

RADIOLOGICKÝ TERORISMUS Z POHLEDU ZAJIŠTĚNÍ POŽADAVKŮ RADIAČNÍ OCHRANY

Autoři: Ing. ZDENĚK PROUZA, CSc. a kol.¹

Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. Praha
Bartošкова 1450/28, 140 00 PRAHA 4 - Nusle

email: zdenek.prouza@suro.cz

ÚVOD

Teroristické útoky z posledních let mají pochopitelně dopad i na systémy havarijní připravenosti a krizového řízení vyspělých zemí. Pozornost se zaměřuje na potenciální místa útoku (významné budovy a zařízení, shromaždiště většího počtů lidí, osobní transporty), na způsob provedení útoku (scénáře), jakož i na jeho důsledky [1]. Za nezanedbatelnou hrozbu se začaly považovat teroristické útoky za použití zdrojů ionizujícího záření, jaderných materiálů, radioaktivních látek, kdy se, i když je považována za málo pravděpodobnou variantu, nevyloučila ani možnost použití miniaturních jaderných/neutronových zbraní [2-7].

Za období 1973 – 2009 bylo registrováno [8, 9] 1966 teroristických, většinou bombových útoků, kdy však nešlo o útoky za použití radioaktivních látek. Jsou uvedeny hrozby teroristických útoků proti jaderným elektrárnám (JE), které vedly k aktivaci jejich havarijních systémů. Útoky na „jaderný ostrov“ JE jsou považovány za málo pravděpodobné a obtížné (fyzická ochrana této části JE a obava z adekvátní reakce postižené země vůči zemi útočníka). Zaznamenány [8] byly i útoky na vojenská zařízení (např. 1993 – Čeljabinsk, Rusko – pokus o krádež 2 jaderných hlavic zaměstnanci výrobního závodu – hlavice byly nalezeny a pachatelé zatčeni); jsou uvedeny [8] i případy, které lze označit za připravované, potenciální či realizované pokusy o útok za použití radioaktivních látek/zdrojů ionizujícího záření. V 15 z těchto případů šlo o útoky na konkrétní osoby – ve 12 z nich se jednalo o smrtelné *zevní* ozáření, kdy zářiče (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir) byly umístěny do blízkosti oběti (křeslo, polštář, kapsa dveří auta, strop kanceláře). Několik případů se týkalo *vnitřního*

¹ Uvedený autor byl odpovědným řešitelem Projektu VaV SÚJB č. 2/2008 „Metody a opatření k omezení a k likvidaci následků teroristického zneužití radioaktivních látek“; autorský kolektiv tvoří vědečtí pracovníci Státního ústavu radiační ochrany, v.v.i. Praha a spolupracujících institucí.

ozáření vybrané osoby – nejznámější je vražda A. Litviněnka v roce 2006 vysokou dávkou ^{210}Po (příjem se odhaduje na 0,2 MBq).

DŮSLEDKY TERORISTICKÉHO ÚTOKU, OZÁŘENÍ OSOB

Demonstrovat důsledky teroristického útoku „špinavou“ bombou je možno na dvou příkladech - na dosud nejvážnější radiační nehodě v Goianii (Brazílie) v roce 1987 [10, 11] a na modelovém scénáři [12] teroristického útoku “ špinavou“ bombou (rozptyl 100 TBq $^{137}\text{CsCl}$ v práškové ve vodě rozpustné formě).

