

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA

**Následky výbuchu špinavé bomby**

Diplomová práce

Autor: Bc. Alexandra Sadílková

Vedoucí práce: Mgr. Jiří Havránek

V Českých Budějovicích dne 26. května 2008

## **ABSTRACT**

Modern times have brought along a strange and dangerous phenomenon, nuclear weapons and terrorism. Due to the growing threat of possible abuse of weapons of mass destruction by terrorist groups as well as the unsafe situation in the world it is necessary to point out possible safety risks and weak points and opportunities to abuse both nuclear material and nuclear weapons for terrorist acts.

One of the relatively cheap and easily available instruments suitable for a terrorist attack is the dirty bomb. Using conventional charges (TNT, Semtex etc.) it disperses radioactive materials. Its use is based on contamination of the area where the explosion took place and on creating a radioactive cloud, which may travel rather fast depending on the wind, and which pollutes other areas with its fall-out particles. Such areas become dangerous to live or stay in for a longer period due to the danger of irradiation sickness and cancer. The polluted areas must be decontaminated, which is a very difficult task. Another problem that may occur after the explosion of such a bomb is also panic as well as burns and injuries caused by shells.

This work deals with possibilities of radiological weapon construction, the results of using a dirty bomb and with the work of integrated emergency services on such an occasion.

***Prohlášení:***

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách

V Českých Budějovicích dne 26. května 2008

.....  
Bc. Alexandra Sadílková

***Poděkování:***

Touto cestou bych ráda poděkovala panu Mgr. Jiřímu Havránkovi za odborné vedení, vstřícnost, praktickou pomoc, cenné připomínky a rady při zpracování této diplomové práce

Bc. Alexandra Sadílková

<b>OBSAH</b>	strana
<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>1. SOUČASNÝ STAV</b> .....	10
<b>1.1 Fyzikální úvod k problematice ionizujícího záření</b> .....	11
<b>1.1.1 Druhy záření</b> .....	12
<b>1.1.2 Základní pojmy, veličiny a jednotky</b> .....	13
<b>1.1.3 Způsoby ozáření osob</b> .....	17
<b>1.1.3.1 Zevní ozáření</b> .....	17
<b>1.1.3.2 Povrchová (vnější) kontaminace</b> .....	18
<b>1.1.3.3 Vnitřní kontaminace</b> .....	18
<b>1.1.4 Biologické účinky ionizujícího záření</b> .....	19
<b>1.1.4.1 Deterministické účinky</b> .....	19
<b>1.1.4.2 Stochastické účinky</b> .....	20
<b>1.2 Dekontaminační postupy při radioaktivním zamoření</b> .....	20
<b>1.2.1 Mechanismy a způsoby šíření radioaktivních látek</b> .....	21
<b>1.2.2 Dekontaminace – dezaktivace</b> .....	21
<b>1.2.3 Dekontaminační činidla pro dezaktivaci</b> .....	22
<b>1.2.4 Dekontaminační postupy</b> .....	23
<b>1.2.4.1 Hromadná dekontaminace osob</b> .....	23
<b>1.3 Základní technika k detekci zdrojů ionizujícího záření</b> .....	24
<b>1.4 Současný terorismus</b> .....	24
<b>1.5 Ultraterorismus</b> .....	26
<b>1.5.1 Jaderný terorismus</b> .....	29
<b>1.5.1.1 Jaderné zbraně</b> .....	31
<b>1.5.1.2 Kufříkové bomby</b> .....	31
<b>1.5.2 Radiologický terorismus</b> .....	33
<b>1.5.2.1 Radiologické (izotopové) zbraně</b> .....	34
<b>1.5.2.2 Špinavá bomba</b> .....	35
<b>1.6 Některé radioaktivní prvky použitelné k výrobě špinavé bomby ...</b>	36
<b>1.6.1 Americium (Am)</b> .....	36

1.6.2 Cesium (Cs) .....	37
1.6.3 Iridium (Ir) .....	39
1.6.4 Kalifornium (Cf) .....	40
1.6.5 Kobalt (Co) .....	41
1.6.6 Plutonium (Pu) .....	43
1.6.7 Radium (Ra) .....	45
1.6.8 Stroncium (Sr) .....	47
1.6.9 Uran (U) .....	49
1.7 Zdroje ionizujícího záření zneužitelné k výrobě špinavé bomby ....	51
1.7.1 Dispersibilita použitých radionuklidů .....	52
1.8 Přehled oborů a pracovišť, na kterých se používají radionuklidové zdroje záření .....	53
1.8.1 Eliminátory elektrostatického náboje .....	55
1.8.2 Čidla ionizačních hlásičů požáru .....	55
1.8.3 Indikátory poloh a hladin .....	56
1.8.4 Defektoskopické přístroje a jejich součásti .....	56
1.8.5 Lékařské ozařovače a zářiče .....	57
1.8.6 Radioizotopový termoelektrický generátor .....	57
1.9 Některé radiační nehody .....	58
1.9.1 Taiwan – r. 1982 .....	58
1.9.2 Juarez, Mexiko – r. 1983 .....	59
1.9.3 Goiânia, Brazílie – r. 1987 .....	59
1.9.4 Los Barrios, Španělsko – r. 1998 .....	61
1.9.5 Gruzie – r. 2000 .....	61
1.10 Modelování radiologických dopadů radiačních havárií .....	61
1.10.1 Program Geografický informační systém GIS .....	62
1.10.2 Program TerEx .....	63
1.10.3 Systém RaCon .....	63
1.11 Integrovaný záchranný systém .....	64
<b>2. CÍL PRÁCE A HYPOTÉZA .....</b>	<b>66</b>

<b>3. METODIKA</b> .....	<b>67</b>
<b>4. VÝSLEDKY</b> .....	<b>68</b>
<b>4.1 Zařízení k radiologickému rozptylu</b> .....	<b>68</b>
4.1.1 Neexplozivní disperzní metody .....	68
4.1.2 Skryté uzavřené radioaktivní zdroje (zařízení k radiologické expozici) .....	68
4.1.3 Disperze při explozi (špinavá bomba) .....	69
<b>4.2 Dostupnost radioaktivního materiálu k výrobě špinavé bomby</b> .....	<b>69</b>
<b>4.3 Příklady možných scénářů radiologického útoku</b> .....	<b>71</b>
4.3.1 Neexplozivní metody .....	71
4.3.1.1 Rozprášení radionuklidu ventilací .....	71
4.3.1.2 Použití práškovacího letadla, rozptýlení z budov .....	72
4.3.2 Explozivní metody .....	72
4.3.2.1 Výbuch kamionu .....	72
4.3.2.2 Výbuch špinavé bomby .....	73
<b>4.4 Postup složek IZS při výbuchu špinavé bomby</b> .....	<b>73</b>
4.4.1 Charakter a druh mimořádné události .....	74
4.4.2 Velitel zásahu a řízení záchranných a likvidačních prací .....	75
4.4.3 Odpovídající stupeň poplachu .....	76
4.4.4 Časové vymezení zásahu .....	76
4.4.5 Očekávaná disponibilní sestava základních složek IZS .....	76
4.4.6 Nutné nebo doporučené využití ostatních složek IZS .....	77
4.4.7 Přehled právních předpisů a smluv platných v souvislosti s výbuchem radiologické zbraně .....	78
4.4.8 Postup velitele zásahu .....	80
4.4.9 Úkoly operačních středisek .....	84
4.4.10 Úkoly a činnosti sil a prostředků jednotek požární ochrany .....	85
4.4.11 Úkoly a činnosti sil a prostředků Policie ČR .....	91
4.4.12 Úkoly a činnosti sil a prostředků zdravotnické záchranné služby.....	92

4.4.13 Úkoly a činnosti sil a prostředků Státního úřadu pro jadernou bezpečnost .....	94
4.4.14 Úkoly a činnosti sil a prostředků Armády ČR .....	96
4.4.15 Úkoly a činnosti sil a prostředků Celní správy ČR .....	97
4.5 Práce lékaře ZZS při hromadném výskytu postižení osob .....	98
4.6 Likvidace následků radioaktivního zamoření .....	99
<b>5. DISKUSE .....</b>	<b>100</b>
<b>6. ZÁVĚR .....</b>	<b>108</b>
<b>7. POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>109</b>
<b>8. KLÍČOVÁ SLOVA .....</b>	<b>113</b>
<b>9. SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>114</b>
<b>10. PŘÍLOHY .....</b>	<b>115</b>



## ÚVOD

V rámci současné války proti terorismu je jednou z nejrizikovějších zbraní, kterou by mohli teroristé reálně použít, špinavá bomba. Teroristické skupiny ji mohou zneužít pro svůj útok, protože je to pro ně levný a konstrukčně jednoduchý prostředek. Doposud bylo vynaloženo mnoho prostředků na to, aby se teroristé nemohli zmocnit nukleární zbraně, a poněkud byla opomíjena závažnost útoku radiologickou zbraní. Nejedná se přitom o žádnou novinku, úvahy o využití radiologické zbraně se objevují již od počátku jaderného věku.

Tato práce tedy zpracovává možnosti sestrojení radiologické zbraně, případné dopady při jejím použití a postup složek integrovaného záchranného systému při výbuchu špinavé bomby.

## 1. SOUČASNÝ STAV

Moderní doba s sebou nese zvláštní a nebezpečný fenomén v podobě jaderných zbraní a terorismu. Provedení testu jaderné nálože Gadget v Alamogordu a shození jaderných bomb Little Boy a Fat Man na japonská města Hirošimu a Nagasaki odstartovalo studenou válku, která dramaticky formovala obraz našeho světa.

Také u nás se ještě před dvaceti lety mluvilo o zneužití atomové energie poměrně často, ale současný zájem české veřejnosti, v porovnání například s anglosaskými zeměmi, je dosti vlažný. Možná to svědčí o tom, že jsme se s jadernou zbraní nebo v jejím stínu naučili žít. V zásadě nepochybujeme o fatálních důsledcích jaderné války, ale když položíte průměrnému Čechovi otázku, zda takovou válku považuje za možnou, odpoví odmítavě. Generální tajemník OSN Kofi Annan při zahajování konference signatářů Smlouvy o nešíření jaderných zbraní 24. dubna 2000 v New Yorku uvedl, že jaderný konflikt je i na začátku nového tisíciletí strašlivou, ale reálnou možností, s níž lidstvo musí počítat. Ředitel mezinárodní agentury pro atomovou energii Muhammad Baradej 24. ledna 2004 dokonce prohlásil, že nebezpečí jaderné války nikdy nebylo tak velké jako dnes<sup>(33)</sup>.

Se stoupající hrozbou použití zbraní hromadného ničení ze strany teroristů a nestabilního vývoje bezpečnosti ve světě, je na místě poukázat na případné nedostatky, možná bezpečnostní rizika, slabá místa a možnosti zneužití jaderného materiálu a jaderných zbraní k teroristickým činům. V současnosti se tato opatření po 11. září změnila a zdůrazňují tuto možnost útoku. V souvislosti s touto hrozbou se objevuje pojem „ultraterorismus“. Tito ultrateroristé využívají zbraní hromadného ničení. Budování systému protiteroristických opatření by tedy mělo zamezovat růstu a rozmachu radiačního terorismu. V těchto opatřeních jsou zahrnuta jak opatření mezinárodněprávní, tak opatření organizační a ochranná. Mezinárodněprávní boj proti terorismu se opírá spíše o právo trestní než o zákony o využívání a nakládání s radioaktivními látkami. Opatření ochranná a organizační se opírají o postupy radiační ochrany, krizového a havarijního plánování. Boj proti terorismu v sobě rovněž zahrnuje zpřísnění kontrol na letištích a hraničních přechodech, protože touto cestou teroristé mohou snadno ohrožovat svět<sup>(38)</sup>.

Protože tato práce spojuje jak fyzikální aspekty radiologické zbraně, tak problematiku terorismu, v následujících kapitolách bych chtěla ke každému tématu uvést některé důležité poznatky.

### 1.1 Fyzikální úvod k problematice ionizujícího záření

Zdrojem přirozeného radioaktivního pozadí na naší planetě je kosmické záření, jehož dávkový příkon se mění s nadmořskou výškou a zeměpisnou šířkou. Dále záření emitované řadou radionuklidů přítomných v zemské kůře (např. uran, thorium), jejichž obsah se mění v závislosti na geologickém složení, vzduch, který obsahuje radon (radioaktivní plyn produkovaný rozpadem uranu v zemské kůře), jídlo a nápoje, které obsahují radionuklidy (především izotopy  $^{40}\text{Ca}$  a  $^{14}\text{C}$ ) a které se po požití stávají částí tkání a kostí<sup>(22)</sup>.

Ionizující záření (nesprávně též nazýváno radioaktivní) je tvořeno jednak proudy rychle letících elementárních částic, jednak elektromagnetickým vlněním. Rychlost pohybu elementárních částic určuje energii (vyjadřuje se v keV nebo v MeV) a pronikavost daného druhu ionizujícího záření. Elektromagnetické vlnění se šíří a proniká hmotou rychlostí světla. Jeho energii určuje vlnová délka. Čím je vlnová délka kratší, tím je větší energie tohoto druhu ionizujícího záření. Elementární částice a ionty, které nesou elektrický náboj, způsobují ionizaci nejen přímou srážkou s elektronem v obalu atomu, ale i elektrickým polem podél své dráhy. Toto záření je proto označováno též jako *přímo ionizující*. U neutronů (nemají elektrický náboj) a elektromagnetického záření vzniká ionizace předáním části energie přímou srážkou s elektronem v atomovém obalu a teprve ten nepřímo způsobuje další ionizaci na své dráze ve hmotě. Neutrony a elektromagnetické záření je proto nazýváno též zářením *nepřímo ionizujícím*.

Všechny druhy přímo ionizujícího záření mají na své dráze hmotou velký počet střetů, při kterých dochází ke ztrátě jejich energie. Proto je jejich pronikavost (penetrabilita) velmi malá a lez je snadno odstínit. Naproti tomu jsou srážky s elektrony u nepřímo ionizujícího záření velmi řídkým jevem a záření je velmi pronikavé. Odstínit ho mohou jen silné vrstvy hmoty vhodných vlastností. V případě elektromagnetického záření se jedná o hmotu s velkými těžkými jádry atomu (olovo, ochuzený uran, germanium).

Neutrony zase nejlépe brzdí hmota s velkým počtem lehkých jader (atomová jádra vodíku vázaného např. v parafínu nebo jiných organických sloučeninách)<sup>(22)</sup>.

### 1.1.1 Druhy záření

Záření *alfa* je přímo ionizující záření tvořené jádrem helia (dva protony a dva neutrony). Pronikavost záření alfa je charakterizována jeho doletem, který činí ve vzduchu jenom několik centimetrů, ve vodě nebo ve tkáni jenom zlomky milimetrů. Z tohoto důvodu lze záření  $\alpha$  odstínit již listem papíru. Radioaktivní přeměně  $\alpha$  podléhá například  $^{238}\text{U}$ .

Záření *beta* ( $\beta^-$ ,  $\beta^+$ ) je tvořeno rychlými elektrony ( $e^-$ ), pokud je nadbytek neutronů v jádře; nebo pozitrony ( $e^+$ ), pokud je nadbytek protonů v jádře, vysílaných z atomových jader. V porovnání se zářením alfa jsou částice beta mnohem lehčí, a proto se pohybují při stejné energii podstatně rychleji. Dolet záření beta je větší ve vzduchu, kde činí až několik metrů, ve vodě nebo ve tkáni pak jednotky až desítky milimetrů a u těžších materiálů desetiny až jednotky milimetrů. Záření beta může svou energii ztrácet tzv. *brzdným zářením*, což je elektromagnetické záření. Toto brzdné záření vzniká hlavně v prostředí obsahujícím prvky s vysokým atomovým číslem, a proto je lépe beta zářiče stínit plexisklem nebo jinou umělou hmotou než např. olovem.

Záření *gamma* je pronikavé krátkovlnné elektromagnetické záření obvykle jaderného původu. Vzniká při radioaktivním rozpadu řady radionuklidů, často současně se zářením beta nebo alfa. Pronikavost záření gamma závisí na jeho energii a je vyjadřována polovrstvou, která udává tloušťku daného materiálu, jež zeslabí záření na polovinu, dvě polovrstvy pak na jednu čtvrtinu, tři na jednu osminu atd. Z toho vyplývá, že pro záření gamma žádná vrstva neznamena úplnou absorpci.

Záření *Rentgenové* (též označováno jako *záření X*) je velmi podobné záření gama. Nevzniká však v jádru atomu, ale účinkem urychlených elektricky nabitých částic na elektronový obal atomového jádra, nejčastěji na vnitřní hladiny K nebo L atomového obalu. Rentgenové záření lze rozdělit na měkké s delšími vlnovými délkami, které vzniká při brzdění pohybu elektronů dopadajících velkou rychlostí na povrch kovu, vyzařují ho elektrony narážející na atomy, jeho spektrum je spojité; a na tvrdé, které má kratší vlnové

délky a jeho vlastnosti jsou podobné záření  $\gamma$ , nazývá se též charakteristické rentgenové záření, vyzařují ho excitované atomy kovu, které získaly energii díky dopadajícím elektronům, spektrum charakteristického záření je čárové.

Záření *neutronové* je proudem elektricky neutrálních částic. Jeho zdrojem je např. štěpná reakce jader těžkých atomů, čehož se využívá k získání energie v reaktorech jaderných elektráren<sup>(24)</sup>.

### 1.1.2 Základní pojmy, veličiny a jednotky<sup>(23,21)</sup>

#### *Radionuklid*

Radionuklidy jsou atomy, jejichž jádra se samovolně přeměňují na jiná jádra a při tom se zároveň uvolňuje ionizující záření. Každý prvek má své radionuklidy, v současné době je jich známo asi 1 300.

#### *Radioaktivní látka*

Radioaktivní látka je jakákoliv látka, která obsahuje jeden nebo více radionuklidů a jejíž aktivita nebo hmotnostní aktivita je z hledisek radiační ochrany nezanedbatelná.

#### *Zdroje ionizujícího záření*

Zdrojem ionizujícího záření je látka, přístroj nebo zařízení, které může vysílat ionizující záření nebo uvolňovat radioaktivní látky.

#### *Otevřený zářič*

Otevřeným radionuklidovým zářičem je radionuklidový zářič, který není zářičem uzavřeným.

#### *Uzavřený zářič*

Uzavřeným radionuklidovým zářičem je radionuklidový zářič, jehož úprava, například zapouzdřením nebo ochranným překryvem, zabezpečuje zkouškami ověřenou těsnost a vylučuje tak, za předvídatelných podmínek použití a opotřebování, únik radionuklidů ze zářiče.

### *Energie emitovaného záření*

Energie emitovaného záření se udává v elektronvoltech (eV), resp. V jejich násobcích keV nebo MeV ( $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ), je to velmi důležitá veličina, protože na nezávisí pronikavost ionizujícího záření.

### *Aktivita*

Aktivita charakterizuje množství radioaktivní látky. Aktivita je určena jako poměr středního počtu samovolných jaderných přeměn z daného energetického stavu v určitém množství radioaktivní látky za časový interval. Je to tedy počet radioaktivních přeměn vztažených na jednotku času. Aktivita radionuklidu klesá exponenciálně s časem. Jednotkou aktivity je Becquerel (Bq). Jednotka Curie je dříve užívanou jednotkou aktivity, která odpovídala aktivitě  $1 \text{ g }^{226}\text{Ra}$ , převodní vztah je  $1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$ .

### *Měrná aktivita*

Měrná aktivita je aktivita vztažená na jednotku hmotnosti. Základní jednotkou je  $\text{Bq.kg}^{-1}$ .

### *Plošná aktivita*

Plošná aktivita je aktivita vztažená na jednotku plochy. Základní jednotkou je  $\text{Bq.m}^{-2}$ . Pro kontrolu vnější kontaminace osob se používají přístroje, které měří plošnou aktivitu v  $\text{Bq.cm}^{-2}$ .

### *Objemová aktivita*

Objemová aktivita je aktivita vztažená na jednotku objemu. Základní jednotkou je  $\text{Bq.m}^{-3}$ , odvozenou pak  $\text{Bq.dm}^{-3}$  (resp.  $\text{Bq.l}^{-1}$ ) nebo  $\text{Bq.cm}^{-3}$  (resp.  $\text{Bq.ml}^{-1}$ ).

### *Poločas přeměny (rozpadu) $T_{1/2}$*

Poločas rozpadu a střední časový interval, během něhož se z jakéhokoliv počátečního množství radionuklidu samovolně radioaktivně přemění právě polovina tohoto množství. Jednotkou poločasu rozpadu je 1s. Poločas rozpadu je spolu s energií emitovaného záření jednou z charakteristických veličin pro jednotlivé radionuklidy.

### *Dávka D (absorbovaná dávka)*

Dávka je definována jako poměr střední energie předané ionizujícím zářením látce o dané hmotnosti. Základní jednotkou absorbované dávky je **gray (Gy)** – odpovídá  $\text{J.kg}^{-1}$ . Je to energie 1 Joule absorbovaná v kilogramu látky. Dřívější jednotkou

dávky byl **1 rad** (tedy  $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$ ). Název rad je odvozen od **r**adiation **a**bsorbed **d**ose (radiační absorbovaná dávka)

#### *Dávkový příkon P*

Dávkový příkon je definován jako přírůstek dávky za časový interval. Jednotkou je  $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$  v praxi se však používají nižší jednotky – spíše  $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ , nahrazující dřívější jednotku Rentgen (R). Dříve se používal též pojem dávková rychlost. Pokud jde o elektromagnetické záření anebo nenabitě částice, využívají se ionizační účinky sekundárních částic vznikajících při jejich interakci s hmotou. Je možné použít těchto aproximativních vztahů:  $1\text{R} = 10 \text{ mGy}\cdot\text{h}^{-1}$

#### *Dávkový ekvivalent (ekvivalentní dávka) H*

Pro účely radiační ochrany a ve vztahu ke stochastickým účinkům byl zaveden dávkový ekvivalent, který se týká biologických účinků různých druhů ionizujícího záření. Dávkový ekvivalent se stanovuje ze vztahu:

$$H = D \cdot Q$$

Kde D je střední absorbovaná dávka (Gy) v zasažené tkáni. Q je jakostní faktor. Jakostní faktor závisí na druhu a energii záření a vyjadřuje, kolikrát je dané záření účinnější než záření gama. Jednotlivé druhy záření je možné seřadit podle biologické účinnosti, kde jakostní faktory mají tyto hodnoty:

Záření $\alpha$	20
Záření $\beta$	1
Záření $\gamma$	1
Neutrony s energií menší než 10 keV	5
Neutrony s energií 10 keV až 100 keV	10
Neutrony s energií 100 keV až 2 MeV	20
Neutrony s energií 2 MeV až 20 MeV	10
Neutrony s energií větší než 20 MeV	5
Protony	5
Miony	1

Z uvedeného přehledu tak vyplývá, že v případě záření  $\beta$  a  $\gamma$  platí rovnost mezi dávkou a dávkovým příkonem. Dávkový ekvivalent vyjadřuje, že některé druhy záření mají při stejné dávce rozdílný účinek na člověka. Jednotkou je **Sievert (Sv)** – odpovídá  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Starou jednotkou byl **rem**, přepočítávací faktor je  $1 \text{ rem} = 0,01\text{Sv}$  (nebo  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ ). Název jednotky rem byl odvozen jako zkratka pro **rentgen equivalent man**. V praxi se často používají dílčí jednotky  $\mu\text{Sv}$  a  $\text{mSv}$ .

#### *Efektivní dávka*

Efektivní dávka je úměrná ekvivalentní dávce s koeficientem úměrnosti lišícím se pro různé orgány. Dále se určuje ještě tzv. *úvazek efektivní dávky a ekvivalentní dávky*, jako časová změna jejich příkonů. Společnou jednotkou je **Sievert (Sv)**. Lidská populace obdrží v celosvětovém průměru  $2,4 \text{ mSv}$  na člověka za rok, z toho z přirozených zdrojů celkem přibližně 68% tj.  $1,6 \text{ mSv}$ .

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, stanoví pro činnosti vedoucí k ozáření základní obecný limit pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření **1mSv za rok**. Tento limit se však nevztahuje na některé činnosti, např. na lékařskou diagnostiku a léčení.

Střední smrtná dávka  $\text{LD}_{50}$  je absorbovaná dávka, která během určitého času usmrtí 50% populace daného druhu. Pro člověka tato dávka leží mezi 4 a 5 Gy.

Měřením jednotlivých veličin ionizujícího záření jako je aktivita, dávka nebo dávkový příkon lze zjistit jak silný je zdroj ionizujícího záření. Je možno také vypočítat dobu, po kterou se může člověk v blízkosti takového zdroje zdržovat aniž by to ohrozilo jeho zdraví nebo život, nebo jakou celkovou dávku obdržel. Dále lze zjistit i o jaký druh radionuklidu se jedná. Tato měření jsou základem pro rozhodování, zda je přijatelné povolit spotřebu málo kontaminovaných píceňin či potravin, zda lze vstupovat do kontaminovaného území, zda je aktivita radionuklidů přítomných v ovzduší přijatelná pro člověka nebo zda ohrožuje jeho zdraví či život a zda se musí realizovat následná opatření.



### 1.1.3 Způsoby ozáření osob

Na osoby může působit ionizující záření třemi základními způsoby:

- zevním ozářením
- povrchovou (vnější) kontaminací
- vnitřní kontaminací

#### *1.1.3.1 Zevní ozáření*

Při zevním ozáření se zdroj ionizujícího záření nachází mimo osobu a na osobu působí pouze záření. Existuje vztah mezi aktivitou  $A$  zářiče a dávkovým příkonem  $P$  v okolí zářiče, který závisí na jeho aktivitě, druhu, energii emitovaného záření, na vzdálenosti od zářiče, jeho hmotnosti a tvaru<sup>(21)</sup>.

Zevní ozáření můžeme ještě rozdělit na celotělové a lokální. O celotělovém ozáření mluvíme tehdy, kdy je zářič ve větší vzdálenosti od těla anebo když je rozptýlen v okolí osoby. V takovém případě je dávka v těle člověka rozdělena rovnoměrně. K lokálnímu ozáření dochází tehdy, jestliže je osoba v blízkosti rozměrově malého zářiče, anebo když je vystavena úzkému svazku záření. Pak je dávka v těle rozložena nerovnoměrně.

Zevní ozáření zářením  $\beta$  způsobuje nerovnoměrné rozložení dávky. Vzhledem k již zmíněným vlastnostem záření  $\beta$  dochází především k ozáření povrchovému, tedy kůže nebo oka<sup>(23)</sup>.

