
4 RADIČNÝ TERORIZMUS

Lekársko-biologické a spoločenské aspekty

Jozef Kuruc¹, Miroslav Labaška²

¹ Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta,
Katedra jadrovej chémie, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava,

² Mobilné identifikačné laboratórium, Vojenský útvar 7945,
Šafárikova 109, 048 01 Rožňava

kuruc@fns.uniba.sk

Abstract

There is great concern that terrorists could obtain nuclear or radiological weapons and detonate them in a large city. The authors analyse the technical requirements for and obstacles in obtaining such weapons. What difficulties would have to be conquered? The authors conclude that nuclear weapons are most likely out of reach for terrorists. However, radiological weapons may well be used by terrorists, in the future. The possible consequences of such an attack are discussed.

Keywords: nuclear explosions, nuclear weapons; radioactive clouds, arms control, nuclear material management, proliferation, radiation accidents; radiation effects, radiation hazards, radiation protection, ionising radiation,

Úvod

Terorizmus je sprievodným javom vývoja ľudskej spoločnosti. Dnes sa mu venuje mimoriadna pozornosť preto, lebo sa ako alternatívna metóda riešenia rôznych problémov či rozporov, stáva veľmi nebezpečný. Je neodmysliteľným fenoménom aj súčasnej doby. Má jednoznačne medzinárodný charakter a je prakticky všade prítomný.¹ Napriek tomu sa v poslednom čase jeho rozsah zvýšil, čo je spôsobené niekoľkými príčinami:²

- sústavne sa zväčšujúce rozdiely medzi životnou úrovňou ľudí ako vo vnútri jednotlivých strán, tak aj medzi krajinami. Veľká a stále zväčšujúca sa časť obyvateľov Zeme nemá v blízkej budúcnosti prakticky žiadne perspektívy dosiahnuť hmotné zabezpečenie na úrovni obyvateľstva vyspelých krajín. To vedie k rastu ekonomického separatizmu, založeného na predstavách, že separácia regiónov s bohatými zdrojmi, nachádzajúcich sa v dobrých klimatických podmienkach, môže zvýšiť životnú úroveň obyvateľstva;
- rast vzdelania často vedie k rastu nacionalizmu a boj pod jeho zástavou často využíva národná elita na upevnenie svojich pozícií v mnohonárodných krajinách;
- existujúca nerovnosť, krutosť a nedostatok duchovnosti kapitalistického systému často sprevádzaného snahami zničiť dôležité cennosti pre ľudí (národnú kultúru, prírodu, a pod.) je vhodnou pôdou pre idey prestavby spoločnosti na spravodlivejších základoch. Revolučný boj často využíva teroristické metódy;
- globalizácia významne prispela k pochopeniu, že industrializácia, vedecko-technický pokrok, informatizácia nielen že nevyrovnávajú kultúrne a civilizačné rozdiely vo svete, ale naopak vytvárajú ekonomické základy pre nevojenské súperenie. Napríklad niektoré arabské krajiny, ktoré majú vysoké príjmy z predaja ropy, tajne financujú boj „pravoverných“ v celom svete (Palestínčanov, moslimov v Indii, Číne, Albáncov v Srbsku, Čečencov, Dagestáncov a Ingušov v Rusku), stále častejšie sa táto podpora prejavuje rôznymi formami terorizmu;
- terorizmus v 21. storočí sa čoraz viac, popri svojich deštrukčných a zastrešujúcich cieľoch, javí ako forma komunikácie, kde terorista zohráva úlohu vysielateľa a obeť slúžia ako nosič posolstva, ktorého príjemcom je nepriateľ alebo jednoducho verejnosť (ako príklad možno uviesť teroristické útoky ETA, IRA, RAF a ataky islamských teroristov, obzvlášť v Iraku).

Nukleárny terorizmus je veľmi široká forma terorizmu, ktorá v sebe zahŕňa rádiologický terorizmus. Pojem nukleárny terorizmus označuje špecifické použitie nukleárných zbraní za účelom terorizmu.

História terorizmu v súvislosti s nukleárnym a rádiologickým útokom začala už počas druhej svetovej vojny. V tom čase prišli vedci z United States National Academy of Sciences s myšlienkou použiť rádiologickú zbraň ako jednu z možných vojenských aplikácií využitia atómovej energie. Ich zámerom bolo naložiť vojenský bombardér bombami spolu s veľkým

množstvom rádioaktívneho materiálu s cieľom rozšíriť tento materiál na nepriateľskom území.

V roku 1946 začali Spojené štáty americké operáciu Crossroads na atole Bikiny (Marshalove ostrovy). Jedným z cieľov tejto operácie bolo aj štúdium možnosti použiť rádioaktívny materiál ako potenciálnu rádiologickú zbraň. Výsledky však neboli uspokojivé a po ďalších testoch v štyridsiatych a päťdesiatych rokoch došli vedci k záveru, že rádiologické zbrane sú z hľadiska vojenského využitia „málo efektívne“.³

Podľa správy OSN o rádiologických zbraniach uvažovali aj iné krajiny. Napríklad Irak testoval svoju prvú rádiologickú bombu v roku 1987. Bomba, ktorá pozostávala prevažne z oxidu zirkoničitého, bola vzhľadom na krátku dobu polpremeny Zr-95 málo efektívna.