V důsledku nehody v Goianii zemřeli 4 lidé, 249 osob bylo ozářeno; monitorováno bylo 112 tis. osob, 67 km² území (letecky), 159 domů bylo proměřeno, 42 z nich dekontaminováno, příp. zbouráno. 35 tis. m³ zeminy a dalších materiálů bylo kontaminováno, z nich 3 000 m³ bylo uloženo na 300 let jako radioaktivní odpad – cena na likvidaci následků této nehody se odhaduje [11] až na 30 mil. US \$. Modelový scénář odhaduje [12], že dojde 180 úmrtím avšak v důsledku exploze; 270 zraněných bude potřebovat lékařskou pomoc a až 20 tisíc osob bude potenciálně kontaminováno. *U žádné postižené osoby se neočekává vyvolání akutní nemoci z ozáření.* Lze však očekávat nutnost zajištění psycho-terapeutické podpory postiženým osobám a kontaminaci potravních řetězců v omezené oblasti. Obchodní a administrativní centrum, rezidentní domy budou několik let do provedení dekontaminace neuživatelné (zejména z psychologických důvodů); doprava ve městě bude komplikovaná, nemocnice budou od počátku obsazeny výbuchem zraněnými osobami, avšak budou zaplavovány (scénář odhaduje až 50 tis. osob) znepokojenými, vyplašenými lidmi. Cena na likvidaci následků takového útoku (na dekontaminaci, destrukci a ukládání odpadů, na náhrady za ztracenou infrastrukturu) bude představovat miliardy US \$. Celá kontaminovaná oblast se dostane po léta do ekonomické deprese v důsledku ztráty obchodní důvěryhodnosti jakožto následku teroristického útoku.

Tento scénář a analýzy již vzniklých radiačních nehod a potenciálních hrozeb teroristických útoků ukazují na to, že cílem radiologické terorismu s velkou pravděpodobností nebude způsobit vysoký počet obětí v důsledku ozáření, jeho cílem bude zejména způsobit vážné ekonomické a psychologické škody (nerealistické hodnocení rizik ozáření), čerpání technických a personálních zdrojů/kapacit záchranných systémů, vysoké náklady na dekontaminaci, byť ne významně kontaminovaného území, a na likvidaci odpadů.

OZÁŘENÍ OSOB

Míru ozáření osob při zneužití zdrojů ionizujícího záření (ZIZ) či radioaktivních látek (RaL) lze demonstrovat [13] pomocí dat uvedených v tabulce 1. Ve čtvrtém sloupci této tabulky jsou pro vybrané radionuklidy uvedeny aktivity, které by v případě použití *uzavřeného* radionuklidového ZIZ mohly způsobit již významné až smrtelné zevní ozáření, pokud by se daná osoba nacházela v blízkosti nestíněného zdroje po dobu minut až hodinu. V pátém sloupci tab. 1 jsou pak uvedeny aktivity, které by vedly k podobným účinkům v případě, že by došlo k rozptýlu RaL - k významnému ozáření osob a kontaminaci prostředí by mohlo dojít až do vzdáleností několika desítek až set metrů od místa jejího rozptýlu – záleželo by na chemických vlastnostech RaL, vlastnostech kontaminované oblasti a na meteorologických podmínkách v době rozptýlu. Je však nepravděpodobné, že i tyto aktivity RaL by mohly kontaminovat veřejné vodovodní sítě na nebezpečnou úroveň, a to i při rozptýlu rozpustné RaL.

Tabulka 1: „Nebezpečné“ zdroje ionizujícího záření [13]

Radionuklid	Typ záření	Poločas radioaktivní přeměny	Aktivita (TBq)	
			Uzavřený „zařič“	Rozptýlená RaL
Co-60	β, γ	5,27 let	30	30 000
Sr-90 (Y-90)	β	29,1 let	4000	1000
Tc-99m	β, γ	6,0 hodin	700	700 00
I-131	β, γ	8,0 dnů	200	200
Cs-137 (Ba-137m)	β, γ	30,2 let	100	20 000
Ir-192	β, γ	73,8 dnů	80	20 00
Po-210	α	138,4 dnů	8000 000	60
Pu-239	α, β, γ	2,41E+4 let	1000	60
Cf-252	α, γ, n	2,65 let	20	100

Jestliže je ve světě [14] ročně registrováno několik set ztracených či ukradených ZIZ (jistě ne všechny ztráty jsou zjištěny), je zřejmé, že není obtížné opatřit si ZIZ nebo RaL využitelné ke zhotovení „špinavé“ bomby, a proto je třeba problematice zneužití ZIZ/RaL věnovat náležitou pozornost.