Ochranu proti zevnímu ozáření lze charakterizovat třemi slovy:

- stínění – využití polovrstev, používání ochranných prostředků jako třeba zástěr, zástěn, úkrytů
- vzdálenost – využití manipulátorů, ustoupení od zdroje
- čas – minimální doba pobytu blízko zářiče, promyšlení pracovního postupu nebo zásahu před tím, než se člověk přiblíží ke zdroji ionizujícího záření.

### *1.1.3.2 Povrchová (vnější) kontaminace*

Při povrchové kontaminaci se nachází radionuklidy v podobě kapaliny nebo pevných částic na povrchu těla osob. Ke kontaminaci dochází přímým stykem s rozptýlenou radioaktivní látkou, potřísněním anebo sedimentací aerosolů či prachu. V těchto případech je nejvíce ohrožena kůže osoby zářením  $\beta$ , které proniká do hlubších vrstev kůže a způsobuje vážné popáleniny.

Povrchové kontaminace se postižené osoby mohou zbavit správně provedenou dekontaminací, v tomto případě zvanou dezaktivace. Je nutné si uvědomit, že radioaktivní látky nelze učinit neradioaktivními, lze je pouze odstranit (přemístit).

Částečnou ochranou proti záření  $\beta$  je ochranný oděv, proti záření  $\gamma$  ochranný oděv nechrání, protože účinky záření gama snižují polovrstvy.

Ochranou vůči vnější kontaminaci je především takový způsob vedení zásahu, kdy se doba pobytu záchranářů v kontaminovaném prostředí omezí na dobu nezbytně nutnou. Používání ochranné masky a dalších ochranných prostředků často vede ke snížení výkonnosti záchranářů, a tím de facto k době prodloužení pobytu. Z tohoto důvodu je třeba záchranáře včas střídat, aby obdržená dávka nebyla příliš vysoká a byla rovnoměrně rozložena<sup>(23, 24)</sup>.

### *1.1.3.3 Vnitřní kontaminace*

V případě vniknutí radioaktivní látky do organismu nelze provádět dekontaminaci. Pouze lze částečně za dodržení určitých pokynů lékaře snížit množství radionuklidů v těle, a tím snížit možný vliv záření na organismus.

Radioaktivní látky mohou do organismu proniknout:

- ingescí (požitím)
- inhalací (vdechnutím)
- průnikem do poraněné nebo poškozené vrstvy kůže (např. puchýře z popálenin, poleptání nebo nešetrné použití kartáčků při mytí)
- průnikem přes otevřenou ránu

Při proniknutí radioaktivní látky do organismu dochází k ozařování tkání. Některé radionuklidy se v organismu neváží a z organismu jsou postupně vylučovány, u jiných mohou probíhat různé chemické reakce, např. s lipidy, bílkovinami, nebo může nastat výměna určitého chemického prvku (neaktivního) za radioaktivní s podobnými vlastnostmi (např. I za  $^{131}\text{I}$ , Na za  $^{137}\text{Cs}$ , Ca za  $^{90}\text{Sr}$ ). To vše jsou také důvody, proč se nelze vnitřní kontaminace jednoduchým způsobem zbavit<sup>(21)</sup>.

V některých případech lze vnitřní kontaminaci předejít včasným použitím tzv. antidota, což jsou například známé tablety jodidu draselného, které se povinně rozdávají všem obyvatelům v zóně havarijního plánování jaderných elektráren, kdy se štítná žláza dopředu nasytí neaktivním jódem a pak již nepřijme radioaktivní jód.

Vnitřní kontaminace je nebezpečná hlavně u těch radionuklidů, které jsou toxické a které se pomalu vylučují z organismu. Pro jakoukoliv vnitřní kontaminaci platí, že je třeba alespoň odhadnout obdrženou dávku a zjistit množství a druh radionuklidů, které pronikly do organismu, aby mohly být odhadnuty případné následky či ohrožení dané osoby. Proto je třeba, aby taková osoba byla pod lékařským dozorem a řídila se jeho pokyny<sup>(23)</sup>.

#### 1.1.4 Biologické účinky ionizujícího záření

##### *1.1.4.1 Deterministické účinky*

Deterministické účinky (nestochastické) lze také popsat jako účinky, které nastanou vždy po obdržení určité dávky záření. Rozhodující úlohu v biologických účincích hraje radiolýza vody, která tvoří přibližně 70% hmotnosti člověka. Ionizující záření může způsobit tzv. buněčnou smrt, kdy jsou buňky zcela zničeny, a tím dochází k vyřazení funkčnosti takto postiženého orgánu. Aby však k takovému poškození došlo, musí být obdržená dávka vyšší než prahová dávka, která je pro celotělové ozáření 1 Gy. Tehdy se objevují příznaky akutní nemoci z ozáření jako je nechutenství, zvracení, únava, bolest hlavy. Okamžité usmrcení člověka vyřazením funkce nervové soustavy nastává při obdržení dávky kolem 80 Gy, které přichází v úvahu pouze při použití jaderných zbraní<sup>(24)</sup>.

#### 1.1.4.2 Stochastické účinky

Stochastickými účinky rozumíme ty, které jsou vyvolány změnami v genetické informaci buněk a nejsou závislé na velikosti obdržené dávky. Téměř 95% veškeré DNA se nachází v buněčném jádře a proto chemické změny, vyvolané ionizujícím zářením (radiolýza a následně reakce hydroxylových a vodíkových radikálů s DNA) vyvolávají mutace DNA, které se projevují nejdříve po několika letech nebo až po desítkách let jako rakovinné bujení. Radiačně nejcitlivější jsou buňky lymfatické tkáně, pohlavních žláz, sliznice tenkého střeva a kostní dřeně. Relativně nejvíce odolné jsou buňky pojivových tkání, kostní buňky a nervová tkáň. Neexistuje prahová dávka, pod kterou by nedocházelo k mutacím<sup>(24)</sup>.

### 1.2 Dekontaminační postupy při radioaktivním zamoření<sup>(23)</sup>

V různých dostupných odborných materiálech jsou uváděny odlišné definice pro dekontaminaci, o kterých lze polemizovat. Pro stanovení definice se vychází z toho, že dekontaminace je soubor metod, postupů, organizačního zabezpečení a prostředků k účinnému odstranění kontaminantů. Vzhledem k tomu, že úplné odstranění kontaminantů zpravidla není možné (zbytková kontaminace), dekontaminací rozumíme snížení škodlivého účinku kontaminantů na bezpečnostní úroveň, která neohrožuje zdraví a život osob a zvířat, a jejich likvidaci.

Cílem dekontaminace je pak snížení zdravotních následků a nenávratných ztrát a zkrácení doby používání ochranných prostředků. Dekontaminaci dělíme podle druhu odstraňovaných látek: chemických na *detoxikaci*

radioaktivních na *dezaktivaci*

biologických na *dezinfekci*

Dekontaminace se provádí u kontaminovaných záchranných týmů, zasažených osob, věcných prostředků a mobilní techniky, povrchů a terénu. Dekontaminace je mechanická (vysávání, smývání), fyzikální (odpařování, sorpce) a chemická (reakce kontaminantů s vhodným činidlem, při níž dochází buď k úplnému rozložení látky nebo přeměně na sloučeninu nebo formu sloučeniny, jejíž odstranění je snadnější, případně usmrcení mikroorganismů).

### 1.2.1 Mechanismy a způsoby šíření radioaktivních látek

Radioaktivní látky mají velké využití v průmyslu, zdravotnictví, energetice a jinde, proto je třeba počítat s případy, že může dojít k jejich nekontrolovatelnému šíření, a tudíž bude potřeba provést dekontaminaci zasažených povrchů a ploch.

Mezi mechanismy šíření patří:

- vznik radioaktivního mraku při havárii na jaderném zařízení a následné vypadávání radioaktivních látek,
- rozlití nebo rozsypání radioaktivních látek při manipulaci s nimi,
- výbuch jaderné zbraně,
- výbuch radiologické zbraně.

Mezi metody šíření radioaktivních látek a radionuklidů patří:

- únik radionuklidů do životního prostředí při vzniku havárie na jaderném zařízení,
- únik radioaktivních látek z přepravních kontejnerů při dopravní nehodě,
- použití jaderné zbraně,
- použití radiologické zbraně.

### 1.2.2 Dekontaminace – dezaktivace

Obecně platí, že dezaktivace se provádí obdobnými postupy, jako kterákoli jiná dekontaminace. Přesto má svá určitá specifika a problémy, která je třeba znát, aby prováděná dezaktivace mohla mít co nejvyšší účinnost. Jedním z nich je, že radioaktivní látky lze při dezaktivaci pouze odstranit, ale nelze je zničit. Více než při jiných druzích dekontaminace tak vyvstává problém, jak následně řešit postup při likvidaci vzniklých radioaktivních odpadů v souladu se zákonem.

Dezaktivace je vždy závislá na:

- druhu radionuklidů,
- aktivitě radionuklidů,
- fyzikálně-chemických a chemických vlastnostech (fyzikální adsorpce, iontová výměna, chemisorpce, difuze),

- skupenství radioaktivní látky, ve kterém se kontaminant vyskytuje,
- vlastnostech kontaminovaného povrchu (poréznost, fyzikálně-chemické a chemické vlastnosti),
- množství kontaminantu,
- typu a chemickém složení použitého dekontaminačního činidla, jeho teplotě (v případě použití roztoku),
- druhu dekontaminačního postupu.

Nelze opominout ani silné znečištění kontaminovaného povrchu, zvláště pak tuky, mazadly, ale i obyčejná vlhkost vzduchu ovlivní účinnost dekontaminace. Je nutno počítat s tím, že žádná dezaktivace nemůže být úplná, vzhledem k ulpívání radioaktivních látek na povrchu a následném vzniku vazeb na kontaminovaném povrchu.

Cílem dezaktivace je snížit riziko ozáření osob, redukovat šíření radioaktivních látek přenosem, zejména přímým kontaktem kontaminovaných a nekontaminovaných ploch, ale i zabránění druhotné vnitřní kontaminace.

Za úspěšně provedenou dezaktivaci lze považovat dosažení hodnot plošné aktivity nižších než  $10 \text{ Bq.cm}^{-2}$ . Při zjištění hodnot nižších než  $10 \text{ Bq.cm}^{-2}$  se dezaktivace neprovádí. Při vyšších naměřených hodnotách se zpravidla provádí.

### 1.2.3 Dekontaminační činidla pro dezaktivaci

Dekontaminační činidla by měla vždy obsahovat detergenty a tenzidy, které mají mycí a čistící účinky, dále látky, které mohou na sebe vázat uvolněné radionuklidy a v neposlední řadě i činidlo, zabraňující zpětnému vázání již uvolněných radionuklidů<sup>(22)</sup>.

Tenzidy snižují povrchové napětí vody na fázovém rozhraní a tím napomáhají zlepšení smáčení povrchu a zároveň usnadňují přechod radioaktivních látek do roztoku. Detergenty jsou látky rozpustné ve vodě, jejich základem je jeden či více tenzidů. Mají silné čistící a odmašťovací účinky.

Mezi látky, které na sebe váží uvolněné radionuklidy patří především různá komplexotvorná činidla, ale i třeba kyselina citronová, šťavelová nebo kyselina dietyltri-aminopentaoctová (DTPA).

Vhodnými prostředky k dezaktivaci jsou kyselá mýdla, saponáty (např. Jar) nebo speciální prostředek NEODEKONT, který byl vyvinut v ČR. NEODEKONT obsahuje abraziva, která jsou schopna odstranit ulpělé radioaktivní látky na povrchu, a dále látky které mu dodávají vlastnosti detergentu, emulgátoru, chemosorbentu a částečně i iontoměniče. Má velmi dobré smáčecí vlastnosti, schopnost vytvářet s ionty radionuklidů pevné chelátové vazby a proto má vynikající dezaktivací vlastnosti.

Jako dezaktivací směs lze použít 0,5%-ní roztok detergentu (např. Alfa) nebo saponátu anebo 1%-ní roztok kyseliny citronové.

#### 1.2.4 Dekontaminační postupy

Velkým problémem je provádění úplné dekontaminace většího počtu zasažených osob všemi typy kontaminantů. Na místě zásahu rozhoduje o provedení hromadné dekontaminace velitel zásahu. Současnými věcnými prostředky požární ochrany, kterými jednotky požární ochrany disponují, lze provést dekontaminaci pouze velmi omezeného počtu osob.

Další složkou integrovaného záchranného systému, která by byla schopna provádět dekontaminaci většího počtu osob je Armáda ČR. Uvedení těchto sil do pohotovosti pro provedení dekontaminace je však řádově v mnoha hodinách. Proto se tento systém bude jen obtížně přizpůsobovat základním složkám IZS, neboť není schopný zajistit okamžitou reakci.

Základní odlišnost vojenských dekontaminačních pracovišť oproti civilním je v tom, že jsou budována pro provádění dekontaminace při vojenských činnostech zejména v terénu, kdy dekontaminovanými osobami jsou pouze vojáci, tedy osoby znalé dekontaminace. Z hlediska civilního využití není citlivě řešena zejména otázka vztahu k životnímu prostředí, a to jímání a likvidace kontaminované odpadní vody, i když i tento problém začíná Armáda ČR již řešit.

##### *1.2.4.1 Hromadná dekontaminace osob*

Zkušenosti s prováděním hromadné dekontaminace osob při mimořádné události dosud nemáme. Některé poznatky byly získány při cvičeních ZÓNA, při kterých se

prověřovala připravenost složek IZS na mimořádnou událost vzniklou v jaderné elektrárně. Přesto lze předpokládat, že v případě skutečné mimořádné události, kdy bude nutno provádět hromadnou dekontaminaci osob, je situace zcela jiná, než v případě simulačních cvičení. Zejména to bude dlouhý čas pro přípravu dekontaminačního stanoviště, udržení klidu u zasažených osob, chybějící zdravotnický personál, který je schopen pracovat v ochranných prostředcích a provádět rozřídování osob určených k dekontaminaci a v neposlední řadě i nízká kapacitní propustnost v dekontaminačních pracovištích.

Zvládnutí takové situace si do budoucna nelze představit bez spolupráce s Armádou ČR, kterou je třeba přizpůsobit zejména časovým, operativním potřebám reakce na řešení takové události.

Základní faktory pro provádění hromadné dekontaminace jsou úspěšné a proveditelné dekontaminační postupy dostupnými prostředky, které musí zachránit životy a ochránit zdraví kontaminovaných osob a snížit nebezpečí, se kterým se setkávají zdravotníci při ošetřování zasažených osob.

### **1.3 Základní technika k detekci zdrojů ionizujícího záření**

Do standardního vybavení jednotek požární ochrany a mobilních skupin (Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, Policie ČR, Celní správy, Hasičského záchranného sboru aj.) patří přístroje ke zjišťování dávek (operativní dozimetrie), dávkových příkonů (např. DC-3E-98) a povrchové kontaminace (např. Contamat FHT 111 M)<sup>(11)</sup>.

### **1.4 Současný terorismus**

V historii lidstva již bylo mnoho okamžiků, kdy byla ohrožena bezpečnost států. Tyto hrozby s sebou nesly vysoké ztráty na životech, zničený majetek, rozšíření nemocí a zranění, zapříčinily vysídlení mnoha lidí a devastující ekonomické ztráty. Technologické možnosti, kterými dnes disponujeme a pokračující mezinárodněpolitické nepokoje výrazně zvyšují riziko ohrožení státu<sup>(7)</sup>.

K prevenci terorismu a účinnému boji proti němu je především nezbytné terorismus správně definovat. Při vymezování základního pojmu se definice budou lišit



podle slovníku politiků, právníků, policistů, armádních specialistů, sociologů, filozofů, psychologů i psychiatrů, stejně jako jejich přístupy k prevenci tohoto protispolečenského jevu, boje proti němu a odstraňování následků konkrétních teroristických akcí.

Teroristické metody se vyznačují vysokou společenskou nebezpečností, brutalitou a bezohledností. Jejich výběr a použití jsou podmíněny snahou o vyvolání maximálního psychologického efektu. Násilí používané teroristy není důsledkem okolností, ale je předem vypočteno tak, aby vyvolalo pocit strachu a ohrožení u co nejširšího okruhu lidí. Na pozadí násilného společenského napětí, frustrace a deprivace lze snadněji uskutečnit psychologické operace a manipulace k dosažení vytyčených cílů.

Teroristé často využívají výhrůžky, aby v lidech vyvolali strach a paniku, aby přesvědčili občany, že jejich vláda je bezmocná v boji s teroristy a také aby na sebe okamžitě strhli zájem médií a zajistili si publicitu<sup>(7)</sup>.

Terorismus je také považován za mimořádně ostrou formu psychologického boje, jehož následky se v moderní informační společnosti zesilují tlakem médií. Ta pak nechtěně napomáhají psychologickým tlakům teroristů<sup>(34)</sup>.

Teroristické činy a hrozby zahrnují atentáty, únosy osob, ale také únosy letadel, bombové útoky, počítačové pirátství a v neposlední řadě použití chemických, biologických, jaderných a radiologických zbraní. Zvláštního charakteru nabývá terorismus beroucí rukojmí, aby vyvolal politické, ekonomické či jiné tlaky a vydírání. Součástí teroristických aktivit jsou i zločiny, které mohou být zařazeny do sféry běžné kriminality nebo organizovaného zločinu. Proto se jen obtížně vymezuje hranice mezi běžnou kriminalitou a terorismem.

Vysoce rizikové cíle z hlediska teroristických útoků jsou vojenská a civilní vládní zařízení, mezinárodní letiště, velká města a strategicky důležitá místa. Také ale mohou teroristé útočit na velké skupinky lidí, například při státních oslavách, mohou kontaminovat vodní zdroje a potraviny, technická vybavení budov a velké korporace a jejich sídla. Navíc mohou teroristé šířit paniku a strach posíláním výbušnin, biologických nebo chemických látek poštou.

Pro termín terorismus bylo navrženo 120 různých pojmů, ale dosud nebyla přijata univerzální definice. Například z hlediska společenské vědy je terorismus definován jako

metoda opakované násilné akce vyvolávající silný pocit strachu, provedené skrytým jednotlivcem, skupinou nebo státem podporovanými aktéry, jako projev úchylného jedince, ze zločinných pohnutek či z politických důvodů, přičemž – na rozdíl od úkladné vraždy – cíle aktu násilí nejsou hlavními cíli. Bezprostřední lidské oběti násilí jsou zpravidla vybírány náhodně (příležitostné cíle) nebo selektivně (reprezentativní nebo symbolické cíle) z populace, která je cílem teroristického aktu, a slouží jako zdroj poselství.

Komunikační procesy, založené na hrozbě a násilí mezi teroristou (organizací), ohroženými oběťmi a hlavními cíli, jsou zneužívány ke zmanipulování publika (hlavního cíle) tím, že je vtaženo do záměru teroru jako cílů k vymáhání požadavků nebo cílů vzbuzující pozornost. To závisí na tom, zda je primárně vyhledáváno zastrašování, donucování nebo propaganda. Podle navrhované právní definice by akty terorismu měly být považovány za „mírový ekvivalent válečných zločinů“ (tj. úmyslně vedené útoky na civilní obyvatele, brání rukojmích, zabíjení zajatců)<sup>(35)</sup>.

### **1.5 Ultraterorismus**

Podobně jako u obecného pojmu „terorismus“ existují rozdílné názory na vymezení pojmu „jaderný, radiologický, chemický a biologický terorismus“. V zahraniční literatuře se můžeme setkat s různými pojmy, označujícími tento druh terorismu. Převládá označení „WMD terrorism“ (weapons of mass destruction - terorismus s použitím zbraní hromadného ničení). Zdánlivě jsou tyto pojmy stejné. Obecně jsou zbraně hromadného ničení definovány jako zbraně schopné vyvolat hromadné ztráty. Jednotlivé druhy těchto zbraní (jaderné, radiologické, chemické a biologické zbraně) se ale ve značné míře odlišují v letálních vlastnostech, destruktivní síle, realizovatelnosti ochrany, obrany a jejich potencionálních úkolech<sup>(27)</sup>.

Ultraterorismus můžeme chápat jako „použití jaderných výbušných zbraní, radiologických zbraní, chemických zbraní a biologických zbraní, bojových chemických látek, průmyslově vyráběných toxických chemických látek, radionuklidů nebo vysoce infekčních materiálů, jakož i jakékoliv teroristické akce proti jaderným, chemickým, petrochemickým a biologickým zařízením jednotlivci, nestátními skupinami nebo státem

podporovanými aktéry proti konkrétní sociální skupině k vyvolání strachu nebo teroru<sup>36</sup>.

Z tohoto pohledu ústřední místo ve skupině zbraní hromadného ničení zauímají jaderné zbraně, které se vyznačují enormní destruktivní silou. I když pro biologické zbraně není dosud prokázána účinnost ve velkém měřítku, mohou se tyto zbraně vyznačovat letalitou srovnatelnou s jednoduchou jadernou zbraní. Chemické zbraně, podobně jako biologické, nemají destruktivní účinky, naproti tomu se vyznačují prostorovým účinkem, a jejich nejmodernější typy – supertoxické nervové jedy – značnou zákeřností. Účinkují totiž v nepatrných koncentracích a velmi rychle. Navíc symptomy i lehké otravy mohou vyvolat hromadnou paniku.

Pro úplné vymezení obsahu pojmu ultraterorismus je nezbytné analyzovat především možné zdroje tohoto typu terorismu a motivace teroristických skupin, které se na tento typ terorismu orientují. Pojetí obsahu ultraterorismu ovlivní i další faktory, např. rozvoj informačních systémů, vědecký a technologický pokrok a další. Je potřebné přesně rozlišit mezi terorismem a použitím chemických a biologických materiálů na jedné straně a terorismem s použitím chemických, biologických a jaderných materiálů na straně druhé, ať už se jedná o použití jakýchkoliv toxických nebo patogenních látek, nebo armádních bojových látek vyvinutých a vyráběných pro válečné cíle<sup>8</sup>.

Radiologické zbraně, tj. záměrné rozptylování radioaktivního materiálu v ozbrojených konfliktech, nejsou kryty žádnou mezinárodní úmluvou. Při jednáních na konferenci o odzbrojení v Ženevě byl tento problém v roce 1984 stažen z programu, protože skupina nezávislých a neangažovaných zemí chtěla nesmyslně tento problém spojit s jaderným odzbrojením. Konečně ani z vojenského hlediska nebyly takové zbraně považovány za aktuální z hlediska účinnosti, neboť hromadné použití nepřináší ani rychlý efekt (jako u chemických zbraní), ani vysoký zpožděný efekt (jako bakteriologické zbraně). Má se za to, že takové zbraně proto ani ve vojenských arzenálech neexistují, i když tým inspektorů OSN po válce v Perském zálivu zjistil, že Irák se pokoušel tyto zbraně vyvíjet.

Vedle řady mnohostranných smluv, zakazujících zkoušky jaderných zbraní v různém prostředí, a významné smlouvy o nešíření jaderných zbraní (z roku 1968), která

navazuje na systém kontrol mírových jaderných zařízení pod dozorem Mezinárodní agentury pro jadernou energii (IAEA), je jádrem regulace jaderného zbrojení a dílčího odzbrojení systém bilaterálních dohod mezi USA a Ruskou federací. Dosud došlo k dílčímu jadernému odzbrojení na základě dohody o likvidaci raket středního a kratšího doletu, tj. s doletem 500 – 5500 km (z roku 1987), která je prvním dokumentem o jaderném odzbrojení dvoustranného charakteru, vyřazujícím v uvedených dvou státech konkrétní třídu nebezpečné výzbroje, která snižovala práh jaderného napadení. Je značným pokrokem, že z celkem asi 60 000 jaderných hlavic v 80. letech klesl jejich počet na méně než jednu polovinu, avšak počet držitelů se přes existenci Smlouvy o nešíření jaderných zbraní dále rozrostl o Indii, Pákistán, Izrael a pravděpodobně o některé další země (KLDR, Írán).

Lze oprávněně předpokládat, že zdroje pro výrobu teroristických zbraní může být s přihlédnutím k možnostem a podmínkám teroristických skupin i omezenosti jejich cílů (ve srovnání s vojenským použitím zbraní hromadného ničení v ozbrojených konfliktech) relativně snadno dostupný, ať už se jedná o odcizení vysoce infekčních materiálů, chemických látek nebo radionuklidů<sup>(36)</sup>.

Motivace teroristických skupin předurčuje prostředky ozbrojeného násilí. Odmyslíme-li si nevypočitatelné akce psychopatických jednotlivců, hnaných patologickým nutkáním znásilňovat a vraždit, můžeme motivy teroristických skupin hledat v rasové, národnostní, etnické, náboženské, politické, sociálněekonomické a dokonce i v sexuální a jiné výlučnosti plodící nenávisť. Existují však i další motivy vzhledem k tomu, že mezinárodní organizovaný zločin prorůstá s globálním obchodem s drogami a s ním zčásti propojeným obchodem se zbraněmi a lidmi i s korupcí. Tyto motivy souvisejí se zavražďováním, organizovaným bojem proti státní moci při „ochraně“ ilegálních činností, s ozbrojenými loupežemi k fyzickému získání finančních prostředků, dopravních prostředků, zbraní a podobně.

Nejnebezpečnější jsou teroristé, jejichž motivace vychází z náboženského nebo rasistického fanatismu, protože (na rozdíl od politicky motivovaných skupin) tito teroristé se nikomu nezodpovídají za své akce a metody a nezáleží jim na veřejném mínění. Od poloviny 80. let se snížilo množství levicových a národně separatistických skupin a

vzrostl počet pravicových radikálů, etnických extremistů a náboženských fundamentalistů. Nejvyšším cílem nových teroristů je samotné ničení, ničení pro ničení. Současní teroristé jsou principiálně ochotní použít k upoutání pozornosti jakýkoliv druh násilí, jsou stále bezohlednější, sofistikovanější a kvalifikovanější<sup>(36)</sup>.

#### 1.5.1 Jaderný terorismus

Principiálně existují pro jaderné teroristy tři cesty: použití ukradených jaderných bojových hlavic, zkonstruování improvizovaného jaderného prostředku využitím štěpného materiálu (plutonium nebo obohacený uran) nebo tzv. radiologický terorismus, tj. použití radioaktivního materiálu pro kontaminaci rozsáhlého území<sup>(34)</sup>.

Nebezpečí zneužití jaderných zbraní je často zveličováno, ačkoliv je myslitelné. Je však nutno připomenout, že z důvodu zabránění neautorizovanému použití má jaderná výzbroj řadu nezávislých pojistek, takže např. i nejjednodušší prostředek, tj. jaderné pumy (kde došlo k řadě ztrát a nucených odhozů), mají kromě několika pádových pojistek několik dálkových, ovládaných nejen z letounu, ale vedle toho především z velitelství strategických jaderných sil a kromě toho navíc i z hlavního centra, které ovládá např. v USA a Ruské federaci osobně hlava státu. Jaderná výzbroj všeobecně náleží k nejlépe střeženým strategickým státním zájmům. Přes složitou ekonomickou situaci v Rusku je pravděpodobnost ztráty jaderných zbraní malá. V této oblasti stále existuje vysoká úroveň zabezpečení a důsledná kontrola.