Svojho času bolo navrhnuté použitie kobaltovej bomby ako rádiologickej zbrane, tzv. *kobaltová bomba*, súčasťou ktorej by bol stabilný kobalt-59. V americkej príručke „*Pôsobenie jadrových zbraní*“ bola tejto otázke venovaná samostatná kapitola. Stabilný kobalt-59 sa pri pôsobení neutrónov (tzv. záchytnom neutrónov) počas jadrového výbuchu mení na rádioaktívny kobalt-60, ktorý by zabezpečil dlhodobú kontamináciu. Situácia sa podstatne zmenila s vyvinutím jadrových zbraní s veľkým výkonom, pri explózií ktorých vzniká veľké množstvo produktov štiepenia jadier, ktoré vypadnú v blízkej rádioaktívnej stope. Takéto explózie predstavujú v skutočnosti rádiologické zbrane.

Teroristi majú štyri možné mechanizmy, ktorými môžu zneužiť vojenské alebo civilné jadrové prostriedky k svojim zámerom;

- krádež a detonácia jadrového výbušného zariadenia (JVZ);
- krádež, prípadne kúpa materiálu vedúceho k výrobe a detonácii improvizovaného JVZ;
- útoky a sabotáže na jadrových energetických zariadeniach (JEZ) s cieľom rádioaktívnej kontaminácie;
- neoprávnené získanie rádioaktívneho materiálu s cieľom vyrobiť rádiologické disperzné zariadenie (radiological dispersion device – RDD), prípadne rádiologické emisné zariadenie (radiological emission device – RED) – tzv. „špinavú bombu“.⁴

Krádež a detonácia jadrového výbušného zariadenia

Medzinárodná bezpečnosť závisí od vážnosti a zodpovednosti s akou pristupujú krajiny vlastniace jadrové zbrane k ochrane svojho jadrového arzenálu. Krádež nukleárných

zbraní uložených v prísne strážených zariadeniach by bola príliš zložitá. Teroristi by museli vynaložiť enormné úsilie aby takéto zbrane získali. Aj napriek tomu médiá v minulosti informovali o pokusoch odcudziť jadrové zbrane. Tu sú niektoré príklady;

Február 1990 Azerbajdžan – rebeli neúspešne zaútočili na ruské ozbrojené sily strážiace sklad jadrových zbraní neďaleko Baku;⁵

November 1993 Rusko – dve nukleárne hlavice boli odcudzené zamestnancami zo zariadenia na konštrukciu jadrových zbraní neďaleko Čeljabinsku. Hlavice našli v garáži jedného zo zamestnancov. Zloději boli krátko na to zadržaní.⁶

Krádež, prípadne kúpa materiálu vedúceho k výrobe a detonácii improvizovaného JVZ

Experti sa zhodujú v tom, že pre každú teroristickú organizáciu, ktorá plánuje použitie JVZ, je najťažšie práve obstaranie dostatočného množstva štiepneho materiálu.

Možnosti skonštruovania JVZ jednotlivými „talentovanými“ teroristami alebo dokonca ich skupinou sú prakticky beznádejné. Po prvé, na ich skonštruovanie je potrebné mať k dispozícii značné množstvo štiepnych materiálov (desiatky kilogramov vysoko obohateného uránu uránu-235 (s obsahom uránu-235 aspoň 90% oproti prírodnému zastúpeniu 0,72%) alebo niekoľko kilogramov plutónia-239) s vysokým stupňom čistoty, tzv. zbraňové plutónium (weaponized plutonium). Použitie obohateného uránu a produkcia plutónia v jadrovom reaktore neprichádza pre teroristickú skupinu do úvahy. Náklady s tým spojené sú príliš veľké a samozrejme projekt takých rozmerov by sa nedal udržať v tajnosti. Vytvoriť jadrové zbrane bez vlastníctva štiepnych materiálov samozrejme nie je možné. Po druhé, ak aj hypoteticky pripustíme, že sa v rukách teroristov objaví potrebné množstvo uránu alebo plutónia s požadovaným stupňom obohatenia, tak skonštruovanie dostatočne kompaktnej jadrovej zbrane „na kolene“ (v garáži alebo v pivnici) je prakticky nemožné. Na tieto účely sa využívajú špeciálne zariadenia a odborníci s najvyššou kvalifikáciou. Je dobre známe, aké sily a aké materiálne zdroje, ako aj intelektuálne prostriedky museli sústrediť v USA, ZSSR a v iných krajinách, na získanie potrebného množstva a kvality štiepnych materiálov. Samotné skonštruovanie prvých atómových zbraní bolo nemenej zložitý proces. Napriek tomu, že všeobecné princípy konštrukcie jadrových zbraní sú už verejne známe, skutočné skonštruovanie týchto zbraní „na kolene“ nie je reálne možné.

Útoky a sabotáže na jadrových energetických zariadeniach (JEZ) s cieľom rádioaktívnej kontaminácie

Za zmienku stojí aj možnosť teroristických útokov namierených proti jadrovým energetickým zariadeniam. Veľký počet týchto zariadení v Európe, Severnej Amerike a v Ázii poskytuje teroristom atraktívne ciele. Existuje niekoľko možných scenárov útokov na JEZ. Jedným z nich je útok ozbrojenej teroristickej skupiny na JEZ so zámerom poškodiť jednotlivé zariadenia a spôsobiť únik rádioaktívneho materiálu. Komplexnosť systémov ochrany takéhoto objektu si však vyžaduje rozsiahle znalosti z oblasti jadrovej energetiky na ich prekonanie.