REAKCE NA RADIOLOGICKÝ TERORISTICKÝ ÚTOK

Snížit pravděpodobnost vzniku teroristického útoku [4], znamená zaměřit se na prevenci, detekci, plánování a reakci na takovou událost. V oblasti *prevence* jde jednak

o zvýšení ostrahy a kontroly existujících arsenálů jaderných zbraní, zásob/skladů obohaceného uranu, JE, pracovišť/skladů vysoce aktivních ZIZ, jednak o zdokonalování systému plánování odezvy na dané hrozby/rizika. V oblasti *detekce* je nutné analyzovat rizika/hrozby, s nimiž se můžeme setkat a vyhodnotit, co budeme dělat, když se s nimi setkáme; jde o metody detekce, jejich aplikaci, testování a vyhodnocení/interpretaci jejich odezvy. V oblasti *plánování a reakce* je kladen důraz na zpracování plánů, návodů a postupů pro řešení RMU, a to jak v první fázi zásahu, tak v následných etapách.

V posledních letech byla zpracována řada nových, inovovaných dokumentů [15-17], které se zabývají problematikou reakce na radiologický teroristický útok. Zásady a principy zásahu jsou dány, inovace mají spíše charakter metodický, týkají se technických aspektů (nové detekční a výpočetní techniky, modely hodnocení radiologických dopadů, apod.). Tento vývoj sledujeme i v ČR [18-20] a je možné konstatovat, že naše předpisy respektují mezinárodní doporučení, nicméně bude třeba provést jejich úpravu/doplnění – překonání některých konzervatismů a přijetí někdy ne zcela doceněných poznatků z již nastalých událostí - stanovení priorit v řetězci efektivní ochrany osob – identifikace – regulace pohybu – monitoring – dekontaminace (neregulovaný pohyb událostí dotčených osob měl mít přednost před obavou z „roznesení“ kontaminace, i za cenu komplikací pro událost vyšetřující policejní týmy. Dalším problémem je připravenost a vybavení lokálních zdravotnických pracovišť na příjem kontaminovaných osob, zaplavení těchto zařízení vyplašenými osobami, atd. Revize stávajících postupů a metodik vyžaduje mezíresortní spolupráci a koordinaci s cílem zajistit, aby metody a postupy odpovídaly současným znalostem a požadavkům praxe a byly vzájemně harmonizované.

TERÉNNÍ TESTY

Pro ověřování nových postupů, metod detekce a vyhodnocování/interpretace dat je optimální provádění terénních testů a jejich porovnání s modelovými prognózami. V letech 2008 – 2010 jsme provedli [21] ² 10 testů – 8 z nich na volném prostranství a 2 v uzavřených prostorech (jednopodlažní dům, autobus) - při nichž byla rozptýlena RaL (eluát Na^{99m}TcO₄ v 0,9 % roztoku chloridu sodného o aktivitách od 0,15 do 2,1 GBq, nosičem byla voda v objemu 6 až 1500 ml). Rozptyl RaL byl prováděn (Obr. 1) do vybraného prostorového úhlu.

² Všechny terénní testy byly provedeny na základě povolení SÚJB a příslušného báňského úřadu na polygonu SÚJCHBO, v.v.i, Příbram – Kamenná.

K rozptylu byly použity explozivní látky PERMON 10T nebo VESUVIT TN v množství 30 až 350 g v závislosti na typu testu.



Obr. 1: Terénní test - okamžik exploze/rozptylu RaL

DETEKČNÍ METODY

K záznamu časového vývoje snímané scény byly použity optické a infračervená zobrazovací technika. Měření vybraných meteorologických veličin bylo prováděno pomocí automatických meteorologických stanic (měřila se rychlost a směr větru, tlak, teplota a vlhkost vzduchu).