Zkonstruování jednoduchého jaderného prostředku není v současné době zcela nereálné. Principy konstrukce jaderných zbraní jsou dnes běžně známy a dostupné v otevřené vědecké literatuře. Experti soudí, že malá skupinka specialistů (fyziků, konstruktérů, chemiků a specialistů na výbušniny) by byla schopna zkonstruovat jednoduchý prostředek s výbušnou silou od zlomku kilotuny do několika kilotun tritového ekvivalentu). Pro prorvání, nejsilnější konvenční demoliční puma, která byla dosud použita, bomba vyvolávající zemětřesení (earthquake bomb, také známá jako „Grand Slam“), byla ekvivalentní 10 tunám trinitrotoluenu. Takové primitivní jaderné zbraně by vzhledem k velikosti a hmotnosti bylo možné umístit v nákladních automobilech nebo lodích a následně odpálit v hustě obydlených oblastech. Problémem

takového projektu je získání štěpného materiálu dostatečné kvality (zbraňové čistoty – weapon grade), nejméně 20 kg plutonia nebo 50 kg vysoce obohaceného uranu. V případě, že jako obalový materiál této jednoduché nálože je využit materiál s vysokou hustotou (např. přírodní uran), je dostačující množství 3 – 4 kg plutonia zbraňové čistoty a 8 – 12 kg vysoce obohaceného uranu. Nedávno odtajněné americké dokumenty odhalují, že významné explozivní síly může být dosaženo i s použitím plutonia reaktorové čistoty (reactor grade) v jaderné výbušnině<sup>(36)</sup>.

Nebezpečí zneužití jaderných materiálů je v současné době reálné. Nelegální obchod s jadernými materiály se dramaticky zvýšil po rozpadu Sovětského svazu. Předpokládá se, že Ruská federace a státy bývalého SSSR vlastní asi 1350 tun zbraňově vhodných štěpných materiálů, z kterých asi 700 tun je laborováno v jaderných zbraních a 650 tun v různých jiných formách. Část těchto materiálů není adekvátním způsobem zabezpečena proti zneužití. Existuje tak reálná hrozba, že materiály pro konstrukci jaderných zbraní by mohly být ukradeny nebo prodány teroristům nebo státům nevlastnícím jaderné zbraně.

V roce 1990 byly známy čtyři případy nelegálního obchodu s jadernými materiály, 158 případů v roce 1992, 241 v roce 1993 a několik set případů v roce 1994. Většinou se jednalo o materiály z ruského jaderného průmyslu, jaderných výzkumných ústavů a zdravotnických zařízení. Znepokojující je trend zvyšujícího se množství zadrženého radioaktivního materiálu, vhodného pro konstrukci jaderných zbraní. V roce 1992 se jednalo o mikrogramová množství plutonia ze zdrojů ionizujícího záření, v roce 1994 5,6 g plutonia v německém Tenčenu, potom 560 g směsi plutonia a uranu v Mnichově, obsahující více než 400 g plutonia, a konečně 2,722 kg vysoce obohaceného uranu (do 87,7%) ve formě oxidu uraničitého v roce 1994 v Praze. V prosinci 1998 ruská bezpečnostní služba zachytila pokus odvézt 18,5 kg radioaktivních materiálů, které by mohly být použity pro výrobu jaderných zbraní. Ruští oficiální činitelé tento pokus potvrdili v listopadu 1999. I když ruská vláda neuvolnila informace o typu tohoto materiálu, lze z některých náznaků předpokládat, že se jednalo buď o plutonium, nebo vysoce obohacený uran<sup>(36)</sup>.

#### *1.5.1.1 Jaderné zbraně*

Jaderné zbraně lze rozdělit do dvou základních kategorií: jaderné zbraně v užším slova smyslu a radiologické (nebo také izotopické) zbraně<sup>(31)</sup>.

Jaderné zbraně jsou založeny na využití energie uvolňované okamžitě po jaderné reakci. Podle druhu se dělí na jaderné zbraně štěpné a termonukleární. Působí ničivě mohutnou tlakovou vlnou, světelným zářením, tepelným zářením, pronikavou radiací, radioaktivním zamořením terénu a ovzduší. Pro demonstraci ničivé síly lze připomenout skutečnost, že jediná atomová puma o výbušné síle asi 15 kilotun trinitrotoluenu svržená dne 6. srpna 1945 na Hirošimu měla za následek okolo 140 000 obětí z řad civilního obyvatelstva. A na následky jaderného ozáření umírají lidé ještě dnes. K těmto druhům zbraní patří i neutronová zbraň, jejímž hlavním ničivým faktorem je, na rozdíl od ostatních zbraní, mohutné neutronové záření<sup>(5)</sup>.

V souvislosti s vývojem jaderných zbraní se považují atomové a vodíkové pumy vyvinuté ve 40. a 50. letech minulého století za první a druhou generaci těchto zbraní. Třetí generaci představuje již zmíněná neutronová puma vyrobená na základě koncepcí vyvinutých mezi 60. a 80. lety, která však nikdy nebyla dlouhodobě zařazena do vojenských arsenálů. V souvislosti s americkým záměrem na výzkum nových typů jaderných zbraní se hovoří o zbraních čtvrté generace, které by používaly minimální množství štěpného materiálu<sup>(29)</sup>.

#### *1.5.1.2 „Kufříkové bomby“*

Termín „kufříková jaderná zbraň“ je všeobecně používán k označení jakéhokoliv typu malých jaderných hlavic, přenosných a obsluhovaných jedním člověkem. Jejich ráže by měla dosahovat méně než 10 kilotun TNT a kombinované účinky by mohly mít potenciál k usmrcení desítek tisíc možná i více lidí v závislosti na hustotě obyvatelstva v místě odpálení nálože. V otázce tohoto typu jaderné zbraně je ale mnoho nejasností. Například jak mnoho bylo těchto jaderných zbraní v bývalém SSSR vyrobeno, a jestli vůbec byly zkonstruovány. V této souvislosti byla v průběhu uplynulých let uváděna ze strany amerických a především ruských neoficiálních a oficiálních představitelů řada rozporných informací, někdy spekulativního charakteru, týkajících se počtu, rozmístění,

bezpečnostního zajištění a statusu tohoto typu zbraně. Pokud se jedná o rozměry této zbraně, někdy se uvádí přesná velikost 60 x 40 x 20 cm, jindy se hovoří o jejím tvaru jako přenosném chladícím boxu (**příloha č. 1**).

Existence kufříkových zbraní se někdy dává do spojitosti se skutečností, že v době studené války Spojené státy a s největší pravděpodobností i tehdejší Sovětský svaz, vyvinuli jaderné dělostřelecké náboje ráže 152 mm a 155 mm, které podle některých nepotvrzených informací mohly stát u zrodu zmíněného typu zbraně. V neprospěch tohoto tvrzení však hovoří váha nábojů ráže 152 mm, která činí cca 60 kg. Pravděpodobnějším zdrojem pro zbraně by však údajně mohla spíše být atomová destrukční munice. V 60. letech USA vyvinuly a vyzkoušely sérii malých a přenosných jaderných zařízení. Zařízení s označením *atomic mines*, které představují miny se štěpným materiálem<sup>(38)</sup>.

Kufříkové bomby - přenosné, relativně lehké a malé zbraně byly původně vyrobeny pro speciální operace KGB. Byly tajně dopraveny diplomatickou cestou na území USA. Plánovalo se, že vycvičení agenti by v případě nukleárního útoku dopravili tyto bomby do amerických měst a odpálili je jako odvetné opatření (USA tajně plánovaly proti SSSR jaderný útok a sověti se na něj připravovali). Z tohoto důvodu byli (a možná, že stále jsou) dlouhodobě monitorováni nejvyšší američtí představitelé v armádě a ve vládě včetně prezidenta. V případě útoku proti Rusku by tak byla okamžitě a efektivně neutralizována klíčová americká města, vojenské základny, vládní budovy a byla by zcela přerušena jakákoliv elektronická a satelitní komunikace, na jejíž data se Američané spoléhají.

Generál Alexander Lebed 7. září 1997 v interview pro CBS prohlásil, že Rusové ztratili záznamy o více než 100 nukleárních bombách velikosti kufříku (60 cm x 40 cm x 20 cm). Každý z těchto kufříků je schopen usmrtit kolem 100 000 lidí. Zařízení navenek vypadá jako obyčejný kufřík a může být odpáleno jednou osobou během 30 minut po iniciaci bomby. Síla takovéto kufříkové bomby se pohybuje v rozmezí od 1 kilotun TNT do 10 kilotun TNT ve vazbě na míru nadkritického množství plutonia.

Plutonium je vhodné pro kufříkovou bombu zejména proto, že jeho kritické množství (tj. minimální množství pro rozvoj štěpné reakce) váží pouhých 10,5 kg, je-li



k dispozici dostatečně silný reflektor neutronů. Stačí obě části plutonia uložit do chráněného cylindrického obalu a zajistit mechanismus imploze, kdy je jedna část plutonia vystřelena na hliníkovém disku proti druhé. Nejedná se o klasickou jednostupňovou bombu na principu řetězové reakce, ale o dvoustupňovou termonukleární zbraň, která zesílí klasickou řetězovou reakci prostřednictvím izotopů vodíku až na 20 kT TNT. Původní konstrukce kufříkových bomb pocházela z laboratoří v Los Alamos<sup>(12, 30)</sup>.

### 1.5.2 Radiologický terorismus

Radiologický terorismus je v provedení mnohem snazší a proto také mnohem pravděpodobnější. Radioaktivní odpad nebo jiné radioaktivní látky jako plutonium, kobalt, cesium, jsou-li smíchány s konvenční výbušninou, se mohou snadno rozptýlit a vyvolat tak nebezpečné a dlouhodobé zamoření zvláště v městském prostředí.

Již ve druhé světové válce se Německo zabývalo myšlenkou na použití radioaktivního prachu k zamoření rozsáhlého území protivníka a nejpozději v roce 1949 tuto otázku diskutovali také američtí vědci včetně jednoho z iniciátorů vývoje vodíkové bomby Ernesta Lawrence<sup>(33)</sup>.

Od 50. let se s použitím radioaktivních látek již běžně počítalo pro případ tzv. radiologické války. Podle tehdejších představ se jako nejvýhodnější jevílo použití látek vyzařujících gama záření s krátkým poločasem rozpadu, maximálně několik týdnů nebo měsíců. Izotopy s kratším poločasem rozpadu by totiž nestihly projevit své bojové účinky a naopak izotopy s delším poločasem rozpadu vynikají menší intenzitou záření. Vojensky lákavé jsou například izotopy  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$  nebo  $^{137}\text{Cs}$ . Jako důkaz lze uvést případ z roku 1987, kdy v důsledku nesprávné manipulace došlo v brazilské Goiânii k rozptýlu práškového radioterapeutického zářiče s obsahem  $^{137}\text{Cs}$  o aktivitě asi 50 TBq. Dozimetrické kontrole bylo podrobena více než 112 000 lidí, 20 z nich bylo hospitalizováno pro akutní nemoc z ozáření a 5 lidí zemřelo<sup>(33)</sup>.

V podstatě až v 70. letech si zejména USA a SSSR uvědomily nebezpečí zneužití radioaktivního materiálu tímto neexplozivním způsobem a zabývaly se návrhem smlouvy na zákaz radiologických zbraní. V posledních letech 20. století nebyl problém

radiologické války nových rozměrů. Ať jsou již skutečné důvody jakékoli, tento fenomén je často spojován s rozpadem Sovětského svazu a ztrátou kontroly státu nad atomovým průmyslem. Britská stanice BBC 22. října 1995 oznámila, že čečenský předák Basajev opakovaně pohrozil Rusku použitím radioaktivních zbraní, bude-li pokračovat ve válce v Čečensku. V dubnu 1999 upozornil americký deník Washington Post a britské The Times na tvrzení americké výzvědné služby, že srbské síly nedaleko Bělehradu skladují tzv. „špinavé rakety“ naplněné radioaktivním materiálem, který lze výbuchem rozpráší a tím zamořit okolí. Prezident Clinton varoval, že v případě jejich použití bude odpověď USA „blesková a zdrcující“. Podle údajů Federace amerických vědců skladovala Jugoslávie v Institutu pro jaderné vědy ve Vinci asi 60 kilogramů obohaceného uranu, který dovezla ze Sovětského svazu pro experimentální jaderný reaktor<sup>(33)</sup>.

Po ničivých záříjových teroristických útocích jsou rovněž zvažovány různé katastrofické scénáře, které analyzují i možnosti pádu dopravního letadla na jadernou elektrárnu nebo sklad jaderného odpadu. Jaderné elektrárny a sklady radioaktivních odpadů chrání silné nádrže z nejkvalitnějšího betonu, vyplněné neméně kvalitní ocelí. Podle expertů by však žádný z energetických reaktorů, které jsou dnes ve světě v provozu, pravděpodobně neodolal nasměrovanému úderu těžkého dopravního letadla, přes ochranu silnou bezpečnostní obálku (containment). Větší problém představují sklady jaderného materiálu, které nejsou opatřeny tímto typem ochrany. Např. v severozápadní Francii (La Hague) se nachází 55 tun plutonia, 1484 tun jaderného paliva a 11 650 m<sup>3</sup> radioaktivního odpadu. V případě katastrofy by odtud vzešla zkáza nesrovnatelně větší, než byla černobylská<sup>(36)</sup>.

#### *1.5.2.1 Radiologické (izotopové) zbraně*

Isotopické zbraně jsou definovány již od roku 1979 jako jakékoliv zařízení způsobující kontaminaci prostředí radioaktivními látkami bez použití jaderné detonace.

Nejdůležitějším zástupcem této skupiny je tzv. špinavá bomba (Radiation Dispersal Weapon- RDW). Jde o dvousložkové zařízení tvořené konvenční výbušninou a jakoukoliv radioaktivní látkou. Při výbuchu pak dochází k prostému rozptýlu radioaktivní látky. Mohutnost výbuchu je určena množstvím konvenční výbušniny a pohybuje se

řádově v kilogramech TNT. Nejvhodnějšími radionuklidy zajišťující co největší ničivé následky jsou  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{252}\text{Cf}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  a  $^{90}\text{Sr}$ . Jde o látky s relativně dlouhým poločasem rozpadu, většinou vstřebatelné do organismu a v případě cesia a stroncia i inkorporaci při substituci za existující minerály. Přestože radiace způsobená výbuchem takovéto bomby bude nejspíš minimální, fakt že je vůbec nějaká radiace způsobí paniku.

Tyto radionuklidy lze získat v celé řadě lékařských zařízení, průmyslových podniků a také z jaderného odpadu.

Sestrojení špinavé bomby je limitováno jen přístupem k radioaktivním látkám a konvenčním výbušninám, tj. může být v inventáři jakékoliv organizace na světě, vládní i nevládní<sup>(31)</sup>.

Historie radioaktivních zbraní se dá vystopovat k roku 1943 kdy se o této možnosti zmiňuje brigádní generál Leslie Groves, jeden z účastníků projektu Manhattan. Radiologické zbraně jsou z vojenského hlediska považovány za zbytečné, protože cílové území se stane neobyvatelným, navíc, stejně jako biologické zbraně, účinek na protivníkovu armádu se projeví až po nějaké době. V roce 1987 byla v Iráku za vlády Saddama Hussaina zkoušena radiologická zbraň pro použití proti Iránu. Tyto zbraně se však ukázaly jako nepraktické, protože radioizotopy ve zbrani se rychle rozpadaly, zbraň se tak stala zbytečnou již po týdnu od výroby<sup>(9)</sup>.

#### 1.5.2.2 Špinavá bomba

Špinavá bomba je určité množství méněcenného radioaktivního materiálu smíchaného s konvenční průmyslovou trhavinou (**příloha č. 2**). Patří mezi radiologické zbraně, které jsou zařazeny mezi zbraně hromadného ničení, do podskupiny jaderných zbraní. Špinavá bomba využívá nálože s konvenční náplní (např. trinitrotoluenem, semtexem apod.) k rozptýlení radioaktivních materiálů a ve srovnání s výbušnými jadernými zbraněmi (zbraně štěpné, termonukleární, neutronové) je její bezprostřední účinek zanedbatelný. Při jejím odpálení tedy nedochází k žádnému obrovskému výbuchu. Její princip hlavně 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. To se pak stává nebezpečným pro další pobyt v něm, z důvodu nemoci z ozáření a dlouhodobě vzniku rakoviny. Zamořenou oblast je pak nutné dekontaminovat a to je velmi složité. Radiologický spad se totiž dokáže vázat s půdou či dokonce s betonem. Asi jedinou efektivní metodou je danou oblast opustit nebo zbourat, vybagrovat půdu do hloubky asi 0,5 m a veškerou suť odvézt a zakonzervovat jako radiologický materiál. Ztráty na životech by byly nízké, ale totéž nelze říci o škodách materiálních a ekonomických, nehledě na paniku, kterou by takový úder vyvolal (tak jako tomu bylo v Goiânii)<sup>(20)</sup>.

Účinek špinavé bomby (kromě psychologických aspektů) spočívá v zamoření určitého území radioaktivním zářením, přičemž nejčastěji diskutovanými materiály pro tento účel jsou gama emitory  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  nebo částice alfa vysílající  $^{241}\text{Am}$ , a  $^{238}\text{Pu}$ . V úvahu přichází i  $^{90}\text{Sr}$ . Nejdůležitější pro výrazná efekt této bomby je vytvoření technického zařízení, schopného vytvořit radioaktivní mrak distribuující záření na širokém prostoru. 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 ozářeními 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<sup>(28)</sup>.

## **1.6 Některé radioaktivní prvky použitelné k výrobě špinavé bomby<sup>(16, 19, 32)</sup>**

### **1.6.1 Americium (Am)**

Americium je sedmým členem z řady aktinoidů, třetím transuranem, silně radioaktivní kovový prvek, připravovaný uměle v jaderných reaktorech především z plutonia. Po mechanické stránce je tvárnější než příbuzný uran nebo neptunium. Vyzařuje  $\alpha$  a  $\gamma$  záření a je nutno s ním manipulovat za dodržování bezpečnostních opatření pro práci s radioaktivními materiály, může se hromadit v kostní tkáni. Americium je také štěpný materiál, kritické množství je přibližně 60 kg. Proto jeho zneužití jako materiálu pro jadernou zbraň je nepravděpodobné, protože uranu nebo plutonia stačí menší množství, navíc je výroba Americia mnohem nákladnější.

### *Historie objevu*

Americium bylo poprvé připraveno roku 1944 bombardováním  $^{239}\text{Pu}$  neutrony v jaderné laboratoři chicagské univerzity. Za jeho objevitele jsou označováni Glenn T. Seaborg, Leon O. Morgan, Ralph A. James a Albert Ghiorso. Prvek byl poté pojmenován podle světadílu, na kterém byl vyroben.

### *Výskyt, výroba*

Americium se v přírodě nevyskytuje, to plně uměle připravený kovový prvek.

Je charakterizováno 18 izotopů, z nichž je nejstabilnější  $^{243}\text{Am}$  s poločasem rozpadu 7 370 let a  $^{241}\text{Am}$  s poločasem rozpadu 432,2 let. Všechny zbývající radioaktivní izotopy mají poločas rozpadu méně než 51 hodin a většina z nich dokonce méně než 100 minut.

### *Využití*

Americium se používá v přesných měřicích přístrojích. V detektorech kouře (v malém množství, asi 0,2  $\mu\text{g}$ ) se využívá  $^{241}\text{Am}$  jako zdroj ionizace. Dříve se  $^{241}\text{Am}$  využívalo také jako přenosný radiografický zdroj.  $^{242}\text{Am}$  je emitorem neutronů a využívá se v neutronové radiografii. V lékařství se používá při léčbě nádorů štítné žlázy.

### *Zdravotní rizika*

Dceřinný produkt plutonia, americium  $^{241}\text{Am}$ , je alfa a gama emitorem s převahou alfa částic. Riziko vnitřní kontaminace je nejvyšší u inhalační cesty a kožními lézemi, vstřebávání gastrointestinálním traktem je u tohoto těžkého kovu minimální. Po průchodu do organismu je nejen hepato-nefrotoxickým, ale ve velkých dávkách představuje vážné radiační riziko. Léčebný postup je stejný jako u vnitřní kontaminace uranovými solemi, tj. aplikovat DTPA v průběhu prvních 24 až 48 hodin.

## 1.6.2 Cesium (Cs)

Cesium je prvek z řady alkalických kovů, vyznačuje se velkou reaktivitou a mimořádně nízkým redoxním potenciálem. Cesium je měkký, lehký a zažloutlý kov, který lze krájet nožem. Je velmi měkký, ještě měkčí než vosk. Na rozdíl od lithia, sodíku a draslíku je spolu s rubidiem těžší než voda. Velmi dobře vede elektrický proud a teplo. Ve srovnání s ostatními kovy má nízký bod tání a varu. Elementární kovové cesium lze

dlouhodobě uchovávat pod vrstvou alifatických uhlovodíků jako petrolej nebo nafta, s kterými nereaguje. Cesium mimořádně rychle reaguje s kyslíkem na superoxid cesný a s vodou na hydroxid cesný a v přírodě se s ním proto setkáváme pouze ve formě sloučenin.

#### *Historie objevení*

Cesium bylo objeveno roku 1860 německým chemikem Robertem W. Bunsenem a německým fyzikem Gustavem R. Kirchhoffem za použití jimi objevené spektrální analýzy, kteří cesium našli v dürkheimských minerálních vodách spolu s rubidiem. Cesium bylo pojmenováno podle svých dvou modrých čar ve spektru jako *modrošedý* – caesius. Čisté cesium se Robertu Bunsenovi nepodařilo připravit, připravil pouze cesný amalgám. Kovové cesium poprvé získal Carl Setterberg v roce 1882 elektrolýzou směsi kyanidu cesného a kyanidu barnatého.

#### *Výskyt*

Cesium má několik izotopů a jen  $^{133}\text{Cs}$  je stabilním izotopem.  $^{133}\text{Cs}$  se vyskytuje pouze vzácně jak na Zemi tak i ve vesmíru, je to stabilní izotop se 78 neutrony. Předpokládá se, že zemská kůra obsahuje 1 – 7 mg Cs/kg, což odpovídá 2,6 ppm (parts per million) a ve výskytu se řadí na stejnou úroveň jako brom, hafnium a uran. Průměrný obsah v mořské vodě je přibližně 0,5  $\mu\text{g/l}$ . Ve vesmíru se předpokládá výskyt 1 atomu cesia na přibližně 100 miliard atomů vodíku. V přírodě se také nachází ve stopovém množství  $^{135}\text{Cs}$ , jde o nestabilní izotop s poločasem rozpadu 2 300 000 let a produktem rozpadu je  $^{135}\text{Ba}$ .

Další izotopy cesia jsou syntetické radioizotopy.  $^{134}\text{Cs}$  má poločas rozpadu 2,0648 roku a produktem rozpadu jsou izotopy  $^{134}\text{Xe}$  a  $^{134}\text{Ba}$ ;  $^{135}\text{Cs}$  s poločasem rozpadu 30,07 let se rozpadá na  $^{137}\text{Ba}$  a v přírodě ho nejvíce zůstává po havárii jaderné elektrárny v Černobylu.

#### *Výroba*

Elementární cesium se vyrábí elektrolýzou roztaveného chloridu cesného ( $\text{CsCl}$ ) na železné anodě. Na grafitové katodě přitom vzniká plynný chlor.

### *Využití*

Vzhledem ke své mimořádné nestálosti a reaktivitě má kovové cesium jen minimální využití. Jeho nízký ionizační potenciál dává možnost jeho uplatnění ve fotočláncích, sloužících pro přímou přeměnu světelné energie v elektrickou. Zároveň je proto perspektivním médiem pro iontové motory, jako pohonné jednotky kosmických plavidel. Od roku 1967 je v soustavě SI definována základní jednotka času, 1 sekunda, na základě frekvence emitovaného světelného záření izotopu  $^{133}\text{Cs}$ . Je definována jako doba trvání 9 192 631 770 period záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu tohoto izotopu. Tato definice předpokládá atomy v klidu a při teplotě absolutní nuly. Izotop cesia  $^{137}\text{Cs}$  byl využíván v radioterapeutických ozařovačích pro teleterapii.

### *Zdravotní rizika*

Poločas rozpadu  $^{137}\text{Cs}$  je 30,23 let. Při havárii Černobylské jaderné elektrárny a při testech jaderných zbraní byly do životního prostředí uvolněny izotopy cesia  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{137}\text{Cs}$ . Špatná manipulace se zdroji  $^{137}\text{Cs}$  může vést k radiační kontaminaci a poraněním. Možná nejznámějším případem je nehoda v brazilské Goianě, kdy byl zdroj z vyřazeného ozařovače pro teleterapii ukraden a došlo ke kontaminaci několika městských bloků a několika úmrtím. Kovové zdroje cesia také mohou být omylem smíchány se šrotem, což vede ke kontaminaci ocele. Taková nehoda se stala v roce 1998 ve španělském Cádizu, kdy kovový cesiový zdroj byl roztaven a přimíšen do oceli (v tavbě se ocel a cesium smíchají, část cesia se vypaří a potom ve formě spadu kontaminuje okolí.)

### 1.6.3 Iridium (Ir)

Iridium je drahý stříbrolesklý kov patřící společně s platinou a osmiem do tzv. triády těžkých platinových kovů. Je extrémně tvrdý a křehký a ze všech kovů nejvíce odolává korozi. Chemicky je mimořádně odolné a lze jej rozpustit pouze za vysokého tlaku v koncentrované kyselině chlorovodíkové za přítomnosti chloristanu sodného.

### *Historie objevení*

Iridium bylo objeveno roku 1803 britským vědcem Smithsonem Tennantem v Londýně spolu s osmiem při rozpouštění surové platiny lučavkou královskou.

Slitina platiny (90%) a iridia (10%) byla roku 1889 použita ke zkonstruování mezinárodního etalonu délkové míry 1 m a hmotnosti 1 kg.

#### *Výskyt*

V přírodě se vyskytuje téměř pouze jako ryzí kov, převážně v okolí míst dopadu meteoritů, vždy společně s jinými drahými kovy. Dále je spolu s dalšími platinovými kovy obsažen v ultrabazických masivech a díky chemické stálosti se koncentruje v náplavech. Hlavní naleziště představuje Sibiř a jižní Afrika. Jméno dostalo podle duhového odrazu povrchu svých sloučenin (duha lat. *iris*).

#### *Využití*

Iridium se přidává do slitin s rhodiem a platinou, které se používají na výrobu odolného chemického nádobí pro rozklady vzorků tavením nebo spalováním za vysokých teplot.