Po skúsenostiach s teroristickými útokmi sa vynára možnosť útoku na jadrové energetické zariadenie zo vzduchu. Napriek tomu, že väčšina jadrových reaktorov je tienená ochranným obalom, tzv. kontajmentom, takáto spevnená železo-betónová konštrukcia dokáže odolať nárazu menšieho lietadla, no v žiadnom prípade neodolá nárazu dopravného lietadla s hmotnosťou niekoľkých desiatok ton. Jedným z bezpečnostných opatrení pred takýmto druhom teroristického útoku na JEZ môže byť zriadenie bezletových zón, prípadne rozmiestnenie vojenských prostriedkov na ničenie vzdušných cieľov v okolí týchto objektov.

Ďalšia možnosť útoku teroristov na jadrové energetické zariadenie je útok na úložiská vyhoreného jadrového paliva. Takéto objekty väčšinou nie sú prísne strážené tak ako jadrové elektrárne a z toho dôvodu môžu byť zraniteľnejšie.⁷

Nezabúdajme však ani na možnosť sabotáže jadrového energetického zariadenia ekologickými extrémistami s cieľom demonštrovať verejnosti riziko, ktoré so sebou prináša využívanie jadrovej energie.

Neoprávnené získanie rádioaktívneho materiálu s cieľom vyrobiť špinavú bombu

Reálnejšou sa zdá možnosť použitia rádioaktívnych látok teroristami, (tzv. *radiačný terorizmus*).⁸ Hrozba radiačného terorizmu pozostáva z ohrozenia zasiahnutia rádioaktívnymi látkami a závisí od fyzikálno-chemických a biologických vlastností rádionuklidov, ktoré by mohli byť použité teroristami.

Definícia rádiologického disperzného zariadenia (radiological dispersion device – RDD) tiež známeho ako špinavá bomba, znie zhruba nasledovne; zariadenie, zbraň alebo prístroj iný ako jadrové výbušné zariadenie, špecificky navrhnuté k rozšíreniu rádioaktívneho

materiálu za účelom spôsobenia škôd na majetku, zranenia osôb a celkovej deštrukcie rádioaktívnym žiarením.

V súčasnosti vzrástlo riziko použitia RDD, keďže v porovnaní s nukleárnou zbraňou je takéto zariadenie dostupnejšie teroristom a teroristickým organizáciám. Najväčšie obavy pochádzajú zo skutočnosti, že skoro každý rádioaktívny materiál sa môže použiť ku konštrukcii RDD. Znepokojujúce je aj to, že odborná úroveň potrebná ku konštrukcii špinavej bomby je porovnateľná s úrovňou potrebnou ku konštrukcii konvenčnej explozívnej bomby.⁹

Je dôležité poznamenať, že existuje množstvo spôsobov použitia RDD v porovnaní s možnosťami použitia konvenčných výbušnín. Rádioaktívny materiál môže byť rozširovaný vo forme utajených zdrojov. Niektoré formy izotopov môžu byť rozpustené v rozpúšťadlách a použité v rozprašovačoch, iné sú horľavé alebo sa vyparujú.

Použitie RDD k disperzii rádioaktívneho materiálu môže najčastejšie nastať pomocou explózie trhaviny. V závislosti od typu a veľkosti RDD môže byť rozloha kontaminovaného priestoru od veľkosti obytného bloku až po niekoľko štvorcových kilometrov.

Kompetentné úrady z oblasti radiačnej ochrany sa musia oboznámiť s všetkými formami použitia RDD a musia zohľadniť všetky spôsoby, akými môžu takéto zariadenia pracovať.

Nasledujúce udalosti, zverejnené v médiách poukazujú na reálnosť hrozby teroristického útoku:

10. júna 2002 bol v Spojených štátoch amerických vydaný zatykač na José Padillu, muža podozrivého z pokusu odpáliť zariadenie obsahujúce vysoko výbušnú látku spolu s rádioaktívnym materiálom.

17. októbra 2003 bola vo Washington Times uverejnená správa, podľa ktorej CIA a FBI hľadali muža podozrivého z pokusu zaobstarania rádioaktívneho materiálu za účelom konštrukcie špinavej bomby. Podľa Washington Times sa podozrivý vydával za študenta na McMasters Univerzity na ktorej sa nachádza 5MW výskumný reaktor.

Tragická nehoda, ku ktorej došlo v Brazílii medzi 13. septembrom 1987 a marcom 1988 je udalosť najbližšia k skutočnému teroristickému útoku pomocou RDD. Aj keď paralela medzi takýmito udalosťami nie je jasná, štúdium tohto incidentu nám ponúka náhľad do možného priebehu udalostí v prípade rádiologického teroristického útoku.

13. septembra 1987 sa dvaja zberatelia kovového odpadu vlámali na rádiologické oddelenie miestnej opustenej kliniky a odcudzili zdrojovú kapsulu z ochranného obalu

rádioterapeutického prístroja. Podľa Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu (International Atomic Energy Agency – samí IAEA) šlo pravdepodobne o chlorid cézny ($^{137}\text{CsCl}$) v rozpustnej forme s aktivitou 51 GBq (1375 Ci). Kapsula bola zabudnutá po tom čo sa Instituto Goiãna de Radioterapia presťahoval do nových priestorov pred dvomi rokmi. Dvaja zloději si na fúriku odniesli kapsulu do domu jedného z nich vzdialeného pol kilometra. V ten istý deň už obaja muži dávili, čo však považovali za následok konzumácie pokazeného jedla. Nasledujúci deň mal jeden z mužov opuchnuté ruky a trpel hnačkami. 18. septembra jeden zo zlodějov porušil 1 mm hrubý sklenený ochranný obal kapsule a spôsobil tak únik rádioaktívneho chloridu cézneho. V trovnaký deň kapsulu predali majiteľovi zberne kovových odpadov. V noci si zamestnanec šrotoviska všimol v garáži prášok, ktorý modro svetielkoval. Očarený svetielkujúcim práškom vzal kapsulu domov, aby ju ukázal rodine a priateľom. Najsmutnejší incident nastal 24. septembra, keď sa šesťročná Leide das Neves Ferreira hrala so svetielkujúcim práškom, natierala si ho na telo a jedla sendvič kontaminovanými rukami. Zomrela 23. októbra 1987 na následky masívnej vnútornej kontaminácie.