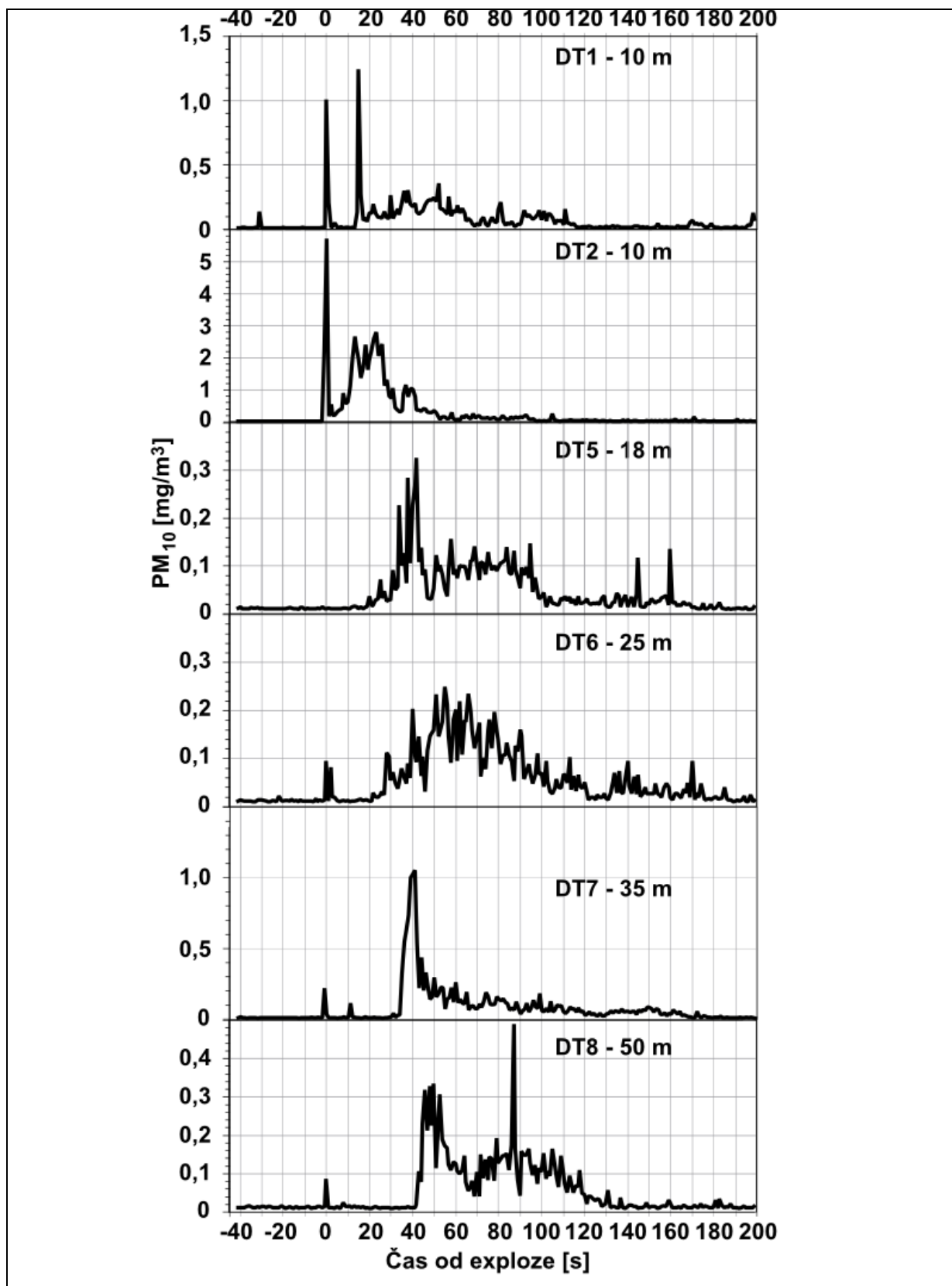
Měření dávkových příkonů na místě exploze bylo prováděno přenosnými přístroji (GR135 miniSpec, Exploranium a NB 3201 Tesla). Povrchové (plošné) aktivity byly stanoveny pomocí sběrných, papírových filtrů (rozmístěných na ploše o velikosti cca 50x40 m² a na vertikálně umístěných sloupech) měřených spektrometricky (nízko-pozadová HpGe polovodičová gama spektrometrie).