V automobilovém průmyslu se z iridia vyrábějí elektrody zapalovacích svíček s mimořádnou životností nebo pro práci v extrémních podmínkách, např. pro motory závodních automobilů a používá se i v katalyzátorech.

#### *Hlavní využití*

Izotop iridia  $^{192}\text{Ir}$  (s poločasem rozpadu 73,83 dní) se využívá **v brachyterapeutickém ozařování nádorů** a jako **zdroj pro defektoskopii**. Tyto zdroje mají vzhledem ke krátkému poločasu velice vysoké aktivity a v případě zneužití mohou být velice nebezpečné.

### 1.6.4 Kalifornium (Cf)

Kalifornium je desátým členem řady aktinoidů, šestým transuranem, silně radioaktivní kovový prvek, připravovaný uměle ozařováním jader curia. Kalifornium doposud nebylo izolováno v dostatečně velkém množství, aby bylo možno určit všechny jeho fyzikální konstanty. Předpokládá se, že má stříbřitě bílou barvu a že se působením vzdušného kyslíku na povrchu zvolna oxiduje.

Vyzařuje  $\alpha$  a  $\gamma$  záření a je silným zdrojem neutronů, proto je nutné s ním manipulovat za dodržování bezpečnostních opatření pro práci s radioaktivními materiály.



### *Historie objevení*

Kalifornium bylo poprvé připraveno 17. března 1950 bombardováním izotopu curia  $^{242}\text{Cm}$  částicemi  $\alpha$  v cyklotronu jaderné laboratoře kalifornské univerzity v Berkeley. Vznikl tak izotop  $^{245}\text{Cf}$  s poločasem rozpadu 44 minut. Za jeho objevitele jsou označováni Glenn T. Seaborg, Stanley G. Thompson a Albert Ghiorso, kteří jej pojmenovali podle federálního státu USA, Kalifornie, v němž bylo poprvé syntetizováno.

Je charakterizováno 19 izotopů kalifornia, z nichž nejstabilnější jsou  $^{251}\text{Cf}$  s poločasem rozpadu 898 let,  $^{249}\text{Cf}$  s poločasem rozpadu 351 let a  $^{250}\text{Cf}$  s poločasem rozpadu 13 let. Všechny zbývající radioaktivní izotopy mají poločas rozpadu menší než 3 roky.

### *Využití*

Praktické využití nachází kalifornium především jako silný zdroj neutronů:

Kalifornium slouží pro nastartování řetězové reakce v jaderném reaktoru při jeho prvním uvádění do provozu.

V lékařství je kalifornium používáno pro ozařování rakovinných nádorů, zejména mozku, v případě že ostatní radioterapeutické metody nejsou účinné.

Při kontrole vad materiálů je kalifornium zdrojem stabilního neutronového toku, který po průchodu testovaným materiálem (součástí letadel, turbíny, tlakové nádoby) poskytuje informaci o možných skrytých vadách jako jsou trhliny, zlomy, oslabená místa a podobně.

Kalifornium se také používá v detektorech výbušnin, přenosných detektorech kovů a jako analyzátor při těžbě zlata a stříbra.

V roce 2006 byly atomy  $^{249}\text{Cf}$  bombardovány ionty  $^{48}\text{Ca}$  za vzniku Ununocia (prvek s protonovým číslem 118) a tím byl syntetizován zatím nejtěžší prvek.

### 1.6.5 Kobalt (Co)

Kobalt je namodralý, feromagnetický, tvrdý kov. Používá se v metalurgii pro zlepšování vlastností slitin při barvení skla a keramiky a je důležitý i biologicky. Je velmi pevný, svou tvrdostí a pevností předčí ocel.

### *Historie objevení*

O prvním používání sloučenin kobaltu se dozvídáme z egyptských archeologických nálezů, protože keramika a skleněné perly byly barveny kobaltovou modří do modra. Objevil je však až roku 1735 švédský chemik Georgie Brandt a nazval je *cobalt rex* a roku 1780 T. O. Bergman ukázal, že jde o nový prvek.

### *Výskyt*

Oproti příbuznému niklu je zastoupení kobaltu na Zemi i ve vesmíru výrazně nižší. Zařazuje se na 30. místo ve výskytu prvků na Zemi. Předpokládá se, že ve vesmíru připadá na jeden atom kobaltu přibližně 15 milionů atomů vodíku. V přírodě nejsou známa naleziště rud s převažujícím množstvím kobaltu. Ten vždy pouze doprovází niklové rudy. V ryzím stavu je možné nalézt kobalt v množství 0,5 – 2,5% v železných meteoritech.

### *Výroba*

Příprava čistého kobaltu je velmi náročná, protože největší problém činí odstranit nikl, který tvoří podstatnou část kobaltových rud.

### *Využití*

Cena kobaltu je díky jeho poměrně nízkému výskytu i obtížnosti výroby dosti vysoká a v některých obdobích dosahuje burzovní cena kobaltu úrovně stříbra. Kobalt je také součástí jednoho z důležitých členů vitaminů skupiny B, vitamínu B12 (kobalamin).

Ozářením stabilního izotopu kobaltu  $^{59}\text{Co}$  neutrony (např. v jaderném reaktoru) vzniká nestabilní  $^{60}\text{Co}$ . Tento radioizotop se rozpadá s poločasem 5,2714 let za uvolňování silného  $\gamma$  záření. Kobalt by se teoreticky mohl použít jako svrchní plášť jaderné bomby (tzv. kobaltová bomba), po výbuchu by potom došlo v výše zmíněné transmutaci a zamoření oblasti radioizotopem  $^{60}\text{Co}$ .

Protože  $^{60}\text{Co}$  lze poměrně snadno připravit a manipulace s ním není obtížná, využívá se **v medicíně jako zdroj  $\gamma$  paprsků** pro ozařování rakovinných nádorů a dalších tkání. Kobaltový ozařovač pro teleterapii má silnou olovenou ochrannou schránku válcového tvaru, která propouští potřebné  $\gamma$  záření pouze v úzkém paprsku určeným směrem.

Izotop  $^{60}\text{Co}$  se využívá 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  $\gamma$  paprsků, které materiálem projdou a výskyt vady (trhlina, chybného svaru) se projeví změnou intenzity měřeného záření.

Ozařování  $\gamma$  paprsky slouží i k likvidaci hub, plísní a dřevokazného hmyzu v historicky cenných dřevěných předmětech, které není možno ošetřit klasickými chemickými přípravky kvůli zachování jejich vzhledu.

#### *Zdravotní rizika*

V případě vnitřní kontaminace je volbou léčby vedle klasických doporučení jako jsou výplach žaludku a nálevů také aplikace penicilaminu s chelatačním účinkem.

#### 1.6.6 Plutonium (Pu)

Plutonium je šestým členem z řady aktinoidů, druhým transuranem, silně radioaktivní, toxický kovový prvek, připravovaný uměle v jaderných reaktorech především pro výrobu atomových bomb. Je využitelné rovněž jako palivo pro jaderné reaktory a jako zdroj energie pro radioizotopový termoelektrický generátor.

#### *Historie objevu*

Plutonium bylo poprvé připraveno roku 1940 dvěma vědeckými týmy bombardováním  $^{238}\text{U}$  neutrony. Příprava a izolace čistého kovu se uskutečnila 23. února 1941 v Berkeley bombardováním uranu jádru deuteria v cyklotronu. Jako autoři tohoto experimentu jsou označováni Glenn T. Seaborg, Erwin McMillan, J. W. Kennedy a A. C. Wahl. Vzhledem k probíhající druhé světové válce byly výsledky tohoto bádání udržovány v tajnosti, zvláště proto, že jedna ze dvou atomových bomb svržených USA na Japonsko byla vyrobena právě z plutonia (9. srpna 1945 „Fat man“ svržená na Nagasaki).

#### *Výskyt a izotopy*

Plutonium patří mezi uměle připravené prvky a v přírodě je možné se setkat jen se skutečně ultrastopovém množství v uranových rudách, kde mohou jednotlivé atomy vzniknout z  $^{238}\text{U}$  po záchytu neutronu a následných dvou rozpadech  $\beta$ .

Existuje několik izotopů plutonia, které vykazují dostatečně velký poločas rozpadu, aby je bylo možno prakticky využít. Nejdelsí poločas (asi 80 milionů let) má  $^{244}\text{Pu}$ , nejdůležitější izotop  $^{239}\text{Pu}$  se rozpadá s poločasem 24 100 let,  $^{240}\text{Pu}$  6 500 let,  $^{241}\text{Pu}$  14 roků,  $^{242}\text{Pu}$  373 000 let a  $^{238}\text{Pu}$  má poločas rozpadu 88 let. Existuje však celá řada dalších izotopů. Všechny uvedené izotopy jsou  $\alpha$  zářiče, pouze  $^{240}\text{Pu}$  je  $\beta$  zářič.

#### *Výroba*

Princip výroby  $^{239}\text{Pu}$  spočívá v reakci  $^{238}\text{U}$  s neutronem za vzniku  $^{239}\text{U}$  v jaderném reaktoru. Jádro  $^{239}\text{U}$  je značně nestabilní a rozpadem  $\beta$  rychle vzniká izotop neptunia  $^{239}\text{Np}$ , které se opět rychle dalším  $\beta$  rozpadem mění na  $^{239}\text{Pu}$ . Tento izotop plutonia se chová jako  $\alpha$  zářič a relativně snadno se dále zpracovává.

Plutonium je od 40. let 20. století nejvíce vyráběným umělým prvkem a to bohužel především proto, že izotop  $^{239}\text{Pu}$  je vhodný pro výrobu atomové bomby. Stejně jako v případě  $^{235}\text{U}$  dochází při nahromadění větších kvant čistého izotopu k nastartování řetězové štěpné reakce, kdy po rozpadu jednoho atomového jádra vznikají obvykle tři neutrony, které působí rozpady dalších okolních jader a rozpad se nekontrolovaně rozrůstá. Kritické množství čistého kovového plutonia  $^{239}\text{Pu}$  je přibližně 16 kg, s použitím neutronového odrážече lze toto množství snížit na 10 kg. Plutoniová jaderná puma má sílu výbuchu přibližně 20 kt TNT na každý kilogram použitého plutonia.

#### *Využití*

V současné době pracuje na světě několik jaderných reaktorů na bázi směsi  $^{239}\text{Pu}$  a  $^{240}\text{Pu}$ , obecně jsou však tyto reaktory pokládány za méně bezpečné než klasické uranové vzhledem k vysoké toxicitě plutonia a jeho sloučenin.

Izotop  $^{238}\text{Pu}$  s poločasem rozpadu 88 let slouží často jako energetický zdroj především v kosmických sondách. V tomto „radioizotopovém termoelektrickém generátoru se mění tepelná energie uvolněná samovolným jaderným rozpadem na elektrickou pomocí termočlánků. Pro tyto účely jsou vhodné izotopy s poločasem rozpadu v řádu desítek let, protože uvolněná energie je dostatečně velká, aby mohla být prakticky využita a zároveň zaručuje použitelnost zdroje po dobu minimálně 50 let. Plutoniové generátory zásobují energií např. sondy Galileo nebo Cassini a udržují v provozu vědecké přístroje, zanechané na Měsíci kosmonauty v rámci projektu Apollo. Tyto generátory

elektrické energie v některých případech slouží jako energetický zdroj pro pacemakery. V současnosti se pro tyto účely využívají především lithiové baterie s dlouhou životností, ale energetický zdroj  $^{238}\text{Pu}$  je také přijatelnou alternativou.

#### *Zdravotní rizika*

Elementární plutonium je pokládáno za jednu z nejtoxičtějších anorganických látek. Radiačně nebezpečný je především izotop  $^{240}\text{Pu}$ , který jako  $\beta$  zářič má daleko negativnější dopad na lidské zdraví než zbylé izotopy plutonia,  $\alpha$  zářiče. Po požití způsobuje toxické projevy organismu, jako nejnebezpečnější byla zjištěna cesta inhalační.

Plutonium lze z kůže lehce dekontaminovat, při vnitřní kontaminaci se používá dietyltriamin pentaoctová kyselina (DTPA), která je také efektivní pro ostatní transuranové prvky, lanthanoidy a izotopy niobu a zirkonia. Vápenatou sůl dietyltriamin pentaoctové kyseliny je možné použít první a druhý den po vnitřní kontaminaci. Tuto sůl v množství 1 g aplikujeme rozpuštěnou do 10-20 ml fyziologického roztoku v pomalém intravenózním podání (5 minut), anebo v infuzi s 250 ml fyziologického roztoku či 5% glukózy (30 minut). Kontraindikací podání dietyltriamin pentaoctanu vápenatého (ditripentat – fi. Heyl) jsou leukopenie, trombocytopenie a renální insuficience. Pakliže dojde k inkorporaci plutonia, je obtížné jej eliminovat. Jeho poločas rozpadu činí takřka 25 000 let.

#### 1.6.7 Radium (Ra)

Radium je šestým z řady kovů alkalických zemin. Jde o mimořádně silný radioaktivní zářič, který vzniká jako produkt thoriové i uranové rozpadové řady a dále se radioaktivně přeměňuje. Jednotlivé izotopy radia vyzařují všechny druhy radioaktivního záření -  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ .

V čistém stavu je radium bílý, těžký, velmi reaktivní kov, který se velmi podobá vlastnostem alkalických kovů. Je nejreaktivnější z kovů alkalických zemin a reaktivitou se velmi podobá alkalickým kovům. Radium ve tmě poskytuje modré luminiscenční světlo. Radium reaguje za pokojové teploty s vodou i kyslíkem a je na vzduchu schopno samovolného vznícení.

### *Historie objevení*

Radium bylo objeveno roku 1898 Marií Curie-Sklodowskou, jejím manželem Pierrem Curie a Gustavem Bémontem v jáchymovském smolinci  $U_3O_8$ , který byl v té době pouze odpadem při těžbě galenitu PbS. Z této rudy se jim podařilo izolovat chlorid radnatý  $RaCl_2$ . Na izolaci 1 g chloridu radnatého spotřebovali 10 tun smolince.

Objev byl založen na pozorování, že radioaktivní záření je úměrné obsahu uranu v rudě. Marie Curie-Sklodovská zjistila, že existují i nerosty, ve kterých je radioaktivní záření silnější, než by odpovídalo množství záření uranu. Z tohoto úsudku dospěla k závěru, že musí existovat i další složky uranových rud, které mají silnější záření než samotný uran. Z uranových rud izolovala v roce 1910 přes amalgám nepatrné množství čistého polonia a o něco později ve stejném roce i radium. Radium dostalo název z latinského *radius* – paprsek.

Marie Curie-Sklodovská kvůli dlouhodobému styku s radioaktivními prvky (zejména s radiem) zemřela na anemii v roce 1934.

### *Výskyt*

Protože všechny izotopy radia podléhají poměrně rychle dalšímu radioaktivnímu rozpadu, je obsah radia v přírodě velmi nízký. Všechny lokality s vyšším obsahem radia jsou přitom spojeny se zvýšeným výskytem uranu a thoria. Kromě oblasti Jáchymova jsou známé lokality se zvýšeným obsahem radia např. v Coloradu (karnolitové písky), v africkém Kongu a v oblasti Velkých jezer v Kanadě.

### *Izotopy radia*

V současné době je známo 25 izotopů radia, všechny jsou nestabilní a podléhají další radioaktivní přeměně. Nejvýznamnější jsou izotopy  $^{226}Ra$  s poločasem rozpadu 1602 let a  $^{228}Ra$  s poločasem 6,7 roku.

Při své radioaktivní přeměně vyzařují atomy radia intenzivní  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  záření, navíc je však značná část z nich prekurzory radonu. Tento plynný prvek se pak může z místa svého vzniku šířit vzduchem a při dlouhodobém styku zvyšuje riziko vzniku plicní rakoviny u exponovaných osob.

### *Využití*

Dříve se izotop radia  $^{226}\text{Ra}$  v podobě takzvaného radioforu používal při **brachyterapeutickém ozařování rakovinných nádorů**. Výhodou byl dlouhý poločas rozpadu (1620 let), takže nebylo nutné zdroje, sady radiových zářičů byly stále po ruce, což snižovalo provozní náklady. Radium se používalo ve formě nerozpustného síranu radnatého, kterým se plnila zvláštní pouzdra, zvaná radiofory nebo zářiče. V současné době se pro tuto léčbu používá izotop iridia  $^{192}\text{Ir}$  a tzv. radonové jehly se postupně likvidují.

Je znám případ smrtelného rakovinného onemocnění stovek žen, které pracovaly v továrně vyrábějící náramkové hodinky. Na ciferníky těchto hodinek se tenkým štětcem nanášelo barvivo s obsahem radia, které pak ve tmě světélkovalo. Dělnice občas olízly špičku štětce, aby ji udržely dokonale ostrou. Mnoho z nich v následujících letech zemřelo na rakovinu hrtanu, štítné žlázy a nádory v ústní dutině.

Dnes není radium prakticky využíváno.

### 1.6.8 Stroncium (Sr)

Stroncium je čtvrtým prvkem z řady kovů alkalických zemin, lehký, velmi reaktivní kov. Svými vlastnostmi se více podobá vlastnostem alkalických kovů. V kapalném amoniaku se rozpouští za vzniku černého roztoku. Stroncium patří k lepším vodičům elektrického proudu a tepla. Není tolik reaktivní jako alkalické kovy, ale přesto je jeho reaktivita natolik vysoká, že může být dlouhodobě uchováváno pouze pod vrstvou alifatických uhlovodíků (petrolej, nafta) s nimiž nereaguje. Stroncium reaguje za pokojové teploty s vodou i kyslíkem, práškové stroncium je na vzduchu schopno samovolného vznícení.

### *Historie objevení*

Nedlouho po objevení rudy barya witheritu, byl ve Skotsku u vesnice Strontianu, poblíž olověných dolů, objeven roku 1790 Adairem Crawfordem minerál podobný witheritu – stroncianit. Klaproth roku 1793 dokázal, že obsahuje novou, dosud neobjevenou zeminu – stronnatou zeminu a o pět let později to potvrdil Thomas Charles Hope, který rozlišoval baryum, stroncium a vápník podle barvy plamene. Stroncium

poprvé připravil sir Humphry Davy roku 1808 elektrolýzou strontnatého amalgámu, který si připravil elektrolýzou slabě zvlhčeného hydroxidu strontnatého za použití rtuťové katody.

#### *Výskyt*

Díky své reaktivitě se v přírodě setkáváme pouze se sloučeninami. Stroncium se řadí na 15. místo ve výskytu na zemi.

Stroncium se v přírodě vyskytuje v podobě čtyř izotopů, které mají zastoupení  $^{84}\text{Sr}$  (0,56%),  $^{86}\text{Sr}$  (9,86%),  $^{87}\text{Sr}$  (7,0%) a  $^{88}\text{Sr}$  (82,58%). Izotop  $^{87}\text{Sr}$  v přírodě vzniká  $\beta$  rozpadem izotopu rubidia  $^{87}\text{Rb}$ , proto se mu říká radiogenní. Pomocí poměrů množství izotopů  $^{87}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$  a  $^{87}\text{Rb}$  se dá odhadnout i stáří Vesmíru. V laboratoři se při jaderných rozpadech podařilo připravit dalších 31 nestabilních izotopů stroncia.

#### *Využití*

Sloučenin stroncia se využívá při výrobě pyrotechnických produktů pro jejich výraznou barevnou reakci v plameni. Další uplatnění mají sloučeniny stroncia ve speciálních aplikacích sklářského průmyslu, příkladem mohou být katodové trubice pro výrobu obrazovek barevných televizorů.

Vysokého indexu odrazivosti titaničitanu strontnatého  $\text{Sr}_2\text{TiO}_3$  se využívá v různých optických aplikacích, např. při měření barevnosti látek nebo analýze spekter odražených paprsků z barevných povrchů. Ze stejného důvodu používá často šperkařský průmysl titaničitan strontnatý jako levnější náhradu diamantu.

Některých strontnatých solí, například dusičnanu strontnatého, se využívá v pyrotechnice k barvení plamene na červeno.

#### *Zdravotní rizika*

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  $^{90}\text{Sr}$ , který vzniká při radioaktivním rozpadu uranu, tedy při výbuchu atomové bomby i v jaderných reaktorech. Izotop  $^{90}\text{Sr}$  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 rizikivosti je nutno posoudit poměr výskytu uvedeného izotopu k ostatním podobným atomům (vápník, baryum, neškodné izotopy stroncia) a pravděpodobnosti vyzaření  $\beta$  částice a následným spuštěním rakovinného bujení právě sledovaným izotopem  $^{90}\text{Sr}$ .

Již 24 hodin po podání jsou molekuly stroncia inkorporovány do struktury kostí, kde vytěsňují atomy vápníku z vazeb na hydroxyapatit. Tato vazba je velmi pevná a proto je eliminace radioizotopů stroncia pomalá a obtížná. Inkorporace radiostroncia je tedy neuniformní. Spíše než poškození hematopoézy je radiostroncium nebezpečné z hlediska vyvolání karcinomů kostí. Ihned po požití v čase před vstřebáním, lze radiostroncium z 85% vyvázat fosfátem hlinitým. Velké množství vápníku a navození acidózy pak zvyšuje vylučování stroncia ledvinami.

#### 1.6.9 Uran (U)

Uran je radioaktivní chemický prvek patřící mezi aktinoidů. V čistém stavu je to stříbrobílý lesklý kov. Rozmělněný na prášek je samozápalný. Není příliš tvrdý a dá se za obvyčejné teploty kovat nebo válcovat. Při zahřívání se stává nejprve křehkým, při dalším zvyšování teploty je však plastický.

##### *Historie objevení*

Uran jako prvek byl objeven v roce 1789 lékárníkem a profesorem chemie Martinem Heinrichem Klaprothem, jenž objevil nebo spoluobjevil i několik dalších prvků (zirkon, titan, cer a tellur). Pojmenován byl podle planety Uran objevené krátce předtím (1781), původní název ovšem byl uranit, v roce 1790 přejmenován na uranium.

Uran se pak používal k barvení skla a glazur (v Jáchymově od roku 1826), těžen byl v českém Jáchymově a v britském Cornwallu.

V roce 1896 zjistil Henri Becquerel, že uran je radioaktivní. Marie Curie-Sklodovská se svým manželem poté z uranové rudy (jáchymovského smolince) izolovala 2 nové prvky: nejdříve polonium a o něco později i radium. Pro účely jaderného průmyslu se začal uran využívat až během druhé světové války.

První umělá jaderná řetězová reakce (tzv. Fermiho reakce) byla spuštěna 2. prosince 1942 italským fyzikem E. Fermim na hřišti Chicagské univerzity.

Prostřednictvím jaderného reaktoru (EBR-1) byl poprvé vyroben proud 20. prosince 1951, první jaderná elektrárna byla zprovozněna v roce 1954 v Obinsku v SSSR.

#### *Výskyt*

V přírodě je uran v nejrůznějších rudách relativně čistý, ovšem jen v nízkých koncentracích 0,04 – 3%. Vyskytuje se jako směs izotopů:  $^{238}\text{U}$  (99,276%),  $^{235}\text{U}$  (0,718%) a ve velmi malé míře  $^{234}\text{U}$  (0,004%).

V Evropě se uran těží nebo těžil v Sasku, Cornwallu, v Rumunsku, na Ukrajině a v Česku. Značné rezervy navíc existují v recyklaci vyhořelého paliva a ve využití rychlých množivých reaktorů.

#### *Jaderné využití uranu*

Dnes se po tzv. obohacení uranu (zvýšení koncentrace izotopu  $^{235}\text{U}$ ) používá jako palivo v jaderných reaktorech nebo jako náplň jaderných bomb. Pro využití uranu jako jaderného paliva je nutné zvýšit koncentraci izotopu  $^{235}\text{U}$  z 0,72% většinou na 2 – 4%. Pro použití v jaderné bombě je koncentraci potřeba zvýšit na hodnotu přes 95%. Jako jaderné palivo se dá v tzv. těžkovodních reaktorech využít rovněž  $^{238}\text{U}$ , je to však mnohem náročnější, proto se tato možnost v praxi zatím příliš nevyužívá. Nadkriticky štěpitelný je rovněž  $^{234}\text{U}$ .

#### *Nejaderné využití uranu*

Jako odpad po obohacování uranu zbude tzv. ochuzený uran – ochuzený proto, že byl zbaven podstatné části izotopu  $^{235}\text{U}$ . V angličtině se často označuje zkratkou DU (depleted uranium).

Uran je pro svou vysokou hustotu využíván všude tam, kde je žádoucí vysoká hmotnost (vyvážení, nutnost dosáhnout vysoké kinetické energie při malém objemu). Ve starším typu Boeingu 747 je používán jako závaží na zádi. Jako zátěž je využíván rovněž v plachetnicích, rotorech gyroskopů a ropných vrtných soupravách. Ochuzený uran může být použit rovněž jako stínění před radioaktivitou.

Sloučenin hexahydrát diuranu sodného se používá k barvení skla, ve fotografii se sloučenin uranu používá k zesilování negativů a do tónovacích lázní.

Ve vojenství se vedle wolframu využívá uran pro výrobu protipancéřových projektilů (podkaliberní střely – průměr střely je menší než průměr hlavně ze které je

vystřelena). Působí zde především vysoká kinetická energie střely, účinek však zesiluje i to, že po průniku projektilu za pancíř se tlakem a třením rozžhavené úlomky uranu vznítí, což zvyšuje ničivý účinek uvnitř obrněného prostoru.

### **1.7 Zdroje ionizujícího záření zneužitelné k výrobě špinavé bomby**

Radionuklidy se používají v různých průmyslových odvětvích, medicíně a ve vědeckých výzkumných laboratořích. Mnohé z nich patří do skupiny uzavřených zdrojů, používají se v civilním inženýrství (například měřiče průtoku, zařízení k testování vlhkosti půdy nebo jako defektoskopické přístroje), v petrochemickém průmyslu (sondování naftových vrtů), v leteckém průmyslu (v palivoměrech a při kontrole svárů a integrity materiálu – defektoskopie), v lékařství (léčba rakoviny, kardiostimulátory, nukleární medicína, radiodiagnostika), v domovech (detektory kouře) a při výrobě elektrické energie (radioizotopové termoelektrické generátory, jaderné elektrárny)<sup>(14)</sup>.

Radioaktivní zdroje mohou být přenosné nebo stacionární a většina z nich je poměrně malá, od malých brachyterapeutických jehel nebo implantátů až po zdroje velikosti náprstku uzavřených uvnitř bezpečnostních kapslí používaných v defektoskopických vodičích. Dokonce i větší zdroje jsou ve skutečnosti poměrně malé; například radioaktivní zdroj radioizotopového termoelektrického generátoru může mít velikost malého odpadkového koše, ale vnější obal může být víc než dvojnásobně velký. Většina zdrojů je ve formě kapslí nebo prášku zataveného v obalu z antikorozi oceli, titanu, platiny nebo jiného kovu a gama emitory jsou uzavřeny v hutném stínícím obalu (například z olova) aby bylo vycházející záření zeslabeno na minimum<sup>(14, 44)</sup>.