Brazílske úrady v spolupráci s tímom IAEA monitorovali celkovo 112 000 ľudí v priestoroch miestneho štadióna. Podľa správy IAEA celkovo 249 ľudí bolo kontaminovaných céziom-137, 28 ľudí utrpelo vážne popáleniny z ožiarenia a 5 ľudí zomrelo. Správa ďalej uvádza, že 85 budov v celom meste nieslo známky kontaminácie, z nich sedem bolo vyhlásených za neobývatel'né a boli zničené. Dvesto ľudí bolo evakuovaných z ďalších 41 budov.

Neprofesionálny prístup brazílskych úradov mal za následok to, že došlo ku kontaminácii personálu podieľajúceho sa na monitorovaní postihnutých ľudí. Pacienti a personál rozširovali kontamináciu po celom meste, dokonca až do Rio de Janeira. Celkovo bolo zozbieraných 3500 m³ kontaminovaného materiálu. Väčšinu obsahu kapsuly sa podarilo zaistiť včas. Zvyšok rádioaktívneho materiálu sa nachádza v pôde, na strechách budov a pravdepodobne zostáva v okolí Goiãny dodnes.¹⁰

Pre teroristické činy môžu byť použité aj jednotlivé rádionuklidy, ktoré sa dostatočne široko aplikujú v priemysle, poľnohospodárstve, lekárstve, vede. Pravdepodobnými objektmi môžu byť administratívne, komerčné, priemyselné, informačné a telekomunikačné centrá, dopravné komunikácie (železničné a autobusové stanice, metro, letištné haly), potravinové sklady, systémy zásobovania vodou a iné). Pochopiteľne doprava rádionuklidov, ich príprava

k použitiu, samotné použitie na teroristické účely, obzvlášť zdrojov gama žiarenia, sú spojené s veľkými komplikáciami.

Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu vykonáva inšpekcie všetkých nukleárných zariadení a zariadení na skladovanie a spracovanie jadrového paliva s cieľom zabrániť použitiu civilných štiepných materiálov na teroristické účely. IAEA tak pomáha operátorom a majiteľom týchto zariadení zefektívniť ochranu a monitorovanie rádioaktívnych materiálov.¹¹

Následky teroristického útoku použitím rádiologického disperzného zariadenia alebo improvizovaného jadrového výbušného zariadenia nezahŕňujú len straty na ľudských životoch, ale aj značné psychologické a ekonomické dopady.

Fyzikálne, chemické a rádiobiologické charakteristiky vybraných rádionuklidov

Pozrime sa, aké sú fyzikálno-chemické a rádiobiologické charakteristiky niektorých uvažovaných rádionuklidov a aké je ich biologické pôsobenie a radiotoxicita.

Kobalt [Co]. Prírodný kobalt obsahuje iba jeden stabilný izotop kobalt-59. ⁵⁹Co v prírode patrí k široko rozšíreným prvkom. V zemskej kôre jeho zastúpenie predstavuje 0,002 %. Kobalt je esenciálny biologický mikroprvok a obsahujú ho všetky rastliny i živočíchy. Je súčasťou vitamínu B12, ktorý vplýva na krvotvorbu a procesy výmeny látok. Denná spotreba u ľudí predstavuje 7 ÷ 15 µg a dopĺňa sa príjmom potravy. Kobalt sa široko používa v chémii, metalurgii i v lekárstve. Poznáme 27 rádioaktívnych izotopov s hmotnostnými číslami od 48 do 58 a od 60 do 75. Najväčší praktický význam majú rádioizotopy ⁵⁷Co ($T_{1/2} = 270,9$ dňa.), ⁵⁸Co ($T_{1/2} = 70,8$ dňa), ⁶⁰Co ($T_{1/2} = 5,27$ roka). Najväčší význam má dlhožijúci ⁶⁰Co. Je to zdroj vysokoenergetického gama žiarenia, preto sa široko využíva v technike, lekárstve a v rôznych oblastiach hospodárstva. Vďaka relatívne dlhej dobe polpremeny a možnosti vytvoriť zdroje s veľkou mernou aktivitou využíva sa v rádioterapii pre vonkajšie ožarovanie a pomocou aplikátorov aj pre vnútorné ožarovanie. Rozsiahle sa ⁶⁰Co aplikuje v rádiobiológii pri ožarovaní živočíchov, rastlín, na ožarovanie semien pred sejbou, sterilizáciu hmyzu, potravín a pitnej vody a pod. Pri uvoľnení rádiokobaltu do životného prostredia sa môže stať zdrojom vonkajšieho i vnútorného ožarovania. Do organizmu ľudí rádiokobalt môže preniknúť inhalačne, perorálne s kontaminovanou potravou a vodou, ale taktiež cez kožu, zvlášť ak je poškodená. Resorpcia

v tenkom čreve pre organické látky sa prijíma za rovnú 0,3, ale vo forme oxidov a hydroxidov iba 0.05 %. Resorbovaný rádionuklid sa prevažne deponuje v pečeni a vo svaloch — zodpovedajúco 30 a 20 % od celkového obsahu v organizme. Kobalt sa dostatočne rýchlo vylučuje z organizmu. Podľa údajov ICRU je $T_{eff} = 5$ dní. Zohľadňujúc rozsiahle používanie ^{60}Co v rôznych oblastiach priemyslu, poľnohospodárstva, vo vedeckom výskume, rádionuklid sa môže dostať do rúk teroristov, ktorí ho môžu použiť ako zdroj dlhodobého vonkajšieho ožarovania v oblasti teroristického útoku.