Odběrovými zařízeními (SENYA – JL-150, HUNTER, DWARF 100), včetně více-stupňových kaskádních impaktorů byly odebírány aerosoly ke stanovení velikostní distribuce aerosolu a objemové aktivity vzdušniny. Časový vývoj koncentrace hmotnosti atmosférického aerosolu byl měřen pomocí laserových nefelometrů DustTrak – DT model 8520 (TSI).

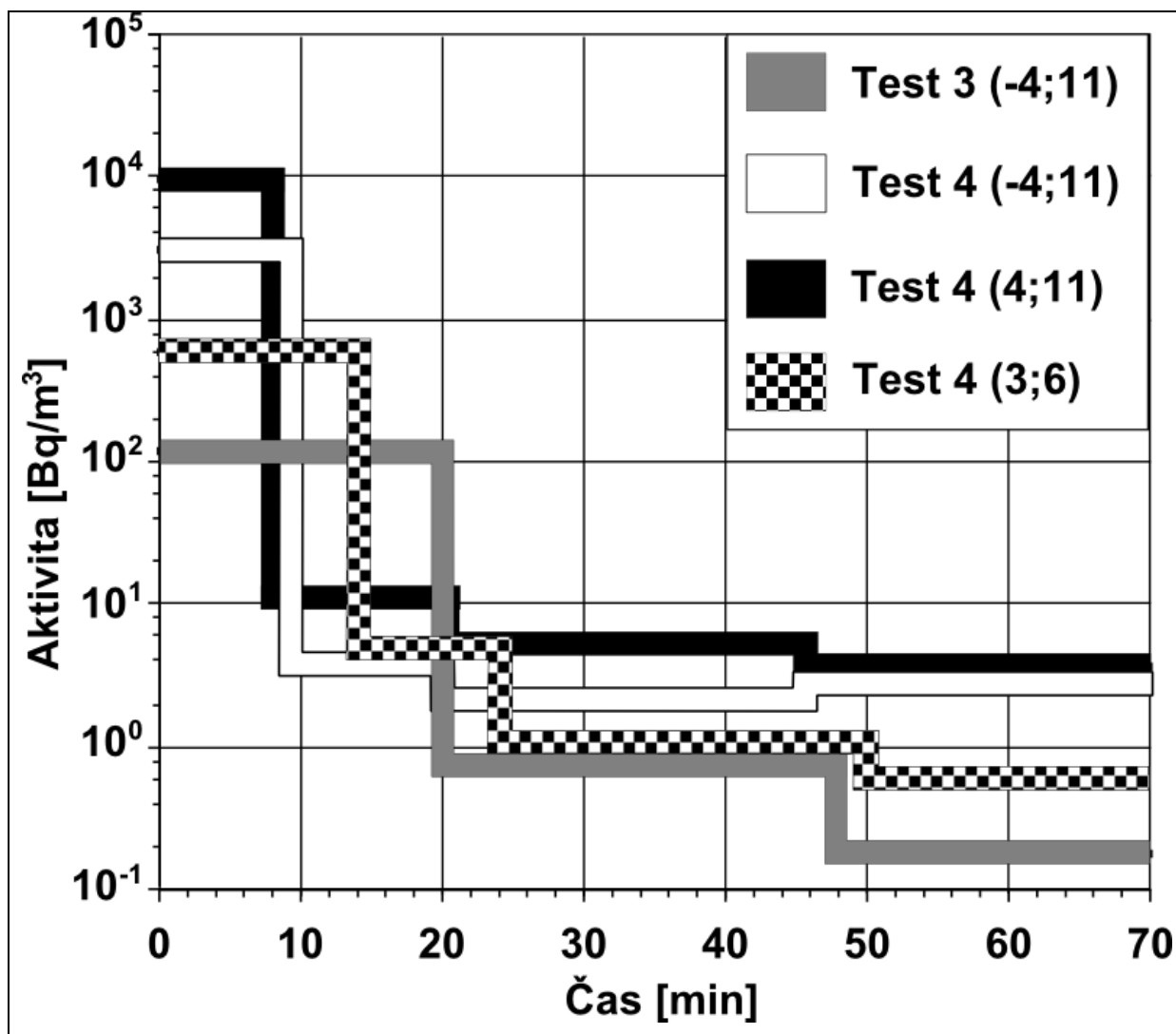
VÝSLEDKY A ZÁVĚRY

Získaná měření dávkových příkonů, plošných a objemových aktivit a velikostních distribucí aerosolů dovolují vzájemné korelace dat z různých detekčních systémů a analýzy zjištěných nejistot; lze z nich formulovat následující závěry:

Převážná část aktivity radionuklidů rozptýlených explozí je detekována prakticky v prvních minutách. Měření s DustTraky potvrdila (Obr. 2), že část explozí uvolněné RaL projde polygonem v průběhu méně než 1 s. V závislosti na aktuálních meteo-podmínkách v okamžiku rozptylu a na objemu nosiče RaL, zvýšené hmotnostní koncentrace aerosolu byly detekovány DustTraky pouze po dobu cca 1 min. Objemové aktivity a příkony plošné aktivity klesly během několika prvních minut po rozptylu o 2 až 3 řády (Obr. 3).



Obr. 2: Časová distribuce hmotnostní koncentrace PM_{10} (mg/m^3) pro různé vzdálenosti ve směru šíření RaL - měření DustTraky [21]



Obr. 3: Časové distribuce objemových aktivit - testy č. 3 a 4 - pro různé lokality (x,y) metrů – osa x – kolmá na směr šíření RaL, osa y – směr šíření RaL

Celkové množství aktivity radionuklidu deponované na zemském povrchu v blízkosti exploze je závislé na objemu použitého nosiče RaL, resp. na poměru hmotností nosiče RaL a explozivní látky. V závislosti na aktuálních meteo-podmínkách (vlhkost, teplota, proměnlivý nárazový vítr) bylo na polygonu při použití nosiče o objemu 6 ml a 350 g explozivní látky deponováno (0,2 – 11) % rozptýlené aktivity.

ZÁVĚR

Lze konstatovat, že získaná data již poskytují relevantní zdroj informací pro další vývoj a testování modelů zaměřených na šíření RaL na malé vzdálenosti. Z analýz radiačních nehod, modelových scénářů a z výsledků našich testů vyplývá, že *zdravotní riziko pro zasahující jednotky nebude významné*, pokud při zásahu budou dodržována standardně platná

ochranná, preventivní opatření (ochranné oděvy a pomůcky zabraňující inhalaci a nechtěné ingesci, kontrola a regulace pobytových dob a vzdálenosti při zásahu). I činnosti v blízkosti vysoce aktivního uzavřeného ZIZ po omezenou dobu nemusí být, při dodržení nezbytných režimových a ochranných opatření, rovněž nebezpečné - platí to jak pro příslušníky hasičského záchranného sboru (HZS), tak pro zdravotnický personál poskytující první pomoc a zajišťující transport zraněných z místa RMU, pro policisty vyšetřující danou RMU a osoby provádějící radiační monitoring.

Tato prezentace je výsledkem řešení Projektu VaV SÚJB č.2/2008 "Metody a opatření k omezení a k likvidaci následků teroristického zneužití radioaktivních látek".