Pouze některá zařízení využívající radionuklidy však mohou být považována za potencionální kandidáty na výrobu špinavé bomby. Využití k výrobě špinavé bomby závisí hlavně na přenosnosti spolu s mírou radioaktivity, kterou zdroj emituje. V úvahu nepřípadají ani zdroje s ultrakrátkým a krátkým poločasem rozpadu - například na odděleních nukleární medicíny využívané radioizotopy  $^{81}\text{Kr}$  a  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , nebo zařízení která obsahují pouze tak malé množství radionuklidu, že i kdybychom jich nasbírali tisíc a extrahovali radioaktivní zdroje, nestačilo by nám to k závažnější dispersi. Takováto zařízení jsou například detektory kouře obsahující  $^{241}\text{Am}$  nebo kempinkové svítílny

s podílem  $^{232}\text{Th}$ . Avšak radioaktivní odpad z energetického průmyslu nebo opuštěné vojenské základny jsou možnými zdroji radioaktivního materiálu hlavně pro specifické radionuklidy v jaderném odpadu, jejich fyzikálně-chemickou formu a úroveň radioaktivity. Vysoce aktivní odpady (jako je vyhořelé palivo z jaderných reaktorů) jsou velmi dobře kontrolovány, proto nejsou z hlediska výroby špinavé bomby atraktivní<sup>(23)</sup>.

Nejvhodnější izotopy pro konstrukci špinavé bomby jsou takové, které mají relativně dlouhý poločas rozpadu. Nejlákavější proto je těchto 9 izotopů:

- $^{241}\text{Am}$  s poločasem rozpadu 430 let
- $^{252}\text{Cf}$  s poločasem rozpadu 2,6 roku
- $^{137}\text{Cs}$  s poločasem rozpadu 30 let
- $^{60}\text{Co}$  s poločasem rozpadu 5,3 roku
- $^{192}\text{Ir}$  s poločasem rozpadu 0,2 roku (74 dní)
- $^{238}\text{Pu}$  s poločasem rozpadu 88 let
- $^{210}\text{Po}$  s poločasem rozpadu 0,4 roku (140 dní)
- $^{226}\text{Ra}$  s poločasem rozpadu 1 600 let
- $^{90}\text{Sr}$  s poločasem rozpadu 29 let

#### 1.7.1 Dispersibilita použitých radionuklidů

Důležitým faktorem při výbuchu špinavé bomby je také dispersibilita daného radioaktivního zdroje. Dispersibilita závisí na fyzikální formě a chemických vlastnostech daného radioaktivního materiálu použitého ve špinavé bombě. Kovové materiály bude obtížné rozmetat, zatímco prášek se rozptýlí poměrně jednoduše.

Kobalt, iridium a polonium jsou zpravidla ve formě pevného kovu a proto nejsou snadno rozptýlitelné. Oproti tomu amerícium, kalifornium a plutonium se typicky vyskytují ve formě oxidů, tzn. v prášku. Cesium je nejobvykleji ve sloučenině chloridu cesného, což je také prášek, navíc velice dobře rozpustný ve vodě. Radium a stroncium jsou používány v různých formách; fluorid strontnatý je v některých zdrojích spečený, takže je nerozpustný a nedispersibilní.

Nicméně pokud je dispersní metodou výbuch – jako v případě špinavé bomby – je velmi pravděpodobné, že fyzikální i chemické vlastnosti látky se během výbuchu změní a radionuklidy se naváží ve směsi oxidů a také dusičnanů (z výbušniny)<sup>(14)</sup>.

### **1.8 Přehled oborů a pracovišť, na kterých se používají radionuklidové zdroje záření<sup>(16, 37)</sup>**

Tento stručný přehled oborů a pracovišť, kde jsou používány radionuklidy, a způsobů jejich nejčastějšího použití ilustruje široké využití radionuklidů ve společnosti. Pozornost je věnována především zdrojům ionizujícího záření používaným v průmyslu a ve zdravotnictví.

*Geologický průzkum* – kartonážní pracoviště, laboratorní popeloměry.

*Hornictví* – hlídače ucpání přesypů pásových dopravníků a shozů, počítání vozů, ovladače výhybek na důlních lokomotivách, signalizace na nárazištích, hlídače hladin v bunkrech, indikátory plnění vozíků či vyprázdnění skipové nádoby, hlídače volné hloubky v jámě, řízení směru pohybu uhelného kombajnu.

*Průmysl paliv* – hlídače ucpání pásových dopravníků, hlídače hladin v zásobnících, popeloměry, indikátory naplnění potrubí, měření vlhkosti uhlí a koksu.

*Hutnictví* – kontrola vsázky do pecí a hladiny uvnitř, kontrola síly plechů, kontrola kvality (homogenity) odlitků.

*Výroba stavebních hmot* – hlídače kladin v zásobnících, měření vlhkosti surovin, počítání lanovkových vozíků.

*Těžká chemie* – hlídače hladin v zásobnících, polymerace kaučuku a plastů, depolymerace plastů, měření hustoty médií v potrubích.

*Stavebnictví* – kontrola zhutnění zejména v dopravním stavitelství.

*Strojírenství* – defektoskopie – kontrola kvality namáhaných strojírenských výrobků, kontrola svarů při stavbě potrubí, kotlů apod.; vytvrzování laků, v elektrotechnice kontrola tloušťky pokovení (zejména pozlacení) součástek.

*Sklářství* – kontrola tloušťky skla a síly skleněných trubek.

*Textilní a gumárenský průmysl* – polymerace kaučuku, kontrola tloušťky nanášené vrstvy pryže, odstraňování elektrostatického náboje v přádelnách, tkalcovnách, na linkách na pogumování tkanin apod.

*Výroba papíru* – měření tloušťky a vlhkosti papíru, odstraňování elektrostatického náboje.

*Cukrovarnictví a ostatní potravinářský průmysl* – hlídání hladin v zásobnících a průtoku v trubkách, ozařování koření a dalších potravin, sterilizace zářením.

*Požární ochrana* – ionizační hlásiče požáru.

*Zemědělství* – ozařování osiva, ozařování zárodků v šlechtitelství a plemenářství.

*Zdravotnictví* – vyšetřování pomocí značených látek, ozařování nádorů.

*Výzkum* – široké použití zdrojů záření takřka ve všech oborech.

V praxi se stává, že je dán do železného šrotu přístroj nebo zařízení, jehož součástí je radionuklidový zářič, v lepším případě uzavřený v pracovním kontejneru (krytu) nebo v transportním kontejneru (transportním obalovém souboru). I když jsou radionuklidové zářiče obvykle identifikovány přístroji detekujícími ionizující záření, jsou případy (např. jaderných materiálů), které nemusí být touto cestou vždy odhaleny. K jejich odhalení však mohou napomoci i jednodušší metody, jako je znalost původu šrotu, vizuální identifikace podezřelých předmětů, ale i zkušenost pracovníků (např. při dělení větších kusů šrotu).

Prvním příznakem přítomnosti radionuklidového zářiče v kovovém šrotu může být nalezení varovné tabulky se znakem radiačního nebezpečí, jímž musí být každý zdroj ionizujícího záření označen.

Dalším příznakem může být vysoká hmotnost předmětu při relativně malých rozměrech. Pracovní a transportní kontejnery jsou obvykle vyrobeny z olova nebo ochuzeného uranu (jenž sám o sobě je jaderným materiálem), jsou proto mnohem těžší než ocelové předměty stejných rozměrů a tvaru. Tvary pracovních kontejnerů jsou různé, podle konkrétního použití, často připomínají elektromotor.

Kontejnery (zvláště transportní kontejnery) jsou konstruovány jako značně odolné mechanickému poškození. Odpor, který takový předmět klade např. při stříhání na

hydraulických nůžkách může být dalším příznakem přítomnosti radionuklidového záříče. V takovém případě je třeba přerušit práci a přivolat dozimetristu. Všeobecně je třeba vyvarovat se jakéhokoliv dělení (řezání, stříhání a zvláště dělení plamenem) podezřelých předmětů.

Důležitou informací je původ kovového šrotu. Pochází-li šrot z pracoviště, kde bylo nakládáno s radionuklidy, je určité nebezpečí, že se radionuklidy ocitly ve šrotu – ať omylem, z nedbalosti nebo úmyslně.

Radionuklidové záříče jsou obvykle hermeticky uzavřeny v kovových (nejčastěji nerezových) pouzdrech o rozměrech maximálně několika centimetrů. Pravděpodobnost, že se do železného šrotu a obecně do životního prostředí dostane samotný radionuklidový záříč je malá, spíš bude uzavřený ve svém hnízdovém pouzdře, v pracovním či přepravním kontejneru nebo i s kontejnerem ve vnějším ochranném obalu (sud, bedna). Při nálezů vnějšního obalu či kontejneru není vizuálně zjistitelné, zda se uvnitř nachází i kontejner a záříč. Jelikož radionuklidové záříče mohou při porušení svého pouzdra kontaminovat životní prostředí i samotné osoby s nimi manipulující, je naprosto nepřijatelné jakéhokoliv dělení kontejnerů, které by je mohly obsahovat. Už samotné uvolnění neporušeného záříče z kontejneru může vážně ohrozit zdraví přítomných osob, proto je nutno zdržet se jakéhokoliv manipulace s podezřelými kontejnery až do přítomnosti dozimetrického dozoru.

#### 1.8.1 Eliminátory elektrostatického náboje

Používají se v přádelnách, tkalcovnách, gumárnách, papírnách i jinde, kde se na cívky či role navíjejí velká množství elektricky nevodivých materiálů. Je možné jejich použití i ve stáčírnách hořlavých kapalin. Svým zářením ionizují vzduch, vybíjejí elektrostatický náboj a tím snižují riziko požáru. Záříčem uvnitř bývá tenký kovový pásek s  $^{241}\text{Am}$  o aktivitě až několika GBq. Nejčastěji mají tvar ploché či protáhlé krabice, umístěné na stroji v těsné blízkosti navíjeného výrobku (**příloha č. 3**).

#### 1.8.2 Čidla ionizačních hlásičů požáru

Používají se zejména ve výrobních halách a ve výškových budovách. Radioaktivní zářiče jsou obsaženy v čidlech, umístěných na stropěch. Čidla se používají v několika málo typech, uvnitř je  $^{241}\text{Am}$  nebo  $^{85}\text{Kr}$  o aktivitě jen desítek kBq; těchto čidel je však v provozu obrovské množství (**příloha č. 4**).

### 1.8.3 Indikátory poloh a hladin a radioizotopová spínací relé

Jedná se o jedno z nejčastějších použití zdrojů ionizujícího záření. Jsou založeny na pohlcování (odstínění) záření gama přepravovanou nebo skladovanou látkou. Sestávají ze zářiče v krytu a čidla umístěných na opačných stranách trubky, zásobníku, dopravního pásu apod. Používají se nejčastěji:

- v dolech, elektrárnách a všude tam, kde se používají pásové dopravníky, signalizují ucpání pásu, přesypu, násypky
- všude, kde jsou tekuté či sypké hmoty skladovány v nádržích, silech, bunkrech a zásobnících, signalizují, dosahuje-li zásoba k čidlu. Běžně se jim nesprávně říká hladinoměry.
- na potrubích signalizují přítomnost přepravované látky v potrubí (cukrovary, chemické závody)

Obsahují nejrůznější zářiče, převážně však  $^{60}\text{Co}$  o aktivitách od jednotek MBq do desítek GBq a  $^{137}\text{Cs}$  o aktivitách od jednotek MBq do stovek GBq. Jejich výskyt v železném šrotu je ze všech zářičů nejpravděpodobnější.

### 1.8.4 Defektoskopické přístroje a jejich součásti

Defektoskopické přístroje slouží k nedestruktivnímu zjišťování kvality kovových výrobků na specializovaných pracovištích, ve slévárnách, strojírenských závodech (letecký, zbrojní, jaderný, automobilový průmysl, výroba turbín apod.), při kontrole svarů na stavbě plynovodů aj. Pracují podobně jako rentgenové přístroje, využívají však zdrojů záření gama, nejčastěji  $^{192}\text{Ir}$ , méně často  $^{169}\text{Yb}$ ,  $^{60}\text{Co}$  a  $^{75}\text{Se}$  o aktivitách od stovek GBq do jednotek TBq. U starých zahraničních typů není vyloučeno ani osazení jiným zářičem ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{170}\text{Tm}$ )(**přílohy č. 5 a č. 6**).



### 1.8.5 Lékařské ozařovače a zářiče

*Terapeutické ozařovače* se používají na onkologických pracovištích a jedná se o v velká zařízení se zářiči především  $^{60}\text{Co}$ , řidčeji  $^{137}\text{Cs}$  o aktivitách až stovek TBq. Vlastní zářič je umístěn ve stínícím krytu o hmotnosti rádu tuny. V našich podmínkách je možnosti, že by se takový zářič dostal do šrotu zcela vyloučena, riziko je však u zahraničních dodávek šrotu, např. z válčících zemí. Příklad ozáření osob takovým zářičem, ponechaným bez dozoru, již byl v zahraničí popsán (viz kapitola 1.9.3 Goiânia, Brazílie - 1987)(příloha č. 7).

*Terapeutické zářiče* se používají na onkologických pracovištích k lokálnímu ozařování pacienta zvenku i zevnitř. Obsahují nejčastěji  $^{192}\text{Ir}$  o aktivitách stovek MBq až jednotek GBq. Výskyt takovýchto zářičů na šrotišti je nepravděpodobný.

### 1.8.6 Radioizotopový termoelektrický generátor

Radioizotopový termoelektrický generátor, zkratkou RTG (*radioisotope thermoelectric generator*) je dlouhodobý a spolehlivý zdroj stejnosměrného elektrického proudu, využívající k získání tepelné energie rozpadu radioaktivních prvků.

Jako zdroj tepelné energie se nejčastěji používá izotopu  $^{238}\text{Pu}$  ve formě oxidu plutoničitého  $^{238}\text{PuO}_2$ . Tento materiál je slisován do velkých tablet tvaru nízkého válce, které jsou zahřáním na vysokou teplotu slinuty do keramice podobných bloků. Následně jsou z bezpečnostních důvodů jednotlivé tablety uzavřeny do kovových pouzder z velice pevného kovu (obvykle iridia) a ta jsou ještě opatřena tepelnou ochranou z uhlíkového laminátu. Tyto tzv. *topné elementy* jsou sestaveny do trubice, obvykle z nerezové oceli, k jejímuž vnějšímu povrchu jsou přitisknuty jedny konce (tzv. teplé) polovodičových termočlánků. Opačné konce (studené) jsou přitisknuty k vnějšímu obalu, který je vybaven obvykle chlazením kapalinou cirkulující pod vlivem kapilárních sil. Vnější obal je opět mnohvrstvý, tvořený protinárazovou vrstvou a vrstvou tepelné ochrany. Vnější konstrukční povrch, většinou vyrobený z hliníkových slitin, je opatřen lopatkovými radiátory, odvádějícími odpadní teplo do okolního prostoru.

Izotop  $^{238}\text{Pu}$  je používán zejména proto, že má přiměřeně dlouhý poločas rozpadu (87,7 roku) a rozpadá se  $\alpha$ -rozpadem. Vznikající částice  $\alpha$  jsou snadno zachyceny již

poměrně tenkou vrstvou kovu, přičemž se jejich kinetická energie zcela přemění v energii tepelnou. V důsledku toho nemá radioaktivní záření plutonia nežádoucí degradační vliv na polovodičové termočlánky ani nevystavuje lidskou obsluhu zdravotním rizikům.

Radioizotopové termoelektrické generátory jsou užívány jako dlouhodobé zdroje elektrického proudu, např. pro automatické monitorovací stanice v odlehlých oblastech a na moři, pro potřeby meteorologie a oceánografie, ale především v kosmických aplikacích. Byly použity např. u prvních amerických navigačních družic typu Transit, ve vědeckých stanicích ASLEP, umístěných na povrchu Měsíce posádkami lunárních expedic projektu Apollo. Jsou prozatím nenahraditelným zdrojem proudu pro kosmické sondy vyslané do velkých vzdáleností od Slunce, kde použití slunečních baterií nepřichází v úvahu (**příloha č. 8**).

### **1.9 Některé radiační nehody**

K výbuchu špinavé bomby ani k disperzi radioaktivních částic teroristy zatím nedošlo, ale ke kontaminaci srovnatelné s takovýmto útokem došlo při některých radiačních nehodách. Všechny odhady následků použití radiologické zbraně a sil a prostředků nutných k likvidaci zamoření kontaminovaného životního prostředí a okolí místa výbuchu proto vycházejí ze zkušeností s likvidacemi havárií podobných disperzi radioaktivního materiálu.

#### 1.9.1 Taiwan – r. 1982

Radioaktivní ocel ukradená z jaderného reaktoru byla roztavena a v letech 1982 – 1984 použita ke stavbě bytových domů v severním Taiwanu, hlavně v Taipeii. Přes 2 000 bytových jednotek a obchodů bylo postaveno z tohoto materiálu. Nejméně 10 000 lidí bylo dlouhodobě vystaveno nízké dávce radiace, což vedlo k nejméně 40 úmrtím (zářením indukovaná zhoubná nádorová onemocnění). V roce 1985, když byla objevena vysoká radiace v bytových domech, Taiwanská komise pro atomovou energii obvinila zubaře z nesprávného používání zubního RTG aby celou záležitost zametla pod koberec. Nejméně v roce 1992 si pracovník Taiwanské státní elektrárny Taipower přinesl domů Geigerův počítač, aby se dozvěděl více o zacházení a práci s ním. Zjistil, že jeho byt je

kontaminován. Přestože veřejnost byla o problému kontaminovaných bytů informována, majitelé některých budov stále pronajímali byty nájemníkům, hlavně proto, že prodej kontaminovaných bytů je nelegální. Doposud nebyla provedena žádná koordinovaná opatření k vyřešení této situace a Taiwanská komise pro atomovou energii nadále maří práci lékařského výzkumu, který posuzuje dopady kontaminace na obyvatele bytů<sup>(18)</sup>.

#### 1.9.2 Juarez, Mexiko – r. 1983

Místní obyvatel sebral z vyřazeného přístroje pro teleterapii 6 000 pelet <sup>60</sup>Co. Demontáž a přeprava materiálu vedla k závažné kontaminaci jeho nákladního auta. Následné sešrotování auta vedlo ke kontaminaci dalších 5 000 tun oceli s odhadovanou aktivitou 11 TBq. Tato ocel byla prodána k výrobě kuchyňských stolů a stavebního materiálu, který byl poslán do USA a Kanady. Incident byl odhalen, když náklad určený pro laboratoře v Los Alamos projížděl radiačně monitorovanou zónou. Ve státě Sinaloa bylo zbouráno 109 domů postavených z kontaminovaného stavebního materiálu. Tento incident vedl Výbor pro atomovou energii k instalaci vybavení pro monitorování radiační situace na všechny významné hraniční přechody<sup>(18)</sup>.

#### 1.9.3 Goiânia, Brazílie – r. 1987

Z opuštěného radioterapeutického centra v brazilské Goiânii byl sebrán starý teleterapeutický zdroj. Šlo o malou, vysoce aktivní kapsli obsahující chlorid cesný ve formě prášku (podle IAEA šlo o mezinárodní standardní kapsli o rozměrech 51 mm v průměru x 48 mm na výšku) o aktivitě 50,9 TBq (k roku 1987), dávkový příkon ve vzdálenosti 1 m od zdroje byl 4,56 Gy/h. Kapsle byla uložena ve stínícím obalu ze slitiny olova a oceli s iridiovým okénkem (**příloha č. 9**).

Podle IAEA měl zdroj aktivitu 50,9 TBq, když byl ukraden, a kolem 44 TBq (86%) se podařilo získat zpět během dekontaminace okolí. Takže v prostředí zůstalo asi 7 TBq (v roce 2007 aktivita poklesla na 4,4 TBq – <sup>137</sup>Cs má poločas rozpadu 30 let). Jen pro srovnání, průměrné moderní požární detektory obsahují 37 kBq <sup>241</sup>Am.

Když byla v roce 1985 radioterapeutická klinika Instituto Goiãno de Radioterapia opuštěna, cesiový zdroj byl ponechán v ozařovači bez jakéhokoliv dohledu (**příloha č.**

10). Do objektu měli přístup squatteři i různí sběrači odpadu. V roce 1987 dva sběrači narazili na radioaktivní zdroj a odvezli si ho na kárce s sebou. Částečně rozložili zařízení, čímž se vystavili  $\gamma$  radiaci, která jim způsobila popáleniny, jednomu z mužů musela být později amputována ruka. Muži se snažili otevřít stínící obal, což se jim nepodařilo. Po rozbití iridiového okénka viděli zdroj obsahující chlorid cesný emitující tmavě modré světlo (Čerenkovův efekt).

Muži prodali zářič majiteli skládky (obdržel dávku 7 Gy, přežil), který zamýšlel vyrobit z tohoto „modrého materiálu“ prsten pro svou ženu. Prodej zdroje majiteli skládky vedl ke kontaminaci mnoha dalších osob. Pracovníkům skládky se podařilo rozbít a otevřít olověný ochranný kryt. Dva z nich zemřeli na následky ozáření (obdrželi 4,5 Gy a 5,3 Gy). Bratr majitele skládky vyškral prášek (chlorid cesný) z kapsle a trochu ho rozprášil na podlahu svého domu. Jeho 6-ti letá dcera, která seděla a jedla na zemi, byla kontaminována (1 GBq, celková dávka 6 Gy, zemřela o měsíc později) a fascinoval ji modře svítící prášek, tak si s ním potřela tělo. Několik lidí, kteří přišli na návštěvu, přišli do kontaktu s prachem a roznesli ho do okolí a několika blízkých měst. Další bratr majitele skládky se práškem pomaloval, také kontaminoval zvířata na své farmě, z nichž některá zemřela.

Manželka majitele skládky si jako první všimla, že lidé v jejím okolí jsou vážně nemocní. Po dvou týdnech usoudila, že příčinou jsou zbytky zářiče, dala je do igelitové tašky a autobusem jela do nemocnice. Lidé cestující v autobuse nebyli ozáření dávkou větší než 0,3 Sv. Zemřela o měsíc později na následky radiace.

Z několika bloků byla vybagrována svrchní vrstva půdy (0,5 m) a několik domů muselo být zbouráno. Všechny objekty v těchto domech byly odstraněny a prozkoumány, ty které byly kontaminovány byly buď dekontaminovány, nebo uloženy jako radioaktivní odpad (**příloha č. 11**). Dekontaminace byla obtížná už proto, že zdroj byl otevřený a ve vodě rozpustný. 400 lidí bylo kontaminováno, 5 lidí zemřelo. Nastala také ale panika, sto tisíc obyvatel města požadovalo okamžité lékařské testy, zda nejsou kontaminováni. Nemocnice byly zahlceny a lidé demonstrovali v ulicích<sup>(17)</sup>.

#### 1.9.4 Los Barrios, Španělsko – r. 1998

V květnu 1998 prošel zdroj  $^{137}\text{Cs}$  přes monitorovací zařízení firmy Acerinox, zabývající se přepracováním starého železa, a nebyl zachycen. Když byl zdroj roztaven, uvolnil se do ovzduší radioaktivní mrak. Detektory v komínech tento radioaktivní únik nezachytily a radioaktivita byla nakonec detekována až ve Francii, Itálii, Švýcarsku, Německu a v Rakousku. Hladina radioaktivity byla až 1 000-krát vyšší než normálně a to i na našem území.

Nehoda vedla ke kontaminaci továrny na přepracování starého železa a dvou oceláren, kam byla tavenina poslána. Podle výzkumu nezávislých laboratoří popel vytvořený továrnou firmy Acerinox obsahoval mezi 640 Bq/g až 1420 Bq/g (norma Euratom je 10 Bq/g), což už je množství které může ohrožovat obyvatelstvo.

6 lidí bylo vystaveno nízké dávce radiace. Odhadované náklady na dekontaminaci, sklad radioaktivního odpadu a ušlé zisky byly kolem 26 milionů amerických dolarů (hlavně kvůli ušlým ziskům)<sup>(45)</sup>.

#### 1.9.5 Gruzie – r. 2000

V prosinci roku 2000, tři dřevorubci v Gruzii strávili noc vedle několika „hřejících“ sudů, které našli hluboko v lese, později byli hospitalizováni se závažnými radiačními popáleninami. Ukázalo se, že sudy obsahovaly koncentrované  $^{90}\text{Sr}$ . Likvidační tým byl sestaven z 25 členů, z nichž každý manipuloval se zdrojem 40 sekund a takto byly zdroje dopraveny do olověného sudu. Zdroje sloužily jako generátory pro majáky a navigační signální věže, součást Sovětského zařízení z roku 1983<sup>(18)</sup>.

### **1.10 Modelování radiologických dopadů radiačních havárií**

Pro simulaci následků výbuchu špinavé bomby je možné využít některých počítačových programů. Tato simulace s sebou ale nese některá omezení. Například v těchto programech nelze dostatečně dobře započítat komínový efekt v okolí budov, v případě že bychom simulaci výbuchu špinavé bomby situovali do města. Dokonalá simulace by mohla být provedena pouze ve speciálním simulačním zařízení, kde by byl postavený model města ve kterém bychom uvažovali následky výbuchu špinavé bomby

nebo použití jiného typu radiační disperze. Z tohoto důvodu jsou počítačové simulace zahrnuté v přílohách pouze převzaté z dostupných, již vypracovaných zdrojů (**příloha č. 12**).

#### 1.10.1 Program Geografický informační systém GIS

Vytvořen v prostředí GIS ARC/INFO a jeho nadstavby ArcView. Jako základní datový zdroj zvolen digitální model území, obsahující základní geografické a atributové informace o těchto vrstvách – hranicích, sídlech, vodstvu, komunikacích, rostlinném a půdním krytu a dálkových vedeních<sup>(3)</sup>.