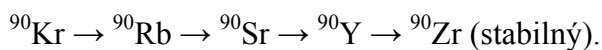
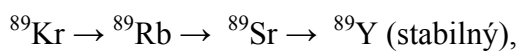
Céziu [Cs]. Zo 40 známych izotopov cézia iba jeden izotop (^{133}Cs) je stabilný, ostatných 39 s hmotnostnými číslami 112÷132 a 134÷151 sú rádioaktívne. Izotop ^{133}Cs je typický mikroprvok a v prírode existuje vo forme rôznych druhov zlúčenín s inými prvkami. V rastlinách a organizmoch živočíchov je zastúpený v mikromnožstvách. Ľudský organizmus obsahuje asi 1,5 mg cézia s denným príjmom s potravou okolo 10 μg . Biologická úloha cézia nie je úplne známa. Céziu sa taktiež široko používa v priemysle, napríklad v elektronike. Z rádioaktívnych izotopov najväčší praktický význam má ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,07$ roka), ktorý vzniká pri štiepení uránu a plutónia. Predstavuje jeden zo základných komponentov, spolu so ^{90}Sr , rádioaktívnej kontaminácie životného prostredia, ktoré nastalo v dôsledku skúšok jadrových zbraní v atmosfére a únikov z jadrových elektrární (predovšetkým pri explózii jadrového reaktora v Černobyľskej atómovej elektrárni). Pre praktické aplikácie v priemysle a v lekárstve ^{137}Cs sa získava z vyhoreného jadrového paliva – z produktov štiepenia jadier uránu a plutónia. Ako zdroj gama žiarenia sa ^{137}Cs široko používa aj v lekárstve pre kontaktnú i telerádioterapiu. Pri jeho beta premene sú emitované elektróny s energiou 170,8 keV. Jeho dcérskeho produktu ^{137m}Ba s dobou polpremeny 2,55 min. emituje γ -kvantá s energiou 661,6 keV. ^{137}Cs sa široko používa na sterilizáciu a v iných radiačných technológiách. Po uvoľnení do životného prostredia predstavuje jeden z biologicky najnebezpečnejších rádionuklidov. ^{137}Cs je pre obyvateľstvo potenciálne nebezpečný ako zdroj vonkajšieho i vnútorného ožiarovania. Pri ľubovoľnom príjme organizmom (inhalácii, perorálnom s potravou a vodou) sa céziu intenzívne vstrebáva (do 100%), akumuluje sa predovšetkým v svalovom tkanive (do 80 %). Klinicky sa zasiahnutie žiarením pri vnútornom ožiarení prakticky nelíši od choroby z ožiarovania pri vonkajšom gama ožiarení. Akútna choroba z ožiarovania pri vonkajšom ožiarení céziom-137 ľahkého, stredného a ťažkého stupňa (bez liečenia) sa vyvíja pri dávkach 1÷2, 2÷4, 6 a viac Gy, a pri vnútornom ožiarení chorobu z ožiarovania ľahkého a stredného stupňa možno očakávať pri príjme organizmom $3,7 \times 10^4$ Bq (1 mCi) a $7,4 \div 14,8 \times 10^4$ Bq (2÷4 mCi),

zodpovedajúco. V dôsledku neopatrného skladovania zdrojov ^{137}Cs už bolo zaregistrované nadmerné ožiarenie ľudí. Známý je prípad hromadného ožiarenia obyvateľstva v meste Goiânia v Brazílii.

Stroncium [Sr]. Známe sú 4 stabilné izotopy stroncia: ^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{87}Sr , ^{88}Sr . Ostatné izotopy stroncia $^{73}\text{Sr} \div ^{83}\text{Sr}$, ^{85}Sr a $^{89}\text{Sr} \div ^{105}\text{Sr}$ sú rádioaktívne. V zemskej kôre jeho zastúpenie predstavuje $3,4 \times 10^{-2}$ hm. %. Prírodné stroncium obsahujú ako živočíchy, vrátane ľudí, tak aj rastliny. Organizmus človeka obsahuje asi 0,3 g a takmer všetok je deponovaný v kostiach. Denná spotreba stroncia u dospelého človeka je približne 2 mg. Nadbytok stroncia iniciuje stronciovou rachitídu (lá mavosť kostí) a iné ochorenia.

Stroncium sa taktiež často používa v rôznych technológiách a lekárstve. Rádioaktívne izotopy stroncia sa nachádzajú v štiepných produktoch uránu a plutónia. Z rádioizotopov stroncia najväčší praktický význam majú beta-emitujúce izotopy ^{89}Sr ($T_{1/2} = 50,5$ dňa, $E_{\beta} = 0,58$ MeV) a ^{90}Sr ($T_{1/2} = 29,1$ rokov, $E_{\beta} = 0,2$ MeV). Dcérsym rádionuklidom je ^{90}Y ($T_{1/2} = 6,4$ hod., $E_{\beta} = 2,18$ MeV).