LITERATURA

- [1] BRODSKY, A.; JOHNSON, R.H.; GOANS, JR., R.E. (eds.). *Public Protection from Nuclear, Chemical and Biological Terrorism*. Medical Physics Publ. Madison, Wisconsin, 2004. 831 p.
- [2] *Radiological Terrorism Tutorial, Nuclear Threat Initiative/Center for Proliferation Studies* [online]. 2004 [cit. 2011-04-08]. Available from [www: <http://www.nti.org/h_learnmore/radtutorial/index.html>](http://www.nti.org/h_learnmore/radtutorial/index.html)
- [3] CONKLIN, W. C., LIOTTA, P. L. Radiobiological Threat Assessment and the Federal Response Plan - a Gap Analysis. *Health Physics*, **2005**, vol. 89, no. 5, p. 457-470
- [4] FERGUSON, CH. D., et al. *The Four Faces of Nuclear Terrorism*. [online] Monterey: Monterey Institute of International Studies, 2005. [cit. 2011-04-11]. Available from [www: <http://jeffreyfields.net/427/Site/Blog/30F67A03-182C-4FC7-9EFD-A7C321F6DC8D_files/analysis_4faces.pdf>](http://jeffreyfields.net/427/Site/Blog/30F67A03-182C-4FC7-9EFD-A7C321F6DC8D_files/analysis_4faces.pdf). ISBN 1-885350-09-0
- [5] SOHIER, A.; HARDEMAN, F. Radiological Dispersion Devices: are we prepared? *J. Environ. Radioact.*, **2006**, 85, p. 171-181.
- [6] REMICK, A. L., CRAPO, J., L., WOODRUFF, CH, R. *U. S. National Response Assets for radiological Incidents* *Health Physics*, **2005**, vol. 89, no. 5, p. 471-484.
- [7] ZIMMERMAN P. D., LOEB C. Dirty Bombs: The Threat Revisited. *Defense Horizons*. **2004**. 38, 1-11.
- [8] JOHNSTON, R. *Database of Radiological Incidents and Related Events* [online]. April 2011 [cit. 2011-04-09]. Available from [www <http://johnstonsarchive.net/nuclear/radevents>](http://johnstonsarchive.net/nuclear/radevents)

- [9] *James Martin Center for Nonproliferation Studies* [online]. 2011. [cit. 2011-04-11]
Available from www: <<http://www.nti.org/db/cbw/index.htm>>
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *The Radiological Accident in Goiania*. [online]. Vienna, STI/PUB/815, 1988. [cit. 2011-04-11] Available from
www: <http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub815_web.pdf>. ISBN
92-0-129088-8
- [11] NÉNOT, J.C. Radiation accidents over the last 60 years. *J. Radiol. Prot.* **2009**,
vol. 29, p. 301-320
- [12] URL: <<http://www.globalsecurity.org/security/ops/hsc-scen-11.htm>> [cit. 2011-04-11]
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Dangerous Quantities of Radioactive Material (D-Values)* [online]. Vienna, EPR-D-Values, 2006.
[cit. 2011-04-11] Available from www: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/EPR_D_web.pdf>
- [14] MARTELLINI, M.; MCLAUGHLIN, K. *The security of high-activity radiological sources*. Landau Network - Centro Volta, Conference on Strengthening European
Action on WDM Non-proliferation and Disarmament, Brussels, 7. - 8. Dec., 2005,
62 p.
- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Metod for developig Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency* [online].
Vienna, EPR-METHOD, 2003. [cit. 2011-04-11]. Available from www:
<http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/method2003_web.pdf>. ISBN 92-
0-111503-2
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Manual for First Responders to a Radiological Emergency* [online]. Vienna, EPR-First RESPONDERS, 2006.
[cit. 2011-04-11]. Available from www: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/epr_Firstresponder_web.pdf>
- [17] CARLOS ROJAS-PALMA et al. *Triage, Monitoring and Treatment of people exposed to ionizing radiation following a malevolent act* [online]. Norway, Lobo
Media AS, 2008. [cit. 2011-04-11]. Available from www: <www.tmthandbook.org>.
Online ISBN 978-82-90362-28-2 – Print ISBN 978-82-90362-27-5
- [18] *Bojový řád jednotek požární ochrany*, MV-GŘ HZS ČR, Praha, 2007

- [19] *Katalog typových činností složek IZS - Typová činnost složek IZS při společném zásahu: Uskutečněné a ověřené použití radiologické zbraně, STČ - 01/IZS*, MV-GŘ HZS, Praha, 2004
- [20] PROUZA, Z.; ŠVEC, J. *Zásah složek Integrovaného záchranného systému při radiační mimořádné události* Ostrava Edice SPBI SPEKTRUM, 2009. 125 s. ISBN 978-80-7385-046-3.
- [21] PROUZA, Z., et al. Field Tests using Radioactive Matter, *Radiation Protection Dosimetry*, **2010**, doi: 10.1093/rpd/ncp299. Online ISSN 1742-3406 - Print ISSN 0144-8420