Vedle dalších částí obsahuje program rovněž část „Řešení událostí“. Na základě průzkumu dlouhodobých potřeb na úseku ochrany obyvatelstva byly jako základní typy havárií určeny:

- : radiační havárie
- : havárie spojená s únikem nebezpečných látek
- : havárie vodního díla
- : obecná havárie

K vyhodnocení následků havárie má uživatel přístup k:

- přehledu stacionárních objektů disponujících nebezpečnými látkami – potenciálních ohrožovatelů ve 4 úrovních – vlastníka objektu, podřízených závodů, provozů a druhu rizika
- databázi nebezpečných látek MEDIS-ALARM
- modelům šíření nebezpečných látek ROZEX a ÚNIK

#### 1.10.2 Program TerEx

Nástroj pro rychlou prognózu dopadů a následků působení nebezpečných látek nebo výbušných systémů. Jedná se o počítačový program s návazností na grafický informační systém pro přímé zobrazení výsledků v mapách. Je určen zejména pro operativní použití jednotkami IZS při zásahu, pro rychlé určení rozsahu ohrožení a realizaci následných opatření ochrany obyvatel. TerEx je využitelný velitelem zásahu

přímo na místě nebo operačním důstojníkem v řídicím středisku. Stejně tak je vhodný pro analýzy rizik při plánování. Předpověď dopadů a následků je založena na konzervativní prognóze, tj. výsledky odpovídají takovým podmínkám, při kterých dojde k maximálním možným dopadům a následkům na okolí – tzv. nejhorší varianta.

TerEx se vyznačuje vysokým komfortem, všechny parametry je možno volit z nabídek. Umožňuje dosáhnout výsledky nejen odborníkovi v oborech chemie či pyrotechniky, ale i např. pracovníku krizového řízení<sup>(3)</sup>.

Základní vyhodnocované havarijní situace:

- únik toxické látky
- únik výbušné látky
- únik hořlavé látky
- detonace výbušných systémů – založeno na kondenzované fázi, použité s cílem ohrožení okolí detonace (teroristické akce) – vyhodnocuje možné dopady.

### 1.10.3 Systém RaCon

Podpora krizového managementu v případě radiačních havárií, rychlá odpověď možných radiologických následků a návrhy jak bezpečně a efektivně provádět havarijní a monitorovací akce. Zohledňuje též meteorologické informace<sup>(41)</sup>.

Základní vyhodnocování:

- fixní výpočetní síť s proměnným rozsahem vzdálenosti od 300m do 30 km
- modifikovaný Gaussův segmentovaný model transportu a disperze radionuklidů v atmosféře s korekcemi na drsnost terénu, relativní nadmořské výšky a rozměru radioaktivního oblaku
- výpočet proměnných meteorologických podmínek
- výpočet dávek pro dospělé a skupinu dětí
- korekce zdrojového členu na základě výsledků měření v terénu

Hlavní výsledky výpočtů:

- : objemové a plošné aktivity v zasažené oblasti
- : velikost zasažených oblastí
- : efektivní dávky a dávky na štítnou žlázu
- : dávkové příkony a dávky ve vybraných časech a lokalitách
- : návrh neodkladných opatření na ochranu obyvatelstva
- : zobrazení časového průběhu příchodu a odchodu radioaktivního mraku

Samostatné programy hodnotící:

- krátkodobé úniky radioaktivních látek způsobené např. výbuchem
- dlouhodobé úniky radioaktivních látek do atmosféry např. při požáru
- úniky radioaktivních látek do atmosféry při jaderných haváriích

### **1.11 Integrovaný záchranný systém**

Dojde-li k výbuchu špinavé bomby, následky bude nutné řešit za pomoci všech složek integrovaného záchranného systému, nejen složek hlavních, ale také složek vedlejších.

Integrovaný záchranný systém (dále jen IZS) je určen pro koordinaci záchranných a likvidačních prací v případě, že si mimořádná událost vyžádá nasazení sil a prostředků řady subjektů, např. hasičů, policie, zdravotnické záchranné služby, sdružení občanů (tzv. složek IZS), případně je nutno koordinovat záchranné a likvidační práce z úrovně Ministerstva vnitra, krajů nebo starostou obce<sup>(39)</sup>.

IZS není organizace, ale systém s nástroji spolupráce a modelovými postupy součinnosti. Jde o to, aby se promyšlenou a plánovanou kooperací zabezpečilo, aby veškeré možné zdroje a kompetence, které jsou potřebné při záchranných a likvidačních pracích, byly použity. Základním aspektem IZS je skutečnost, že složka IZS neztrácí svoji účastí v něm svoji právní subjektivitu ani princip dosavadního samostatného financování.



Základním právním předpisem pro IZS je zákon č 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a změně některých zákonů. Zákon stanoví složky IZS a jejich působnost.

Základní složky IZS zajišťují nepřetržitou pohotovost pro příjem ohlášení vzniku mimořádné události, její vyhodnocení a neodkladný zásah v místě mimořádné události. Za tímto účelem rozmísťují své síly a prostředky po celém území České Republiky.

Základními složkami IZS jsou:

- Hasičský záchranný sbor ČR a jednotky požární ochrany zařazené do plošného pokrytí kraje
- Policie ČR
- Zdravotnická záchranná služba

Ostatní složky IZS jsou povolávány k záchranným a likvidačním pracím podle povahy mimořádné události, na základě jejich možností zasáhnout a pravomocí, které jim dávají právní předpisy.

K ostatním složkám IZS patří:

- vyčleněné síly a prostředky ozbrojených sil
- ostatní ozbrojené bezpečnostní sbory
- ostatní záchranné sbory
- orgány ochrany veřejného zdraví
- havarijní, pohotovostní a jiné služby
- zařízení civilní ochrany
- neziskové organizace a sdružení občanů, která lze využít k záchranným a likvidačním pracím
- v době krizových situací také odborná zdravotnická zařízení na úrovni fakultních nemocnic

## **2. CÍL PRÁCE A HYPOTÉZA**

- Cílem této práce bylo objasnit mechanismus působení výbuchu špinavé bomby, možné zdroje komponent pro její výrobu a odhad potenciálních následků.
- Hypotéza: „Sestrojit špinavou bombu je relativně snadné a následky jejího výbuchu jsou těžko odhadnutelné“.

### **3. METODIKA**

Tato diplomová práce byla zpracována za základě analýzy dostupné literatury a publikací týkajících se problematiky terorismu, radiologického terorismu a fyzikálního rámce dané problematiky. Pro popis činností jednotlivých složek IZS při výbuchu špinavé bomby byly použity „typové činnosti složek IZS při společném zásahu“ a doporučení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost.

## 4. VÝSLEDKY

Pro určení následků výbuchu špinavé bomby je potřeba rozdělit možnosti rozptylu radioaktivního materiálu, protože každý způsob má svá specifika, ale likvidace následků je v mnoha ohledech stejná. Nejhorší variantou je exploze výbušniny s rozprášením radioaktivních částic do okolí, protože v tomto případě budou osoby v místě výbuchu zraněny následkem výbuchu trhaviny a bude potřeba zásahu všech složek IZS přičemž hrozí možnost kontaminace záchranářů.

### 4.1 Zařízení k radiologickému rozptylu

Tento pojem je širší než přesné vymezení „zbraň“. Jde o jakoukoli metodu vědomého rozptýlení radioaktivního materiálu za účelem vyvolání teroru a zranění. Je to vlastně nekonvenční zbraň, kterou mohou použít teroristé. Přestože je tento pojem často nahrazován názvem „špinavá bomba“, radioaktivita může být šířena také pasivně (neexplozivně), například postříkem nebo roznášením rukama. Alternativou je také tzv. „zařízení k radiologické expozici“ (radiological exposure device), což v podstatě zahrnuje prosté umístění radioaktivního zdroje na veřejně přístupném místě (např. pod sedadlem v metru - **příloha č. 13**), v tomto případě budou lidé ozáření při pobytu poblíž zdroje<sup>(14)</sup>.

#### 4.1.1 Jiné disperzní metody

Pasivní nebo aktivní disperze otevřeného radioaktivního zdroje, např. ve směsi s vodou nebo zeminou, svrženého z vzdušného prostředí. Může být použito například práškovací letadlo. Radioaktivní zdroj může být ve skupenství pevném, kapalném, ve formě aerosolu nebo plynu. Při použití tohoto prostředí disperze budou lidé ozáření také nepřímo požitím kontaminované vody, potravin, vdechováním vzduchu<sup>(43)</sup>.

#### 4.1.2 Skryté uzavřené radioaktivní zdroje (zařízení k radiologické expozici)

Způsobí ozáření, ale nezpůsobí kontaminaci. Takovýto zdroj může být umístěn ve voze metra, nebo na sportovním stadionu, v odpadkovém koši uvnitř budovy apod. Obdržená dávka a specifické efekty budou záležet na několika faktorech: na vlastnostech

zdroje (izotop, aktivita, množství), na vzdálenosti jednotlivce od zdroje, na době expozice a zda bylo ozáření celotělové, nebo byla ozářena jen určitá část těla<sup>(43)</sup>.

#### 4.1.3 Disperze při explozi (Špinavá bomba)

Při explozi se rozpráší do okolí radioaktivní i neradioaktivní šrapnel a radioaktivní prach. Exploze způsobí kontaminaci povrchu, radiační expozici, fyzická poranění, popáleniny a také paniku a strach.

Špinavá bomba však nezapříčiní vysoké ztráty na životech, jako by tomu bylo při výbuchu jaderné pumy. Téměř všechna úmrtí budou způsobena samotnou explozí. Zatímco mnoho lidí v obydlených oblastech kolem výbuchu špinavé bomby bude kontaminováno radionuklidem, což bude vyžadovat odbornou dekontaminaci, minimum z nich bude kontaminováno tak, aby byla nutná lékařská péče.

Následky výbuchu budou záviset na : typu bomby

: typu a množství radioaktivního materiálu

: šíření radioaktivní stopy

Dalším problémem, který nastane při výbuchu bude oheň, kouř, šrapnel (z exploze), zasažení budov a jejich poškození při výbuchu, chemikálie, které mohou být uvolněny při poškození budov výbuchem. Poté bude nutná dekontaminace osob a pozemků<sup>(2, 43)</sup>.

## **4.2 Dostupnost radioaktivního materiálu k výrobě špinavé bomby**

Protože uran a plutonium patří mezi přísně střežené materiály, nejlépe dostupné jsou radionuklidové zdroje z méně nápadných zdrojů.

Radionuklidové zdroje z lékařských ozařovačů (<sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs) jsou v našich podmínkách dobře hlídané a pravidelné výměny zdrojů a likvidace zdrojů probíhá za přísného sledování. Avšak v zahraničí byly případy, kdy zdroje z teleterapeutických zařízení byly vymontovány, popřípadě nalezeny na skládkách (viz. kapitola 1.9.3 Goiânia, Brazílie – r. 1987).

Nejsnadněji dostupné zdroje radionuklidů potřebných k výrobě špinavé bomby se nalézají na pracovištích, která využívají zdroje ionizujícího záření jako hladinoměry nebo

eliminátorů elektrostatického náboje (hlavně  $\alpha$  zářiče). Tyto zdroje se hojně využívaly v minulosti než se v některých provozech přešlo na jiné metody (například nahrazení radionuklidových hladinměřů za ultrazvukové) a některé tyto provozy zůstaly opuštěné, aniž by došlo k řádné demontáži těchto zařízení.

Nicméně nejsnadnějším a nejdostupnějším radionuklidovým zdrojem, je mobilní defektoskopické zařízení. Defektoskopická zařízení využívající radionuklidy, zejména  $^{192}\text{Ir}$ , jsou malá a přenosná, kryt je sice těžký, ale dva muži jsou schopni tento přístroj bez problémů odnést a naložit do automobilu. V takovém případě stačí chvilka nepozornosti ze strany personálu obsluhujícího defektoskop a krádež tohoto zařízení není problematická.

Opatřit si trhavinu a sestrojít špinavou bombu tedy není nijak problematické, stejně tak jako umístění nějakého radioaktivního zdroje v obyčejně vyhlížejícím obalu do blízkosti osob.

Nesmí být také opomíjena možnost kontaminace potravin a vody například  $\alpha$  zářičem. Tyto zářiče jsou používány právě jako eliminátory elektrostatického náboje ve výrobnách papíru a v textilním a gumárenském průmyslu. Taková kontaminace se jen velice obtížně zjišťuje a její následky jsou často fatální, protože dochází k ozařování těla a tkání zevnitř. Případy užití radioaktivity pro travičství jsou dobře známy – například bývalý ruský špion Alexandr Litviněnko byl v roce 2006 otráven radioaktivním poloniem.

Jedním z faktorů použití radiologické zbraně je také odhodlání teroristů ji použít. Manipulace se zářičem, obzvlášť jde-li o teleterapeutický zdroj, je velmi obtížná. Kontejnery obsahující zářiče jsou velmi těžké a obtížně demontovatelné, samozřejmě proto, aby se zamezilo pravděpodobnosti porušení obálky zdroje. Tyto zdroje jsou také vysoce aktivní, takže jakákoli neodborná manipulace, která není prováděna za speciálních ochranných podmínek, vede k bezprostřednímu ozařování osoby, která se snaží o vyjmutí zdroje z ochranného obalu.

Ovšem v posledních letech se v řadách teroristů objevují tzv. „kamikadze“. Teroristé jsou ochotni obětovat život při teroristickém aktu, a tento přístup může být uplatněn i při zneužití radioaktivních zdrojů.

### **4.3 Příklady možných scénářů radiologického útoku**

#### **4.3.1 Neexplozivní metody**

##### *4.3.1.1 Rozprášení radionuklidu ventilací*

Radioaktivní prášek je vložen do ventilačních a klimatizačních systémů kancelářských budov, hotelů, supermarketů, metra, vlakových nádraží, bank a podobně<sup>(28)</sup>.

Symptomy zasažení osob jsou detekovány až po několika dnech nebo dokonce týdnech. Varování obyvatelstva tak může být provedeno až s tímto několika denním nebo i delším zpožděním.

Mezitím radionuklidy v zamořených místech působí povrchovou i vnitřní kontaminaci osob a navíc i vnější ozařování osob (závisí na druhu použitého radionuklidu).

Po zjištění zamoření s uvedeným zpožděním, popřípadě po ohlášení provedeného útoku samotnými teroristy, úřady varují obyvatelstvo, vyhlásí jeho evakuaci a dekontaminaci. Lidé začnou panikařit a zahltí zdravotnická zařízení, protože budou přesvědčeni, že byli ozáření a budou se obávat smrti.

Bude velmi obtížné odhalování škodlivého zdravotního působení radionuklidů a s obtížemi a velkými finančními náklady se bude zabezpečovat dekontaminace zamořených prostorů.

Po takovém zjištění může dojít ke všeobecnému kolapsu, může být nařízena i demolice zasažených budov a objektů, zemina z kontaminovaných míst bude vybagrována a uložena jako radioaktivní odpad. Stejně bude naloženo i s nábytkem, oblečením a ostatními kontaminovanými materiály (stejně jako při radiační nehodě v brazilské Goiânii).

#### *4.3.1.2 Použití práškovacího letadla, rozptýlení z budov*

Začíná se spekulovat i o možnosti zneužití práškovacích letadel pro použití radioaktivních látek k zamoření městských center a jiných citlivých a zranitelných míst. Mnohem jednodušší variantou je umístění práškového zdroje (například kapsle s  $^{137}\text{Cs}$  z teleterapeutického ozařovače) na střechu výškové budovy. Zasažená plocha může poté být velmi rozsáhlá. Tento jednodušší model tak dostatečně nahrazuje rozptýl z práškovacího letadla.

I zde se projeví zpoždění v detekci přítomnosti radioaktivních látek a s tím spojené zdravotní obtíže obyvatel a problémy s následnou dekontaminací a likvidací následků.

Také v tomto případě bude hrát velkou roli, kdy teroristé svůj čin zveřejní v médiích. Při okamžitém zveřejnění budou lidé v panice prchat pryč z měst a je reálná možnost zavlečení kontaminace i do původně nekontaminovaných oblastí. Na druhé straně pokud teroristé s oznámením počkají několik dní a oznámí svůj čin až poté, lidé v panice a ve strachu z nemoci z ozáření zahltní zdravotnická střediska<sup>(14, 28)</sup>.

#### 4.3.2 Explosivní metody

Při jakémkoliv použití explozivních metod vyvstává společný problém – zda napadne některou ze zasahujících jednotek, že by místo výbuchu i trhavina mohly být kontaminovány radioaktivními látkami<sup>(28)</sup>.

##### *4.3.2.1 Výbuch kamionu*

Náklad kamionu může být deklarován jako náklad průmyslového hnojiva, nicméně může obsahovat radioaktivní látky. Časovaná nebo dálkově iniciovatelná rozbuška způsobí na určeném místě mohutný výbuch průmyslového hnojiva.

Tento výbuch způsobí rozptýlení radioaktivních látek na velké vzdálenosti a zamoří rozsáhlé prostory. Při takové explozi se zpravidla nezjišťuje přítomnost radioaktivních látek, neboť se má za to, že došlo k průmyslové havárii.

Přítomnost radioaktivních látek bude zjištěna až na základě symptomů s několika denním zpožděním.



#### 4.3.2.2 Výbuch špinavé bomby

Dnes není problém opatřit si konvenční trhavinu, proto vlastní sestavení špinavé bomby není složité. Nálož může být uložena například v kufru osobního automobilu. Umístění takového automobilu může být situováno tak, aby při detonaci došlo k maximálním ztrátám a škodám způsobeným tlakovou vlnou, ostrými kovovými předměty z automobilu, popálenami a také radioaktivním zamořením.

Pro způsobení maximálního radioaktivního zamoření je vhodné využít vhodné meteorologické podmínky v místě použití. Takové údaje jsou k dispozici na Internetu a to včetně archivace dat, případně jsou meteorologické údaje k dispozici v odborné literatuře. Potom stačí počkat na ideální povětrnostní podmínky a odpálit radiologické výbušné zařízení.

Dobrá znalost meteorologických podmínek může maximalizovat efekt radioaktivního zamoření. To bude mít katastrofické důsledky zejména v hustě obydleném území (jako jsou městská centra, městská sídliště apod.)

Detonace také přitáhne pozornost lidí, kteří se budou nacházet v blízkosti výbuchu. Výbuch je nejnápadnějším prostředkem disperze radioaktivních látek, protože exploze si lidé všimnou, zatímco šíření radionuklidů klimatickým systémem nezpozorují. Ale i při výbuchu dojde k velké panice, a to bez ohledu na to, zda bude teroristy ohlášen i rozptyl radioaktivních látek.

Při výbuchu budou povolány všechny jednotky IZS a bude záležet na včasném zjištění radioaktivního zamoření místa výbuchu, aby nedošlo také k nežádoucí kontaminaci zasahujících jednotek.

#### 4.4 Postup složek IZS při výbuchu špinavé bomby<sup>(10)</sup>

Problémem plánování postupu složek IZS při výbuchu špinavé bomby je fakt, že k němu ještě nikdy nedošlo. Po událostech 11. září 2001 USA vypracovaly scénář teroristického útoku s použitím radiologické zbraně, avšak ani tyto plány nemohou sloužit více, než určitá stručná osnova. Teroristický útok se nedá přesně naplánovat, protože nikdy nevíme kdy teroristé udeří, s jakou silou, s jakými prostředky a jak se zachovají.

Avšak i pro zásah při mimořádné události tohoto typu je vypracována typová činnost složek IZS při společném zásahu.

#### 4.4.1 Charakter a druh mimořádné události

Složky integrovaného záchranného systému dostaly oznámení že některá teroristická skupina použila radiologickou zbraň v zastavěné části obce, nebo byla na místě výbuchu nástražného výbušného systému naměřena nadlimitní hodnota dávkového příkonu (více než desetinásobek přírodního pozadí v daném kraji) při měření, které vždy u jakéhokoliv výbuchu provádí jednotky HZS. Vzhledem k tomu, že špinavá bomba je především psychologická zbraň, mající vyvolat paniku obyvatelstva, je vysoce pravděpodobné, že její použití bude teroristy poměrně bezprostředně po aplikaci ohlášeno veřejným médiím.

Došlo k rozptýlení radioaktivní látky jiným neočekávaným způsobem, pro který nejsou předpisem (nebo havarijním plánem) upraveny taktické a organizační požadavky, postupy a směrné hodnoty k prokázání optimalizace radiační ochrany.

Mimořádná událost je charakteristická tím, že:

- v rámci zahájení záchranných a likvidačních prací je nutné provést stejná opatření a úkony jako při výbuchu konvenční nálože nebo při průmyslovém výbuchu s tím, že od okamžiku potvrzení zvýšeného dávkového příkonu je třeba prioritně zajistit ochranu zasahujících osob a vyloučit z některých činností složky IZS nebo osoby, které nemají odpovídající ochranné prostředky nebo dosáhly doby možné expozice
- je třeba zajišťovat ochranná opatření i pro osoby, které při výbuchu nebyly zraněny, ale nacházely se v jeho bezprostřední blízkosti
- se zásahem jsou sice nevyhnutelně spojeny relativně masivní opatření na ochranu obyvatelstva (zejména varování, dekontaminace, ukrytí, evakuace), ale jejich značně převažující část bude moci být provedena až následně v rámci ústřední koordinace záchranných a likvidačních prací

- provádění některých následných ochranných opatření, zejména dekontaminace obyvatelstva a civilních dopravních prostředků, nemusí být nutně prováděna na místě zásahu, je dokonce vhodné je organizovat v lokalitách s možností manipulace s kontaminovanou vodou (vypouštění vody, resp. zachycení kalů)
- souběžně se záchrannými a likvidačními pracemi (zásahem) bude nezávisle probíhat vyšetřování prováděné Policií ČR a dalšími bezpečnostními složkami.

#### 4.4.2 Velitel zásahu a řízení záchranných a likvidačních prací

Velitelem zásahu je příslušník Hasičského záchranného sboru ČR (HZS ČR), který je velitelem přítomné jednotky požární ochrany nebo funkcionář HZS ČR s právem přednostního velení. Po potvrzení přítomnosti ionizujícího záření okamžitě převezme velení zásahu (pokud výjimečně do té doby zásah řídil příslušník jiné složky IZS) a prostřednictvím místně příslušného operačního a informačního střediska IZS povolá do svého štábu velitele zásahu mimo jiných vždy následující osoby:

- zástupce Policie ČR, který velí silám a prostředkům policie podílejících se na zásahu
- přítomného lékaře ZZS
- zástupce místně příslušné obce s rozšířenou působností
- zástupce postižené obce, pokud tato není zároveň obcí s rozšířenou působností

Následně budou do štábu zařazovány další osoby odeslané na místo zásahu operačními středisky základních složek IZS nebo Krizovým štábem SÚJB:

- zástupce místně příslušného regionálního centra SÚJB (ten má právo převzít velení zásahu – zásah mimo zastavěnou část obce)
- zástupce specializovaného pracoviště Útvaru pro odhalování organizovaného zločinu
- příslušník územně příslušné správy kraje Policie ČR vyškolený pro šetření událostí s radioaktivními látkami

#### 4.4.3 Odpovídající stupeň poplachu

Velitel zásahu vyhlásí odpovídající stupeň poplachu podle rozsahu zasaženého prostoru (vyhláška č. 328/2001 Sb.) a místně příslušné operační a informační středisko IZS obvykle následně vyhlásí zvláštní stupeň poplachu. Vzhledem k tomu, že některé síly a prostředky využitelné pro řešení tohoto typu mimořádných událostí (zásahu) jsou k dispozici jen prostřednictvím Ústředního poplachového plánu IZS, je nutná strategická koordinace společného zásahu. V okamžiku potřeby velkého množství centrálně uvolňovaných sil prostředků (např. doporučení SÚJB dekontaminovat tisíce osob a vyhlášení stavu nebezpečí) požádá HZS kraje operační a informační středisko MV-GŘ HZS ČR o provádění ústřední koordinace záchranných a likvidačních prací.

#### 4.4.4 Časové vymezení zásahu

Za konec zásahu složek IZS je považován okamžik, kdy jsou z vytyčené bezpečnostní zóny evakuovány všechny osoby, je provedena dezaktivace osob a techniky, která byla při zásahu využívána, prostor uvnitř bezpečnostní zóny je na její hranici uzavřen Policií ČR a není nutné provádět žádné záchranné práce. Zbývající likvidační práce (obvykle velmi významné množství likvidačních prací) a další opatření na ochranu obyvatelstva bude zajišťovat příslušná obec ve spolupráci s HZS příslušného kraje podle doporučení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Jejich provedení není považováno za součást zásahu složek IZS.

#### 4.4.5 Očekávaná disponibilní sestava základních složek IZS

*Policie ČR:* Jen síly spolupracující při zabezpečení záchranných a likvidačních prací, nikoliv policisté zabezpečující souběžné vyšetřování.

- příslušníci služby pořádkové policie Policie ČR
- příslušníci služby dopravní policie Policie ČR
- pyrotechnici Policie ČR
- v případě blízkosti státní hranice nebo na mezinárodních letištích příslušníci cizinecké a pohraniční policie Policie ČR

#### *Hasičský záchranný sbor ČR*

- dvě až tři družstva HZS kraje s vyprošťovací technikou
- dvě až tři družstva HZS kraje s prostředky pro dekontaminaci
- disponibilní protiplynové automobily s techniky chemicko-technické služby HZS kraje
- speciální dekontaminační odřad, pokud ním HZS kraje nebo některý sousedící kraj disponuje (doba dojezdu +1 hodina)
- vyhledávají a záchranné odřady nebo chemické a ekologické odřady sousedících HZS krajů

#### *Zdravotnická záchranná služba ČR*

- vozidla (sanitky) územně příslušných zdravotnických záchranných služeb podle počtu zraněných v souladu s traumatologickým plánem havarijního plánu kraje
- lékař zdravotnické záchranné služby, který provede třídění zraněných a podle charakteru zranění doporučí, zda a jakým způsobem je možné provést dekontaminaci zraněného
- záchranné vrtulníky začleněné do systému letecké záchranné služby pro převoz zraněných, u kterých je naměřena kontaminace, do vzdálených nemocnic, které mají Středisko speciální zdravotní péče o osoby ozářené při radiačních nehodách

#### 4.4.6 Nutné nebo doporučené využití ostatních složek IZS

V případě nutnosti je možnost zapojit do zásahu také Armádu ČR (mobilní monitorovací jednotky, dekontaminační odřad, vrtulníky), Celní správu ČR, Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany (SÚJBCHO), Státní úřad radiační ochrany (SÚRO) a Místně příslušnou správu komunikací (jejímž úkolem je zabezpečit dopravní značení i při uzávěrách a regulaci dopravy).

V případě velkého rozsahu účinků radiologické zbraně je možné dále povolát další síly a prostředky Armády ČR, hlavně dekontaminační odřady a dekontaminační techniku, mobilní monitorovací skupiny, leteckou monitorovací skupinu, mobilní zdravotnický tým, chemické laboratoře a zásahové skupiny regionálních Posádkových ošetřoven. **(přílohy č. 14 a č. 15 – schéma dekontaminace osob a zasahujících hasičů)**

#### 4.4.7 Přehled právních předpisů a smluv platných v souvislosti s výbuchem radiologické zbraně

*Právní předpisy:*

1. Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů.
2. Zákon č. 283/1991 Sb., o Policii České Republiky, ve znění pozdějších předpisů.
3. Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
4. Zákon č. 219/1999 Sb., o ozbrojených silách České Republiky, ve znění pozdějších předpisů.
5. Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
6. Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů.
7. Vyhláška č. 145/1997 Sb., o evidenci a kontrole jaderných materiálů a o jejich bližším vymezení, ve znění vyhlášky č. 316/2002 Sb.