Pri štiepení uránu a plutónia vznikajú reťazce rádioaktívnych premien:



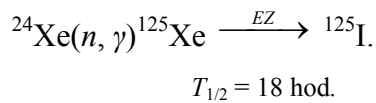
^{90}Sr patrí k biologicky významným rádionuklidom produktov jadrového štiepenia. Ako dlhožijúci rádionuklid predstavuje hlavnú zložku globálnej kontaminácie životného prostredia, zapríčinennej skúškami jadrových zbraní v atmosfére a únikmi (v dôsledku havárií) z jadrovoenergetických zariadení. Do ľudského organizmu rádiostroncium môže byť prijatý inhalačne, perorálne a transférom cez kožu. Resorpcia pri inhalačnom a perorálnom prijíme predstavuje $0,1 \div 0,6$. Nezávisle od spôsobu príjmu sa rádiostroncium deponuje predovšetkým v kostre. Hodnota resorpcie závisí od veku, pohlavia, charakteru stravovania a od iných faktorov. Mäkké tkanivá obsahujú menej ako 1 % stroncia. Z organizmu sa vylučuje cez črevný trakt a obličky. Približne 70 % aktivity sa vylučuje počas prvých mesiacov, zostávajúca časť sa vylučuje veľmi pomaly. Klinický obraz zasiahnutia rádiostronciom sa prejavuje *leukopéniou*, *lymfopéniou*, a *trombocytopéniou*. V patologickom procese sa zúčastňujú aj iné orgány. Najnebezpečnejšími sú oneskorený vznik *leukózy*

a *osteosarkómu*. Minimálna osteosarkómna dávka je okolo 10 Gy. Nádory vznikajú aj v iných orgánoch. ^{85}Sr a $^{87\text{m}}\text{Sr}$ (krátkožijúce rádionuklidy) sa používajú v nukleárnej medicíne na diagnostiku nádorov a ako aplikátory v dermatológii, oftalmológii a iných oblastiach.

Jód [I]. Iód v prírode je zastúpený jediným izotopom ^{127}I . Je to mikroelement a jeden z najdôležitejších biogénnych prvkov. Jód je súčasťou tyroxínu – hormónu, ktorý sa syntetizuje v štítnej žľaze a zabezpečuje homeostázu organizmu. Zastúpenie ^{127}I v zemskej kôre je $4 \cdot 10^{-5}$ hm. %. Mnohé oblasti vo svete (v Slovenskej republike taktiež) sa vyznačujú deficitom jódu v potravinách a v pitnej vode, ktoré sú hlavným zdrojom príjmu tohto prvku ľudským organizmom. Nedostatok jódu je príčinou vzniku u miestnych obyvateľov v týchto oblastiach *endemickej strumy* (endemického hrvoľa). Hlavné zásoby jódu sú vo svetovom oceáne, 1 liter morskej vody obsahuje $54 \cdot 10^{-5}$ g jódu. Ostatné izotopy jódu s hmotnostnými číslami $108 \div 126$, $128 \div 144$ sú rádioaktívne. Praktický význam majú izotopy ^{123}I , ^{125}I , $^{131}\text{I} \div ^{135}\text{I}$. V produktoch štiepenia uránu a plutónia podiel izotopov $^{131}\text{I} \div ^{135}\text{I}$ predstavuje asi 20% beta aktivity čerstvých produktov jadrového štiepenia. Napriek tomu, že majú krátke doby polpremeny: $^{131}\text{I} — T_{1/2} = 8,04$ dňa, $^{132}\text{I} \div ^{135}\text{I} — T_{1/2} =$ hodiny), predstavujú hlavné nebezpečenstvo pre obyvateľstvo v miestach spadu a taktiež pri radiačných haváriách v jadrových elektrárnach. Po uvoľnení rádiojódu do životného prostredia sa on zúčastňuje v procesoch migrácie, obyvateľstvo ho prijíma hlavne potravným reťazcom: rastliny → človek, rastliny → živočíchy → človek, voda → vodné živočíchy → človek. Hlavným zdrojom rádiojódu sú listy a mlieko.

Rádiojód sa intenzívne sorbuje (do 100%) a akumuluje sa v štítnej žľaze (viac ako 30%). Dokonca pri prijímaní nevelkých množstiev jódu, vzhľadom na malú hmotnosť štítnej žľazy (u detí niekoľko gramov a u dospelých okolo 30 g), sa v nej absorbujú veľké dávky žiarenia, ktoré vedú k narušeniu viacerých funkcií štítnej žľazy a ku vzniku nádorov nielen v štítnej žľaze, ale aj v iných endokrínných žľazách a orgánoch, ktoré sú funkčne tesne spojené so štítnou žľazou (mliečna žľaza a gonády). Zvláštne nebezpečenstvo predstavuje príjem rádiojódu deťmi. Radiačné poškodenie štítnej žľazy u detí sa môže prejaviť na možnom vzniku zhubných nádorov, ale aj na ich fyzickom a psychickom vývoji. Je známe, že počet prípadov vzniku rakoviny štítnej žľazy u detí v zóne rádioaktívnej kontaminácie pri havárii na Černobyľskej atómovej elektrárni značne prekročil prognózovaný počet, našťastie ich diagnostikovali v skorých štádiách vývoja.¹²

Rádiojód, osobitne izotopy ^{131}I a ^{125}I , sa často aplikujú v nukleárnej medicíne na diagnostické i terapeutické účely.¹³ Izotop ^{125}I sa získava jadrovou reakciou:¹



Izotop ^{131}I sa separuje z produktov jadrového štiepenia, ale taktiež sa získava pri ožiarení telúru neutrónmi: $^{131}\text{Te}(n, \beta)^{131}\text{I}$.

