineering, vol. 107, s. 24, 2003.

Jaroslava Kaňková
 jkblot@seznam.cz