8. Vyhláška č. 146/1997 Sb., kterou se stanoví činnosti, které mají bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost, a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, požadavky na kvalifikaci a odbornou přípravu, způsob ověřování zvláštní odborné způsobilosti a udělování oprávnění vybraným pracovníkům a způsob provedení schvalované dokumentace pro povolení k přípravě vybraných pracovníků, ve znění vyhlášky č. 315/2002 Sb.
9. Vyhláška č. 247/2001 Sb., o organizaci a činnosti jednotek požární ochrany.
10. Vyhláška č. 328/2001 Sb., o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému, ve znění vyhlášky č. 429/2003 Sb.
11. Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně.
12. Vyhláška č. 319/2002 Sb., o funkci a organizaci celostátní radiační monitorovací sítě.
13. Vyhláška č. 434/1992 Sb., o zdravotnické záchranné službě, ve znění pozdějších předpisů.

*Smlouvy:*

1. Dohoda o vzájemné spolupráci mezi Ministerstvem vnitra – Generálním ředitelstvím Hasičského záchranného sboru České Republiky (MV-GŘ HZS ČR) a Státním úřadem pro jadernou bezpečnost České Republiky, uzavřená dne 31. května 2001.
2. Součinnostní dohoda o zabezpečování a přijímání informací v případě vzniku mimořádné události Ministerstvem vnitra – Generálním ředitelstvím Hasičského záchranného sboru České Republiky a Státním úřadem pro jadernou bezpečnost České Republiky, uzavřená dne 31. května 2001.
3. Smlouva o činnosti složek celostátní radiační monitorovací sítě v působnosti Ministerstva vnitra – Generálního ředitelství Hasičského záchranného sboru České Republiky uzavřená se Státním úřadem pro jadernou bezpečnost České Republiky, den 31. května 2001.

4. Dohoda o plánované pomoci na vyžádání mezi Českou Republikou, Ministerstvem vnitra – Generálním ředitelstvím Hasičského záchranného sboru České Republiky a Českou Republikou, Ministerstvem obrany – Generálním štábem Armády České Republiky, uzavřená den 25. června 2003.
5. Dohoda o plánované pomoci na vyžádání mezi Českou Republikou, Ministerstvem vnitra – Generálním ředitelstvím Hasičského záchranného sboru České Republiky a Českou Republikou, Ministerstvem financí – Generálním ředitelství cel, uzavřená dne 2. července 2003.

#### 4.4.8 Postup velitele zásahu (příloha č. 16 – členění místa zásahu)

V okamžiku, kdy je velitel jednotek požární ochrany přítomných na místě mimořádné události (výbuchu) informován, že byl naměřen dávkový příkon vyšší než 10 $\mu$ Gy/h nebo 10 $\mu$ Sv/h případně zjištěna plošná aktivita předmětu více než 10Bq/cm<sup>2</sup>:

- Vyhodnotí situaci, informuje územně příslušné operační a informační středisko (OPIS) a podle výsledků vyhodnocení případně požádá o vyhlášení ústřední koordinace záchranných a likvidačních prací. Současně uvede první odhad přibližného počtu zraněných a odhad počtu kontaminací ohrožených obyvatel.
- Ustoupí do bezpečné vzdálenosti, kde zřídí velitelské stanoviště. O poloze velitelského stanoviště informuje velitele a vedoucí složek IZS. Na velitelské stanoviště svolá velitele a vedoucí složek IZS.
- Informuje velitele a vedoucí dalších přítomných složek IZS o tom, že existuje důvodný předpoklad zásahu typu „špinavá bomba“ a převezme velení zásahu složek IZS, pokud jím nebyl již předtím.
- Vytvoří ze svolaných velitelů a vedoucích složek IZS *štáb velitele zásahu*. Přítomného lékaře zdravotnické služby ustanoví vedoucím lékařem zásahu.



- Uloží velitelům a vedoucím složek IZS, aby informovali zasahující osoby své složky, že při zásahu existuje riziko havarijního ozáření; z tohoto důvodu je bezpodmínečně nutné dodržovat pokyny velitele zásahu k používání ochranných prostředků a respektovat dobrovolnost účasti na zásahu.
- Nařídí podvádět nepřetržitý průzkum a vytyčit postupně:
  - předběžnou ochrannou zónu (50m od výbuchu nebo předpokládaného místa zdroje ionizujícího záření)
  - vnější zónu, jako prostor vně předběžné ochranné zóny dostatečně velký pro rozčlenění na jednotlivé stanoviště a prostory pro uplatnění taktiky zásahu podle vyhlášky č. 328/2001 Sb., a lze ho uzavřít disponibilním počtem hlídek
  - nebezpečnou zónu (dávkový příkon na vnější hranici zóny 1mGy/h – odpovídá 1mSv/h)
  - bezpečnostní zónu (dávkový příkon na vnější hranici zóny v úrovni 10μSv/h což odpovídá úrovni plošné aktivity 10Bq/cm<sup>2</sup>); po vytyčení nebezpečné a bezpečnostní zóny se nadále nepoužívá 50m předběžná zóna a postupy stanovené pro předběžnou zónu (evidence časů, omezení vstupu) platí dále pro nebezpečnou a bezpečnou zónu.
- Uloží dokončení bezprostředně nutných záchranných prací v okruhu 50m (dočasně stanovená hranice tzv. předběžné ochranné zóny) od centra události, přičemž bezprostředně nutné je vyprostit osoby, ošetřit těžce zraněné osoby, uhasit požáry, mlžit zdroje prachu (v uvedeném pořadí).
- Okamžitě:
  - Přizpůsobí taktiku zásahu tomu, aby nutný pohyb záchranářů v předběžné ochranné zóně byl co nejkratší a byl omezen rozptýl kouřových a prachových částic.

- Po dohodě s vedoucím lékařem zásahu rozhodne o umístění třídícího stanoviště zraněných.
  - Prikáže vedoucímu lékaři zásahu, aby třídil zraněné podle charakteru zranění na zraněné, které je možné dekontaminovat a ostatní těžce zraněné, u nichž možná dekontaminace spočívá pouze v šetrném rozstříhání ošacení a zřídí malý evakuační cyklus.
  - Zajistí provádění možné (lékařem stanovené) dekontaminace zraněných alespoň na hodnotu 10Bq/cm<sup>2</sup> před jejich převozem do spádového zdravotnického zařízení nebo jiných zdravotnických zařízení.
  - Vykáže z předběžné ochranné zóny všechny venku se pohybující přítomné osoby včetně záchranářů bez dýchacích prostředků, doporučí jim (záchranářům nařídí), aby vyčkali na návětrné straně na dozimetrickou kontrolu a případnou dekontaminaci.
  - Zajistí prostřednictvím členů průzkumu (nebo megafonem) předání výzvy osobám, které se nachází v uzavřených prostorách (bytech, kancelářích), aby se připravili k evakuaci tím způsobem, že uzavřou vstupní otvory místností a utěsní je pomocí navlhčené tkaniny, dýchají přes navlhčenou tkaninu, připraví si osobní doklady a vyčkají na výzvu k evakuaci.
  - Monitoruje odjezdy přítomné záchranářské techniky; u odjíždějících vozidel (zejména sanitek) podle možností zajistí provedení opláchnutí vozidla nad kanalizací.
  - Organizuje příjezd dalších příjíždějících sanitek jen k hranici předběžné ochranné zóny (později bezpečnostní zóny) a přenos zraněných osobami vybavenými dýchací technikou
- Uloží velitelům a vedoucím složek IZS vést časovou evidenci pohybu zasahujících osob vlastních složek IZS v předběžné ochranné zóně (později v nebezpečné a bezpečnostní zóně).

- Rozčlení místo zásahu tak, aby týlový prostor, shromaždiště zraněných, nástupní prostor, místo pro přistávání vrtulníků a další prostory soustředění osob byly vně za hranicí nebezpečné zóny na návětrné straně.
- Stanoví místa pro dekontaminaci zasahujících osob na hranici bezpečnostní zóny.
- Uloží Policii ČR provést úplnou uzávěru hranic vnější zóny a regulovat dopravu mimo místo zásahu s vytvořením dopravního koridoru pro příjezd zásahové techniky.
- Stanoví místa vstupů a výstupů zasahujících osob do bezpečnostní zóny v blízkosti míst pro dekontaminaci zasahujících osob) a zjistí evidenci vstupů a výstupů osob do nebezpečné a bezpečnostní zóny tj. *zavede režimová opatření* pro pohyb v zónách včetně časové evidence a pohybu osob v zónách; postupně ve spolupráci s obcí zabezpečení přivezení kontejnerů k výstupům z bezpečnostní zóny pro odkládání jednorázových ochranných prostředků.
- V případě nutné a nevyhnutelné potřeby vyvedení obyvatelstva z objektů přes bezpečnostní zónu nebo nebezpečnou zónu nařídí propláchnout vodou koridor (průchod, např. omytí chodníku) pro vyvedení.
- Nařídí postupně evakuovat obyvatelstvo vyvedením z objektů v nebezpečné zóně (přednostně vchody odvrácenými od výbuchu) až poté, co jsou specialisty ochrany obyvatelstva HZS kraje vytvořeny předpoklady (rozvinuté dekontaminační linky, zabezpečený převoz apod.) pro jejich dozimetrickou kontrolu, evidenci a případnou dekontaminaci.
- Po ukončení evakuace obyvatelstva vyvedením z objektů v nebezpečné zóně a jeho dekontaminaci, zajišťuje s příslušným orgánem veřejné správy a s Policií ČR (až po konzultaci a doporučení SÚJB!) podle

situace také případnou doporučenou evakuaci obyvatelstva z objektů v bezpečnostní zóně.

- Uloží zahájit dekontaminaci zasahující techniky, která skončila svou činností v nebezpečné nebo bezpečnostní zóně, až poté co
  - o jsou instalovány linky pro dekontaminaci techniky
  - o SÚJB vydá doporučení pro manipulaci s kontaminovanou vodou.
- Zorganizuje prohlídky místa zásahu, zda se v evakuovaných objektech a prostorách nezdržují žádní obyvatelé.
- Zajistí pořízení seznamu parkujících vozidel v nebezpečné a bezpečnostní zóně.
- Požádá SÚJB o doporučení k zaslání některých (dle míry expozice) zasahujících osob k prohlídkám nebo hospitalizaci do středisek speciální zdravotní péče.
- Ukončí zásah složek IZS na špinavou bombu s tím, že složky IZS jsou nadále povinny být k dispozici hejtmanovi kraje nebo starostovi obce s rozšířenou působností, kteří budou podle doporučení SÚJB koordinovat a zajišťovat dokončení likvidačních a obnovovacích prací.
- Předá uzavřené a střežené místo zásahu a pořízené evidence odpovědným orgánům k dalšímu řešení.

#### 4.4.9 Úkoly operačních středisek

Při zásahu složek IZS při použití radiologické zbraně je zabezpečována značná část rozhodujících prvotních úkolů procesy operačního řízení, které jsou nezbytné pro úspěšné zvládnutí dalšího vývoje mimořádné události a musí zajistit maximální podporu a servis veliteli zásahu a složkám IZS na místě zásahu; řízení činnosti složek IZS a spolupracujících orgánů mimo prostor zásahu do doby, než budou svolány řídicí štáby, krizové štáby a další struktury věcně příslušných odpovědných orgánů; shromáždění veškerých dostupných informací potřebných pro činnost věcně příslušných orgánů.

Na plnění úkolů operačního řízení záchranných a likvidačních prací při zásahu na radiologickou zbraň se podílí zejména:

- : operační a informační středisko příslušného HZS kraje (KOPIS)
- : operační a informační středisko příslušného územního odboru HZS kraje (OPIS ÚO)
- : operační středisko územně příslušné PČR Správy kraje (OS PČR Sk)
- : operační středisko územně příslušného okresního ředitelství policie Policie ČR (OS PČR)
- : Územní středisko zdravotní záchranné služby (ÚSZS)
- : operační středisko územně příslušné zdravotnické záchranné služby (OS ZZS)
- : styčné místo SÚJB (SM SÚJB)
- : operační a informační středisko generálního ředitelství HZS ČR (OPIS GŘ)
- : společné operační centrum Ministerstva obrany (SOC MO)

#### 4.4.10 Úkoly a činnosti sil a prostředků jednotek požární ochrany

- Zahájit průzkum a na základě jeho výsledků se vybavit ochrannými prostředky.
- Dokončit bezprostředně nutné záchranné práce (uhasit požáry, vyprostit osoby apod.)
- Zabezpečit ochranu zasahujících osob složek IZS před účinky radiace a vést časovou evidenci pohybu příslušníků HZS kraje v kontaminovaném prostoru.
- Přerušit na pokyn velitele zásahu činnosti, které bezprostředně nesouvisejí s ochranou lidských životů a zdraví, pokud jsou překročeny přípustné limity dávkového příkonu a expozice, přičemž jsou příslušníci, kteří dosáhli stanovené expoziční limity neprodleně střídání.
- Provádět nepřetržité měření v rámci průzkumu a vytyčit postupně:
  - o Předběžnou ochrannou zónu (50m od výbuchu nebo předpokládaného místa zdroje největší kontaminace), ve které s výjimkou bezprostředně nutných záchranných prací, prováděných s využitím ochranných prostředků, neprobíhá žádná činnost.

- Vzdálenost 50m je zvolena proto, že je postačující pro převážnou většinu případně použitých radioaktivních materiálů.
- Vnější zónu, což je prostor vně předběžné ochranné zóny, který umožňuje rozčlenění místa zásahu podle vyhlášky 328/2001 Sb., tedy vytvořit prostory pro ošetření raněných, nástupní prostor, týlový prostor apod. a přitom je ho možné racionálně uzavřít hlídkami Policie ČR (např. celá ulice od křižovatky ke křižovatce).
- Nebezpečnou zónu – dávkový příkon 1mGy/h (odpovídá 1mSv/h)
- Bezpečnostní zónu – dávkový příkon v úrovni 10μSv/h nebo plošná kontaminace 10Bq/cm<sup>2</sup>. Celá bezpečnostní zóna je menší než vnější zóna; pokud by se při měření zjistilo, že byl neočekávaně použit takový zvlášť účinný radioaktivní materiál (např. práškové cesium), že hranice bezpečnostní zóny protíná hranice vnější zóny, je nutné **neprodleně zvětšit vnější zónu a přesunout** všechna dosud zřízená pracoviště, stanoviště a prostory za hranici bezpečnostní zóny, tj. neprodlužovat dobu expozice.
- Zřídit malý evakuační cyklus, který ústí na třídícím stanovišti zraněných a provést možnou (lékařem stanovenou) dekontaminaci zraněných před jejich převozem do zdravotnických zařízení (např. otření nebo omytí roztoky, odstranění oděvu, zabalení).
- Rozčlenit místo zásahu tak, aby týlový prostor, nástupní prostor a další prostory soustředění osob byly na hranici bezpečnostní zóny a byly mimo směr předpokládaného šíření kontaminace tj. aby byly na návětrné straně.
- Stanovit bezpečnostní uzávěry na hranici vnější zóny, určit vstupy a výstupy osob do bezpečnostní zóny a zajistit evidenci vstupů a výstupů do bezpečnostní zóny tj. zavést režimová opatření pro pohyb v zónách.
- Zařídit v nástupním prostoru výdejnu ochranných prostředků pro zasahující osoby.

- Zajistit tisk a dovoz informačních letáků pro evakuované obyvatelstvo a evidenčních archů evakuovaného obyvatelstva.
- Stanovit shromaždiště osob, které se vyskytovaly v nebezpečné i bezpečnostní zóně a kde bude na stejném místě nebo poblíž prostor pro jejich dozimetrickou kontrolu a případnou dekontaminaci.
- Evakuovat obyvatelstvo z nebezpečné zóny do shromaždiště osob pokud to SÚJB doporučí.
- Spolupracovat s Policií ČR při protiradiační ochraně orgánů činných v trestním řízení, kteří nezávisle na zásahu provádí nutné úkony na místě pro orgány činné v trestním řízení.
- Organizovat s Policií ČR a postiženou obcí následně podle situace (počty a dávkový příkon) evakuaci obyvatelstva z bezpečnostní zóny (informační letáky, evidence, dozimetrická kontrola, výjimečně i dekontaminace).
- Stanovit prostor pro dekontaminaci zasahující techniky nebo vozidel, které je nutné odstranit z nebezpečné zóny.
- Provádět dozimetrickou kontrolu, případně i dekontaminaci zasahujících vozidel, které odjíždějí mimo prostory zásahu, zejména sanitek; do rozvinutí dekontaminačních kapacit prostým oplachem vozidel nad kanalizací.
- Provádět v prostoru zásahu, případně i dekontaminaci zasahujících osob ze složek IZS a příslušníků Policie ČR, které na místě provádějí vyšetřování, jímat kontaminovanou vodu
- Zahájit dozimetrickou kontrolu, případně dekontaminaci všech osob, které se pohybovaly v nebezpečné zóně (po vyřešení odvozu vody použité pro dekontaminaci).
- Zahájit dozimetrickou kontrolu a dekontaminaci osob evakuovaných z bezpečnostní zóny (nemusí být v prostoru zásahu), umožňuje-li to kapacita nádrží na kontaminovanou vodu a počet zasahujících osob, jímat kontaminovanou vodu.

- Dekontaminovat zasahující vozidla a prostředky, které byly umístěny v nebezpečné nebo bezpečnostní zóně, po vyřešení odvozu vody použité pro dekontaminaci.
- Umístit v bezpečnostní zóně kontejnery pro odkládání kontaminovaného materiálu a na hranici bezpečnostní zóny kontejnery pro odkládání jednorázově používaných ochranných pomůcek.
- Kontrolovat, zda se v evakuovaných prostorách nezdržují žádní obyvatelé.
- Pořídít seznamy parkujících civilních vozidel v nebezpečné a bezpečnostní zóně.
- Předat místo zásahu odpovědným orgánům k dalšímu řešení.
- Ukončit zásah.

Na všech úkolech se podílí 3 – 6 družstev jednotek požární ochrany s cisternovou automobilní stříkačkou (CAS) a vyprošťovací technikou nebo s CAS pro dekontaminaci z nejbližší místně příslušných územních odborů HZS krajů podle plošného pokrytí území kraje jednotkami požární ochrany stanoveného nařízením územně příslušného kraje.

Jako ochrana před povrchovou a vnitřní kontaminací osob se používají izolační dýchací přístroje, chirurgické rukavice a protichemické oděvy, které chrání proti kontaminaci, neposkytují však ochranu proti záření gama. Zasahující jsou také vybaveni dozimetry pro měření dávkového příkonu a povrchové kontaminace a osobními dozimetry.

#### *Základní přístrojové vybavení*

- : souprava monitorovací skupiny, která obsahuje notebook s příslušenstvím, přepravní a úložný kufr s příslušenstvím, přenosný spektrometr záření gama GR 135B s příslušenstvím a geografický poziční systém GPS III plus s příslušenstvím
- : radiometr DC-3E-98 s příslušenstvím
- : přenosný monitor kontaminace Contamat FHT 111M



- : univerzální operativní měřič RDS – 120
- : elektronický operativní dozimetr pro každou osobu mobilní skupiny
- : digitální spektrometr Inspektor 1000
- : ruční laserový dálkoměr

#### *Ochranné prostředky a pomůcky*

- : ochranné rukavice chirurgické jednorázové
- : ochranné přezůvky
- : jednorázové ochranné návleky na boty a přístroje
- : respirátor pro každou osobu mobilní skupiny
- : ochranná maska s filtrem pro každou osobu mobilní skupiny
- : jednorázový ochranný oděv TYVEC pro každou osobu mobilní skupiny + jedna souprava náhradní
- : izolační vzduchové dýchací přístroje včetně naplněných náhradních tlakových lahví
- : protichemické ochranné oděvy

#### *Věcné prostředky pro dekontaminaci hasičů*

- dekontaminační sprchy
- záchytné vany
- rohože do dekontaminační sprchy a záchytné vany
- vytyčovací pásy
- igelitové pytle
- přepravní plastové kontejnery nebo sudy s uzávěry na kontaminované látky a věcné prostředky
- smetáček
- čerpadlo pro přečerpání odpadní kontaminované kapaliny ze záchytných van
- perforovaná dekontaminovatelná nosítka pro dekontaminaci nepohyblivých raněných

- fólie pro odkládání věcných prostředků a převlékání (po dekontaminaci)
- sorpční rohože pod vany, příp. pod nohy
- dekontaminační roztoky (v případě radioaktivních látek detergent pro snížení povrchového napětí – saponát pro domácnost, např. Jar)
- sběrné nádrže pro přečerpání použitého dekontaminačního roztoku

Stanoviště dekontaminace osob (SDO) tvoří: SDO 1 (3 nafukovací stany z pogumované tkaniny a další přídatná zařízení) a SDO 2 (dva dekontaminační vozíky).

Stanoviště pro dekontaminaci osob SDO 1 – Vlastní sestava stanoviště umožňuje provést všechny činnosti související s dekontaminací osob uvnitř stanů. Stanoviště dekontaminace osob sestává ze tří stanů pro dekontaminaci osob sestavených v linii, dekontaminačního pracoviště obsluhy a technologického zabezpečení.

Stanoviště pro dekontaminaci osob SDO 2 – Od SDO 1 se liší zejména ve zkrácení doby uvedení do pohotovostního stavu. Toho je dosaženo tím, že SDO 2 není tvořeno nafukovacími prvky a veškerá technologie pro činnost dekontaminace je trvale pevně uložena a nevyžaduje další manipulaci. To umožňuje uvedení stanoviště do pohotovosti do 10 minut. Stanoviště je tvořeno dvounápravovým přívěsem s výklopnými bočními vraty. Pod každými vraty je uložen stanový dílec, který se po otevření rozvine a vytvoří tak pracovní prostor pro činnost dekontaminace. V přední části přívěsu je vytvořen technologický prostor pro obsluhu a v zadní části průchozí zařízení pro dekontaminaci obsluhy. Uprostřed přívěsu je prostor pro celý mokrý proces dekontaminace. Součástí stanoviště je záchytná jímka na odpadní kontaminovanou vodu.

HZS ČR disponuje následujícími stanovišti SDO:

- : SDO 1 v Praze
- : SDO 2 v Hradci Králové
- : SDO 2 v Kladně
- : SDO 2 v Českých Budějovicích
- : SDO 2 v Brně
- : SDO 2 v Jihlavě

: SDO 2 v Ostravě

Je nutné při jejich nasazení brát v úvahu dobu dojezdu a dobu zpohotovění, kapacita je minimálně 100 osob za hodinu.

#### 4.4.11 Úkoly a činnosti sil a prostředků Policie ČR

Policisté, kteří se podílejí na vyžádání velitele zásahu na zajišťování záchranných a likvidačních pracích v místě zásahu, nejsou nasazováni do míst, ve kterých úroveň radiace překračuje běžné hygienické předpisy (10Bq/cm<sup>2</sup>). Pokud s povolením velitele zásahu vstupují do míst s vyšší úrovní radiace, kde vykonávají potřebné úkony orgánů činných v trestním řízení, a tyto úkony vyžadují speciální situační ochranné prostředky, které nemají k dispozici (samoodečítací osobní dozimetry se zvukovou signalizací překročení zadaných hodnot, ochranné masky, ochranné oděvy, atd.), budou na příkaz velitele zásahu těmito prostředky vybaveni včetně provedení předepsaného proškolení týkajícího se bezpečného používání těchto prostředků, pokud to používání tohoto prostředku vyžaduje.

Policisté účastníci se na zásahu musí být o nebezpečí spojeném se zásahem prokazatelně informováni a musí se činnosti v prostoru zásahu účastnit dobrovolně s výjimkou havarijního ozáření fyzických osob v důsledku provedení prvotních úkonů na místě zásahu v době po potvrzení překročení stanovených limitů ozáření.

Činnosti na místě zásahu:

- prohlídka místa výbuchu ze zjištěním, zda se na místě nenachází další výbušnina, její případné zneškodnění
- uzávěra předběžné ochranné zóny a zabezpečení stanoveného režimu pohybu osob a vozidel do a z vnější zóny
- regulace dopravy v okolí vnější zóny, uzavření prostorů pro dekontaminaci včetně uzavření komunikací, které je spojují s místem zásahu

Při tom Policie ČR zejména:

: chrání bezpečnost osob a majetku

- : spolupůsobí při zajišťování veřejného pořádku, a byl-li porušen, činí opatření k jeho obnovení
- : dohlíží na bezpečnost a plynulost silničního provozu a spolupůsobí při jeho řízení
- : hlídky poskytují nezbytné informace pro obyvatelstvo o mimořádné události
- : po vytyčení vnější zóny ji uzavírá obsazením určených pevných stanovišť hlídkami
- : reguluje vjezd vozidel a vstup osob do vnější zóny
- : reguluje pohyb vozidel a osob na shromaždištích evakuovaných osob, příjezdových koridorech a v dalších místech (mimo bezpečnostní zónu), která stanoví velitel zásahu
- : provádí kontrolu propustek do vnější zóny po skončení zásahu (pokud zůstane uzavřena) a provádí hlídkovou činnost na hranicích vnější zóny
- : monitoruje situaci v oblasti dopravy a pohybu osob v rámci výkonu služby

Uvedené činnosti vykonávají příslušníci Policie ČR i strážníci příslušné obecní nebo městské policie, kteří při plnění svých úkolů spolupracují s Policií ČR zejména při zabezpečování místních záležitostí veřejného pořádku v rámci působnosti obce, přispívají k ochraně a bezpečnosti osob a majetku a zajišťují veřejný pořádek na evidenčních místech evakuovaných osob a na místech jejich nouzového ubytování.

#### 4.4.12 Úkoly a činnosti sil zdravotnické záchranné služby

Těmito pokyny se řídí zdravotnická záchranná služba kraje včetně letecké záchranné služby, spádových zdravotnických zařízení a středisek speciální zdravotní péče o osoby ozářené při radiačních nehodách.

Hlavním úkolem zdravotnické záchranné služby (ZZS) a letecké záchranné služby (LZS) je:

- posouzení vhodnosti vytvoření shromaždiště zraněných
- poskytnutí neodkladné přednemocniční péče zraněným v prostoru shromaždiště

- rozhodnutí, zda povolat pomoc z krajů, případně ze zahraničí
- rozdělení zraněných dle charakteru a závažnosti poranění
- zajištění transportu zraněných do spádových zdravotnických zařízení

Posádky mají k dispozici roušky jako ochranu dýchacích cest a ochranné rukavice.