Plutónium [Pu]. Plutónium patrí k transuránovým prvkom. Je známych 20 rádioaktívnych izotopov s hmotnostnými číslami od 228 do 247, u ktorých doby polpremeny $T_{1/2}$ sú od 2,00 μs (^{229}Pu) až do 80 miliónov rokov (^{244}Pu). Praktický význam majú rádioizotopy ^{236}Pu a ^{246}Pu , ktoré vznikajú v jadrových reaktoroch. Najväčší význam má ^{239}Pu ($T_{1/2} = 2,44 \cdot 10^4$ rokov), ktorý sa používa ako štiepny materiál v jadrových reaktoroch a jadrových zbraniach. Izotop ^{239}Pu sa získava z uránu-238 ožarovaním neutrónmi v špeciálnych jadrových reaktoroch. Plutónium s potrebnou čistotou sa separuje z ožiareného uránu v rádiochemických závodoch. ^{239}Pu je alfa žiarič s dlhou dobou polpremeny, patrí k jedným z najnebezpečnejších rádionuklidov pri prijímaní organizmom človeka. Emituje aj nízkoenergetické gama a röntgenové žiarenie.

Organizmom človeka môže byť plutónium prijímané hlavne inhalačne a cez poškodenú kožu (rany a popáleniny). Zadržiavanie plutónia v pľúcach závisí od disperzivity inhalovaných aerosólov. V miestach lokalizácie sa tvoria vysoké dávky, 50% dávky vzniká v rámci pravdepodobnej dĺžky života ľudí. Resorpcia (vstrebávanie) plutónia v tenkom čreve je nízka, pre ťažko rozpustné zlúčeniny je $3 \cdot 10^{-5}$, u komplexných zlúčenín je okolo 2. U detí je resorpcia oveľa vyššia. Resorbované plutónium sa deponuje predovšetkým v kostre a v pečeni. Z organizmu sa vylučuje pomaly. Ako neskorý následok príjmu plutónia organizmom môže dôjsť ku vzniku osteosarkómu a rakoviny pľúc. Vo svete sa nahromadilo veľké množstvo plutónia. Nedá sa vylúčiť, že sa dostane do rúk teroristov, ktorí ho môžu použiť na teroristické účely. Na tieto účely nie sú potrebné veľké množstvá a vysoká čistota plutónia, ako na skonštruovanie jadrových hlavíc.

Ochrana pred nukleárnym terorizmom

Pre vylúčenie možnosti radiačného terorizmu je potrebné:

- sprísniť kontrolu nad výrobou, skladovaním, prevádzkou a likvidáciou rádioaktívnych zdrojov;
- nahradiť rádioaktívne zdroje v rôznych technológiách zdrojmi s menšou toxicitou;
- zmeniť radiačné technológie na technológie bez zdrojov ionizujúceho žiarenia (napríklad používať urýchľovače na generovanie žiarenia).

V prípade teroristického útoku hlavnou úlohou radiačnej ochrany obyvateľstva je:

- zabrániť vzniku deterministických efektov u obyvateľstva znížením dávok ožiarenia pod prahovú úroveň ich vzniku;
- prijať adekvátne opatrenia na zníženie pravdepodobnosti vzdialených stochastických následkov ožiarenia – kancerogénnych a genetických so zohľadnením lekárskeho a sociálnoekonomických faktorov.

V počiatočnom období sa zníženie dávok dosahuje:

- mimoriadnou evakuáciou obyvateľstva;
- dočasným používaním úkrytov;
- ochranou dýchacích orgánov, kožného povrchu a slizníc;
- poskytnutím prvej lekárskej pomoci (postihnutie môže mať komplikovaný charakter – ožiarenie spojené s mechnickými úrazmi, popáleninami a pod.).

Následne je potrebné vykonávať:

- stálu alebo dočasnú evakuáciu obyvateľstva z lokalizovaného územia;
- dekontamináciu budov, stavieb, technológií, celého kontaminovaného územia;
- radiačnú a dozimetrickú kontrolu, normovanie, kontrolu potravín, vrátane zákazu používania potravín kontaminovaných nad povolené limity;
- minimalizovať pôsobenie iných škodlivých neradiačných faktorov;
- zvýšiť rezistentnosť a antikancerogénnu ochranu ľudí.

Poskytnutie prvej pomoci a neskoršieho kvalifikovaného liečenia sa riadi fyzikálno-chemickými vlastnosťami inkorporovaných rádionuklidov, ktoré použili teroristi. Je potrebná dozimetrická kontrola a aplikovanie komplexných opatrení na urýchlenie vylučovania rádionuklidov z organizmu postihnutých. Pri realizácii týchto opatrení sa postupuje podľa zodpovedajúcich odporúčení.¹⁴ Nie je možné odkladať realizáciu týchto opatrení až do získania úplných údajov dozimetrickej kontroly konkrétnej osoby a vytvorenej situácie.^{15,16}

Teroristi sú nebezpeční, nevyspytateľní a nie je prípustné ich podceňovať. Terorizmus ohrozuje všetky krajiny a boj s ním musí byť koordinovaný na základe medzinárodnej

spolupráce. V tomto boji s terorizmom, vrátane radiačného terorizmu, nesmú prevládať politické motívy, prípadne snaha deliť teroristov na „zlých“, ktorí škodia danej krajine, resp. bloku, a na „dobrých“, ktorí vedú boj proti politickým alebo ekonomickým konkurentom, oslabujúc ich.

Zodpovedajúce bezpečnostné zložky, vrátane rozviedky, polície, hasičského a záchranného zboru, jednotiek civilnej ochrany (prípadne analogických jednotiek v iných krajinách), ako aj ozbrojené sily a zdravotníctvo musia byť pripravené a technicky vybavené na zásah v prípade radiačného terorizmu, resp. iných teroristických útokov.¹⁷⁻²⁶

Literatúra:

1. Durdiak J., Východiská pre využitie toxických chemických látok na teroristické účely, Liptovský Mikuláš, MOSR, 2002.
2. Analýza bezpečnostných výziev 21. storočia z pohľadu SR (vo svetle výsledkov summitu NATO v Bukurešti a pripravovanej revízie Európskej bezpečnostnej stratégie - s dôrazom na terorizmus a kybernetickú obranu.
3. Ford, James L. "Radiological Dispersal Devices: Assessing the Transnational Threat", National Defense University.
4. Ferguson Ch. D., Potter W. C., Sands A., Spector L. S., Wehling F. L. The four faces of terrorism, Monterey, Monterey Institute of International Studies, 2004, ISBN 1-885350-09-0.
5. High Frontier, "In the News", High Frontier Newswatch, Arlington, VA: High Frontier: April 1990, p. 2; Sept. 1990, p. 3; May 1991, p. 3; July 1991, p. 5; Sept. 1992, p. 2.
6. Lee, Rensselaer W. III, Smuggling Armageddon: The Nuclear Black Market in the Former Soviet Union and Europe, 1998, New York, NY: St. Martin's Press.
7. Kushner H. W., Encyclopedia of Terrorism, Long Island University, Sage Publications Inc., 2003, ISBN 0-7619-2408-6.
8. Jenkins B. M., *Will Terrorists Go Nuclear?* The Rand Corp., Santa Monica, CA, 1975; Prometheus Books, September 2008, ISBN-13: 9781591026563.
9. Public Health: Seattle and King County, "Dirty Bombs or RDDs".
10. *The Radiological Accident in Goiania*. Vienna, IAEA, 1988. 157 pp. ISBN 92-0-129088-8.
11. Wirz Ch., Egger E., Use of nuclear and Radiological Weapons by Terrorists? International Review of the Red Cross, Volume 87, Number 859, september 2005.

12. Chernobyl's Legacy: *Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, Russian Federation and Ukraine*. The Chernobyl Forum: 2003-2005. Second rev. Ed. D. Kinley III (Ed.). Vienna, IAEA, 2006.
13. Michael J. Welch, Carol S. Redvanly: *Handbook of radiopharmaceuticals: radiochemistry and applications*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2003, 2005.
14. AFFRI Pocket Guide: *Emergency Radiation Medicine Response*. Uniformed Services University, 2008.
15. *Disaster Preparedness for Radiology Professionals. Response to Radiological Terrorism. A Primer for Radiologists, Radiation Oncologists and Medical Physicists*. Government Version 3.0. American College of Radiology, 2006.
16. Mark E. Byrnes, David A. King, and Philip M. Tierno Jr. *Nuclear, Chemical, and Biological Terrorism: Emergency Response and Public Protection*. CRC Press LCC, Boca Raton, FL, 2001. ISBN 0-203-50765-7.
17. Bezpečnostná stratégia Slovenskej republiky. Schválená Národnou Radou Slovenskej republiky dňa 27. septembra 2005.
18. Návrh Katalógu opatrení Národného systému reakcie na krízové situácie.
19. Rozhodnutie Rady 2009/569/SZBP z 27. júla 2009 o podpore činností OPCW v rámci vykonávania Stratégie EÚ proti šíreniu zbraní hromadného ničenia (*Akty prijaté podľa Zmluvy o EÚ*). Úradný vestník Európskej únie, L 197/96 (SK).
20. Piroh, J. Geopriestorové údaje v e-governmente, pri riadení štátu a v krízovom manažmente.
21. Juza, P. Proliferácia zbraní hromadného ničenia a hrozba terorizmu.
22. Mária Kutašová, Broňa Pinterová, Lucia Weinbergerová, Marián Zachar, Slovenské bezpečnostné fórum 2008.
23. Lynn E. Davis, Tom LaTourrette, David E. Mosher, Lois M. Davis, David R. Howell: *Individual Preparedness and Response to Chemical, Radiological, Nuclear, and Biological Terrorist Attacks*. Rand Corp. 2003. ISBN: 0-8330-3473-1.
24. Department of Defense: *21st Century Complete Guide to Bioterrorism, Biological and Chemical Weapons, NBC Threats, WMD, Germs and Germ Warfare, Nuclear and Radiation Terrorism, ... Measures, and Survival Information* (DVD-ROM) (CD-ROM). Progressive Management, 2004. ISBN-13: 978-1592481828.

25. U. S. Government: 2002 Radiation Threats: Complete Guide to Federal Documents and Plans on Nuclear and Radioactive Terrorism and Risks (CD-ROM). 12201 pages. SBN: 978-1931828260.
26. INCIDENT MANAGEMENT HANDBOOK. Ministry of Transport / Directorate General of Public Works and Water Management Rijkswaterstaat (RWS), 2004.