Zdravotnická zařízení následně provedou ošetření, stabilizaci zdravotního stavu zraněných a zajistí transport do středisek speciální zdravotní péče (SSZP) o osoby ozářené při radiačních nehodách.

Střediska speciální zdravotní péče o osoby ozářené při radiačních nehodách:

1. SSZP ve Všeobecné fakultní nemocnici Praha

- kompletní vyšetření ozářených osob při podezření na celotělové ozáření dávkou nepřevyšující 1Gy s cílem zjištění možných postradiačních účinků ionizujícího záření
- příjem a léčení ozářených osob při podezření na vnitřní kontaminaci radionuklidy
- kapacita 20 lůžek

2. SSZP ve Fakultní nemocnici Hradec Králové

- kompletní vyšetření ozářených osob při podezření na celotělové ozáření dávkou převyšující 1Gy, bez ohledu na kontaminaci radionuklidy
- kapacita 20 lůžek

3. SSZP ve Fakultní Thomayerově nemocnici Praha

- provádí a vyhodnocuje cytogenetická vyšetření lymfocytů z periferní krve a určuje ekvivalent celotělové dávky ionizujícího záření u ozářených osob
- kapacita 30 lůžek

#### 4. SSZP ve Fakultní nemocnici Královské Vinohrady Praha

- provádí léčbu kožních projevů vyvolaných ionizujícím zářením u postižených osob
- chirurgické ošetření lokálního depozitu radionuklidu a kontaminovaných poranění
- ošetření pozdních lokálních následků akutního ozáření
- kapacita 15 lůžek

SSZP nejsou dosud dovybavena ochrannými prostředky pro ošetření kontaminovaných pacientů, je proto nutné přivážet dekontaminované pacienty. Avšak pokud nejsou podmínky pro dekontaminaci pacientů, záchrana života ozářeného pacienta má přednost před dekontaminací, která by mohla vést ke smrti pacienta kvůli prodlení. Je nutné o skutečnosti, že pacient nebyl dekontaminován, informovat příjmovou ambulanci nemocnice do které bude pacient přepraven.

##### 4.4.13 Úkoly a činnosti sil a prostředků Státního úřadu pro jadernou bezpečnost

Síly a prostředky Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) jsou centrálně řízeny. Podpora SÚJB na místě zásahu je vyžádána cestou Styčného místa SÚJB a je přímo řízena Krizovým štábem SÚJB. Styčné místo SÚJB i Krizový štáb SÚJB jsou v sídle SÚJB v Praze. Státní úřad pro jadernou bezpečnost má osm detašovaných Regionálních center SÚJB, které se nacházejí v Praze, Příbrami-Kamenné, Českých Budějovicích, Plzni, Ústí nad Labem, Hradci Králové, Brně a Ostravě.

Mobilní skupiny SÚJB s příslušným vybavením spolupracují v rámci IZS jsou lokalizovány po dvou mobilních silách v každém Regionálním centru SÚJB. Další dvě mobilní síly jsou dislokovány ve Státním ústavu radiační ochrany (SÚRO) Praha, který je odborným pracovištěm podřízeným SÚJB (SÚRO má dvě pobočky – v Hradci Králové a Ostravě). I tyto dvě mobilní síly jsou nasazovány prostřednictvím Krizového štábu SÚJB.

Dalšími využitelnými silami a prostředky SÚJB pro zásah v případě použití radiologické zbraně jsou čtyři stacionární laboratorní skupiny – Centrální laboratorní skupina je lokalizována v SÚRO Praha, další dvě laboratorní skupiny v pobočkách SÚRO

v Hradci Králové a Ostravě, jedna je součástí Regionálních center SÚJB v Českých Budějovicích a v Brně.

Podle dané situace lze využít i dalších informací poskytovaných Radiační monitorovací sítí ČR, řízenou SÚJB – sítě TLD, měřících míst kontaminace ovzduší, vod a sítě včasného zjištění.

Úkoly a činnosti sil a prostředků SÚJB při zásahu na radiologickou zbraň:

- odborná pomoc veliteli zásahu ve věcech režimových opatření pro ochranu obyvatel a zasahujících jednotek před účinky ionizujícího záření, předávání potřebných informací a doporučení, koordinace činnosti nasazených složek resortu SÚJB
- předávání informací poskytovaných Radiační monitorovací sítí ČR
- koordinace monitorování radiační situace v místě zásahu a upřesnění hranic bezpečnostní a nebezpečné zóny
- radiační monitoring místa zásahu po ukončení záchranných a likvidačních prací
- stanovení obsahu radionuklidů ve složkách životního prostředí v zasažené oblasti
- stanovení kontaminace osob
- hodnocení ozáření zasažených osob

Předávání informací zajišťuje Styčné místo SÚJB, které je v nepřetržité pohotovosti. Radiační monitorovací síť ČR měří a shromažďuje požadované informace v nepřetržitém cyklu.

Mobilní skupiny resortu SÚJB jsou vybaveny přenosnými dozimetrickými přístroji pro měření příkonu dávkového ekvivalentu, příp. aktivity radionuklidů, plošné kontaminace, přístroji pro určování polohy, soupravou pro vyhledávání zdrojů ionizujícího záření, osobními ochrannými prostředky (např. oblek Tylec, rukavice, respirátory), pomůckami pro odběr vzorků, osobními elektronickými a filmovými dozimetry, krizovým mobilním telefonem. Mobilní skupiny rovněž zajišťují odběry

vzorků. Mobilní skupiny krizového koordinačního centra (KKC) mají horní dobu pohotovosti 2 hodiny. Příjezd prvních mobilních skupin na místo zásahu je limitováno touto dobou a dobou dojezdu na místo zásahu, z místa stálé dislokace jednotlivých skupin.

Laboratorní skupiny jsou vybaveny stacionárními přístroji pro určování druhu radionuklidu a jeho aktivity ve vzorcích ze životního prostředí, potravin a jiných vzorků metodami spektrometrie alfa, beta a gama, případně radiochemickou separací. Laboratorní skupiny jsou v pohotovosti do dvou hodin po oznámení žádosti k jejich nasazení. Centrální laboratorní skupina v SÚRO Praha měří a hodnotí vnitřní ozáření osob pomocí celotělového počítače a na základě odběru biologických vzorků.

#### 4.4.14 Úkoly a činnosti sil a prostředků Armády ČR

Vyčleněné síly a prostředky AČR, jako ostatní složky IZS, jsou v případě použití radiologické zbraně povolány a nasazeny v souladu se zněním platných meziresortních dohod, zejména v případě vzniku rozsáhlé kontaminace území ČR nebo v případě potřeby nasazení velkého množství osob, techniky a materiálu.

Armáda ČR disponuje jednotkami schopnými zajišťovat:

- pozemní a letecký průzkum
- měření stupně kontaminace osob a techniky
- dekontaminaci osob, techniky a terénu
- zdravotnickou pomoc
- leteckou přepravu zraněných
- plnění pořádkové služby a kontrolovat kontaminaci techniky a osob na tzv. uzávěrách
- monitorování šíření kontaminace v pozdním období radiační události

Všichni vojáci nasazení k zásahu na radiologickou zbraň jsou vybaveni standardními osobními prostředky dozimetrické kontroly a ochrannými prostředky využívanými Armádou ČR. Jednotlivé jednotky se dostaví k zásahu s prostředky



vhodnými pro plnění očekávaných úkolů a budou vycvičeni a poučeni v používání těchto prostředků. Jedná se o prostředky radiačního průzkumu a dozimetrické kontroly, prostředky individuální ochrany jednotlivce a prostředky pro dekontaminaci osob.

Možnosti dekontaminačního odřadu:

- : Provádění úplné dekontaminace a provádění hygienické očisty osob – 144 osob za hodinu nebo 77 chodících a 20 raněných za hodinu.
- : Provádění úplné dekontaminace výzbroje, bojové a jiné techniky a materiálu – 50 vozidel za hodinu průjezdní linkou nebo 24 vozidel kartáčovým způsobem.
- : Provádění dekontaminace terénu – dezaktivace úseku komunikace 1,5km dlouhého 5,5m širokého, nebo plochy o rozloze 0,8ha

#### 4.4.15 Úkoly a činnosti sil a prostředků Celní správy ČR

Podpora Generálního ředitelství cel (GŘC) na místě zásahu je podmíněná:

- účastí Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, tj. podpora SÚJB je vyžádána cestou Styčného místa SÚJB a je přímo řízena Krizovým štábem SÚJB
- vyžádáním operačního a informačního střediska generálního ředitelství HZS ČR na základě Ústředního poplachového plánu

Skupiny mobilního dohledu Celní správy ČR mohou:

- : měřit stupně kontaminace osob a techniky
- : spolupracovat při dekontaminaci osob a techniky
- : monitorovat dávky, dávkové příkony a aktivitu radionuklidů v terénu
- : odebírat vzorky složek životního prostředí na území ČR
- : získávat údaje o radionuklidové kontaminaci osob, dopravních prostředků, zboží, předmětů a materiálů na stanovených měřicích místech na hraničních přechodech

Tyto skupiny mobilního dohledu mají dobu pohotovosti 2 hodiny k výjezdu na zásah po jejich vyrozumění. Příjezd prvních mobilních skupin na místo zásahu je limitováno touto dobou a dobou dojezdu na místo zásahu.

#### 4.5 Práce lékaře ZZS při hromadném výskytu postižení osob<sup>(40)</sup>

Základem první pomoci je roztřídění postižených podle závažnosti jejich stavu (metodika START) s cílem orientačně vyšetřit všechny postižené, se zaměřením na základní životní funkce a rozhodnout, kteří potřebují ošetření v pořadí:

- a) neodkladné pomoci – stavy, které by bez okamžité pomoci nepřežily, stavy bezprostředního ohrožení života, prudká krvácení, bezvědomí. Barevně označování jako *červení*.
- b) odložitelné pomoci – stavy, které jsou vážné, ale bezprostředně na životě neohrožují, ale jedná se o závažnou poruchu zdraví, komplikované zlomeniny, rozsáhlá poranění. Barevně označování jako *žlutí*.
- c) čekající pomoci – stavy, které bezprostředně neohrožují ani život, ani zdraví, a bez problému snesou prodlevu v ošetření, stavy lehké, povrchová zranění, jednoduché zlomeniny, vykloubení. Barevně označování jako *zelení*.
- d) netransportovatelní – stavy se životem neslučitelné. Barevně označování jako *černí*.

Roztřídění vychází z metodiky START (Snadné Třídění A Rychlý Transport k terapii), která umožňuje laicky, bez vybavení a rychle, rozdělit postižené do základních čtyř skupin podle pořadí důležitosti a při tom časová potřeba na jednu je menší než 60 sekund.

Při použití prostředků hromadného ničení platí tři zásady poskytování první pomoci:

- první pomoc se poskytuje v ochranných pomůckách – ochranná maska, ochranný oděv, popř. pláštěnka a rukavice

- první pomoc se poskytuje v zamořeném prostoru, tedy při respektování zvláštních režimů života a práce v takovém prostoru
- záchranáři se podřizují pokynům řídicí složky a spolupracují se speciálními jednotkami

#### **4.6 Likvidace následků radioaktivního zamoření**

Jak už bylo několikrát zmiňováno, likvidace následků zamoření radioaktivními látkami je velice finančně náročná.

Protože k teroristickému použití špinavé bomby dosud nedošlo, můžeme vycházet pouze z likvidace následků radioaktivního zamoření při jiných radiačních haváriích. Nejblíže k tomu má nehoda v Brazílské Goiânii.

Je zapotřebí dekontaminovat zamořené objekty i venkovní prostranství. Dekontaminace objektů závisí hlavně na možnosti provedení dekontaminace s ohledem na cenu a přínos dekontaminace. Nejprve musí být odstraněny předměty v objektech, ty jsou proměřeny, některé z nich mohou být dekontaminovány, některé ne (ty jsou pak uloženy jako radioaktivní odpad a je s nimi tak nakládáno). Povrchy a podlahy jsou vysáty vysavačem a tyto vysáté částice jsou také uloženy jako radioaktivní odpad<sup>(17)</sup>.

Některé budovy mohou být zbourány v důsledku nemožnosti dekontaminace, půda se vybagruje nejméně do hloubky 0,5m a vše je uloženo jako radioaktivní odpad.

## 5. DISKUSE

Z výsledků vyplývá, že pokud by teroristé použili špinavou bombu, likvidace následků tohoto útoku by byla velmi náročná. Účinky výbuchu špinavé bomby nebudou mít devastující následky co se týče životů a zdraví. Ale kontaminace i v malém množství bude mít veliké psychologické a ekonomické dopady. Práce tedy dokazuje, že stanovená hypotéza „Sestrojit špinavou bombu je relativně snadné a následky jejího výbuchu jsou těžko odhadnutelné.“ byla potvrzena.

Neúmyslná kontaminace v brazilské Goiânii způsobená radioaktivním zdrojem z lékařského ozařovače ukazuje, jaké následky by mohl mít teroristický útok. Zdroj obsahující 20g  $^{137}\text{Cs}$  způsobil kontaminaci 400 lidí, 14 osob bylo vystaveno velmi vysoké dávce radiace a 5 osob poté na následky ozáření zemřelo. Po dekontaminaci zamořené oblasti bylo naplněno 125 000 barelů a 1470 boxů kontaminovaným oblečením, nábytkem, vybagrovanou hlínou a dalším materiálem, 85 domů muselo být zničeno. Nastala také ale panika, sto tisíc obyvatel města požadovalo okamžité lékařské testy, zda nejsou kontaminováni. Nemocnice byly zahlceny a lidé demonstrovali v ulicích<sup>(15)</sup>.

Stejný scénář jako v Goiânii by však lehce mohl nastat i u nás. Sice je v České republice kontrola lékařských radioaktivních zdrojů poměrně přísná, ale díky nedbalosti může nějaký starý zdroj být opomenut a při likvidaci nemocnice omylem vyhozen na skládku.

Dosud nikdo žádnou špinavou bombu neodpálil, avšak v listopadu 1995 umístila skupina čečenských separatistů balík obsahující  $^{137}\text{Cs}$ , propojený dráty s výbušninami. Bomba byla nalezena bezpečnostními jednotkami a k výbuchu nedošlo. O tři roky později opět čečenští teroristé, tentokrát ale nedaleko hlavního města Groznyj, umístili nádobu s radioaktivním materiálem a výbušninou blízko železniční tratě. Než ji stačili odpálit, odhalila jejich plány policie<sup>(26)</sup>.

V prosinci roku 2000 byly v lese v Gruzii nalezeny sudy obsahující  $^{90}\text{Sr}$ .  $^{90}\text{Sr}$  sloužilo jako generátor pro majáky a navigační signální věže vybudované v roce 1983 Sovětským svazem. Existoval také plán v zemědělství, v jehož rámci se měla ozařovat

semena chloridem cesným. Právě na území bývalého Sovětského svazu je velké množství opuštěných zdrojů radioaktivního materiálu.

Avšak radioizotopů se běžně užívá na celém světě v průmyslu a ve zdravotnictví. V březnu roku 1998 kdosi odcizil radioaktivní cesium z nemocnice v americkém městě Greensboro v Severní Karolíně, nikdy nebylo nalezeno.

Podle mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAEA) bylo od roku 1993 zaznamenáno 340 případů nezákonného obchodování s radioaktivními materiály z medicínských a průmyslových zdrojů. Jen množství zdrojů pro radioterapii čítá přes deset tisíc. Mnoho z těchto zdrojů je opuštěných, nebo prostě mimo kontrolu úřadů.

Zabezpečení radioaktivních materiálů bylo vždy relativně nižší než u materiálů využitelných pro výrobu jaderné bomby (plutonia, uranu). Velký radioterapeutický zdroj může být poměrně lehce vymontován z ozařovače, obzvláště pokud teroristé nelitují svého života a zdraví. Navíc v některých zemích je dohled nad radioaktivními zdroji poněkud chatrná. Výsledkem je poté neurčité množství radioaktivních zdrojů které nejsou k nalezení. Po událostech 11. září teroristé jasně dokázali, že jsou ochotni pro svou věc položit vlastní život, proto není útok za použití vysoce radioaktivních materiálů z lékařských a jiných zdrojů vyloučen<sup>(4, 15)</sup>.

Teroristickému zneužití radioaktivních materiálů významně nahrává skutečnost, že podle několika americko-ruských odzbrojovacích dohod START se bude likvidovat rozsáhlý jaderný potenciál USA a Ruska. Přitom existují zcela oprávněné pochybnosti o tom, zda je Rusko schopno „uhlídat“ likvidaci svých jaderných zbraní, neboť tento proces bude obsahovat manipulace s velkým množstvím jaderného štěpného materiálu z demontovaných ruských jaderných zbraní. Tento materiál je velice atraktivní, neboť má velmi vysokou cenu. Lze proto předpokládat, že dojde k nárůstu případů pašování jaderných materiálů z Ruska do našich zemí<sup>(27)</sup>.

Vědecký pořad televize BBC *Horizon* publikoval výsledky výzkumu, který modeloval útok špinavou bombou na Londýn. Vyšlo najevo, že zdravotní rizika takového útoku jsou lokalizována jen na osoby, které budou v blízkosti výbuchu špinavé bomby

nebo se dostanou do styku s kontaminací, u většiny obyvatel velkoměsta by došlo jen k minimálnímu zvýšení rizika rakoviny. Modelované útoky by však měly záporný ekonomický dopad.

Modelovaný útok v Londýně: Kdyby špinavá bomba obsahující 5 kg Semtexu a větší množství chloridu cesného (o aktivitě 74 000 GBq) vybuchla v centru Londýna, usmrtila by atentátníky a několik lidí v blízkosti výbuchu. Cesium by se dostalo několik desítek metrů nad město. Radioaktivní mrak by se pohyboval po větru rychlostí 3–4m.s<sup>-1</sup>. Pokus zjistil, že u lidí ve vzdálenosti 5km od místa výbuchu by se zvýšila radiace jen o dalších 0,001Sv, riziko vzniku rakoviny by se zvýšilo pouze o 0,1%.

Výzkum byl ale zaměřen hlavně na zdravotní dopady výbuchu špinavé bomby, zatímco panika a následné ekonomické dopady byly zcela opomenuty<sup>(1)</sup>.

Po událostech 11. září 2001 vypracoval v rámci obranné strategie USA Pentagon a Federace amerických vědců (FAS) stovky studií a scénářů možného teroristického útoku, mezi jinými i letecký útok špinavou bombou na New York. Po odpálení nálože v letadle letícím nad centrem New Yorku ve výšce minimálně 400m dojde k mohutnému výbuchu, intenzivnímu hoření a následnému efektivnímu zamoření celé aglomerace, vodního toku a prostřednictvím větru i k následnému spadu v širokém okolí. Přímo zasažených obyvatel města bude až 250 000. Těm nepomůže ani dekontaminace, protože inhalace radioaktivních částic způsobí jejich usazení v plicích. Část města bude zamořena natolik, že obyvatelé budou muset být vybaveni šatstvem a transportováni z města pryč. Šlo by asi o cca 5 000 000 obyvatel, pro které se musí nalézt základní ubytování, stravování, hygiena, lékařská péče a funkční infrastruktura. Propukla by panika ostatních obyvatel i zahraničních investorů. Přímé škody na majetku by byly obrovské<sup>(25)</sup>.

V listopadu 2002 byla vytvořena studie o následcích exploze špinavé bomby obsahující <sup>137</sup>Cs a 10 liber TNT ve Washingtonu D.C., umístěné do National Gallery of Art (v těsné blízkosti Bílého domu) (**příloha č. 17**). Studie využila dva týdny starý nález radioaktivního zdroje z lékařského ozařovače, který byl nalezen na skládce v Severní Karolíně. Po výbuchu by oblast 40 městských bloků překračovala limity a pokud by

nebylo možné tuto oblast dekontaminovat, musela by být opuštěna na několik desítek let. 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, případně z nehody v brazilské Goiânii<sup>(25)</sup>.

Další komplikací může být skutečnost, že teroristé mohou použít více než jednoho prostředku ve stejnou dobu. Stále více převládají názory, že budoucí teroristické útoky budou vedeny na několika místech současně. Přípravu teroristického útoku lze obecně poměrně snadno utajit, nehledě na to, že je možné k takovému útoku zneužít řadu látek, které jsou relativně snadno dostupné. V podmínkách České republiky komplexní řešení krizových situací představuje v podstatě dokončení výstavby integrovaného záchranného systému.

Zásah složek IZS při použití radiologické zbraně má svá úskalí. Sice je zpracována typová činnost jednotlivých složek IZS, ale má drobné nedostatky. Stále je zmiňována činnost SÚJB při zásahu na použití radiologické zbraně, ale ačkoli je typová činnost zpracována velice podrobně, nikde není psáno, kdy (v kterém okamžiku) bude kontaktován Státní úřad pro jadernou bezpečnost s žádostí o pomoc při řešení nastalé situace.

Také není přesně jasné, zda při výbuchu trhaviny, po příjezdu jednotek HZS některý ze zasahujících hasičů proměří okolí, zda není místo výbuchu radioaktivní. Po vznesení tohoto dotazu u příslušníků HZS mi bylo řečeno, že by tato měření měla probíhat rutinně při každém zásahu u výbuchu, ale už mi nikdo nesdělil žádný postup ani přístrojovou techniku, z toho usuzuji, že ne všechny jednotky HZS vlastně napadne vůbec zapnout detekční přístroj a zkoumat případné radioaktivní zamoření.

Toto však není pouze problémem při zásahu HZS, pokud by byl radioaktivní zdroj vyhozený na smetišti, není vůbec jisté, že majitel skládky si všimne, že jde o radioaktivní materiál, ačkoliv bude v těžkém stínícím krytu, což napovídá, že by mohlo jít o zářič.

Teprve poté by to majitel oznámil. Nicméně se domnívám, že je vysoce pravděpodobné, že se záříč na skládce jednoduše přehlédne a nepřijde se na něj.

Pokud už je zjištěna kontaminace radioaktivními látkami, je důležité aby jednotky HZS spolupracovaly s odbory ochrany obyvatelstva a krizového řízení, s orgány veřejného zdraví (hygienickou službou) a AČR, ve kterých působí odborní pracovníci. Nezbytná je rovněž neustálá kultivace komunikace mezi operačními středisky, zrychlení toku informací mezi operačními středisky IZS a zdravotnickými středisky a zkvalitnění součinnosti HZS se ZZS při poskytování první pomoci kontaminovaným pacientům.

Zvláštní pozornost je také nutné věnovat vlastní dekontaminaci zasažených osob, protože v případě teroristického útoku za použití radiologické zbraně se bude jednat o hromadnou dekontaminaci osob, kterou bude třeba provést ještě před poskytnutím první pomoci. Ačkoliv normou je, že záchrana života má absolutní přednost, před dekontaminací, je potřeba brát v úvahu možnost kontaminace zdravotníků, kteří budou pomáhat zasaženým osobám.

První pomoc postiženým osobám je obvykle poskytována náhodnými svědky nebo lehce postiženými osobami. První odbornou pomoc na místě události poskytují pracovníci ZZS, kteří musí stanovit povahu a závažnost poranění, odhadnout počet postižených, poskytnout kvalitní neodkladnou přednemocniční péči, zhodnotit stav a provést rychlé třídění postižených, určit zdroje potřebné pro prvotní péči a požadavky na následnou nemocniční péči.

Přítomný vedoucí lékař na místě zásahu musí rovněž prokázat, kromě své lékařské kompetence v první řadě své kvality řídicího pracovníka. Musí proto znát principy taktického myšlení. Zatímco velitel hasičů je v tomto směru konkrétně vzděláván a průběžně si tyto principy prověřuje v praktických simulacích zásahů, většina lékařů ZZS se s tímto neseťká.

Zdravotnictví v ČR je ve své podstatě zaměřeno na individuální péči o pacienty, přičemž pacientovi slouží vymoženosti moderní medicíny v plné šíři. Řadu let v ČR vládla představa, že nemocnice by hromadný příjem pacientů měly zvládnout. Praktický



výstup ve smyslu příprav na tuto situaci, však byl spíše výjimkou, ale v posledním desetiletí se názory na tuto problematiku změnil<sup>(13)</sup>.

Při hromadném příjmu musí zdravotnický personál změnit způsob myšlení. Za normálního provozu běžná specializovaná individuální péče se musí změnit na pouze nejnnutnější ošetření co nejvyššího počtu pacientů, na což však lékaři ani ošetřující personál nejsou dostatečně připravováni, například pomocí systematického vzdělávání v této problematice.

Aby bylo možné zvládnout péči o postižené v případě teroristického útoku, je důležité vypracovat účinné traumatologické plány, aby se katastrofa pouze nepřesunula z místa mimořádné události do nemocnice. Protože na místě mimořádné události je potřeba určitá doba ke třídění pacientů, stabilizaci jejich stavu a přípravě transportu, lze tuto dobu využít k zajištění dostatečných počtů lékařů, zdravotních sester a pomocného personálu, aby nedošlo ke zdržení. Ukončením probíhajících zákroků, odložením méně důležitých operací a propuštěním vhodných pacientů do domácí péče lze získat personální i prostorové kapacity pro ošetření obětí teroristického útoku. Velké místnosti, jako například jídelna nebo posluchárna lze využít na umístění velkého množství lehce postižených osob nebo osob bez zřejmých známek poranění nebo potíží.

Nejen na místě neštěstí, ale také v nemocnici je třídění opatřením ke stanovení naléhavosti ošetření. Cílem je co nejdříve se vrátit k individuální péči o pacienty. I když přivezení pacienti již prošli tříděním, nelze jeho závěry pouze převzít bez dalšího vyšetření, protože během transportu se zdravotní stav pacienta mohl zásadně změnit a navíc je potřeba získat přehled o typech poranění vzhledem k organizaci další péče v nemocnici. Třídění sice bylo původně koncipováno pro přednemocniční péči, přesto mohou být jeho kategorie po menších úpravách převzaty do nemocničních poměrů včetně užívané barevné kategorizace. Třídění v nemocnici by měl provádět zkušený lékař, zblhlý v léčení daného typu postižení, který se zároveň dobře vyzná v klinickém provozu dané nemocnice. Vyšetření musí probíhat podle standardního schématu a nemělo by u jednoho pacienta trvat déle než několik minut včetně záznamu<sup>(13, 40)</sup>.

U déle trvajících mimořádných událostí, jako je i teroristický útok, se nesmí zapomenout na nutné střídání zdravotnického personálu, jinak by mohlo dojít k jeho

vyčerpání a pacienty neměl kdo ošetřovat. Z tohoto důvodu nelze v počáteční fázi nasadit všechen zdravotnický personál a je třeba si ponechat rezervy pro jejich vystřídání.

Je nutné počítat i s omezenými kapacitami ZZS při transportu postižených osob do nemocnic a s případným využitím taxislužby, soukromých autodopravců a dalších organizací zdravotnické služby při zajišťování tohoto transportu. Pacienti musí být systematicky posíláni do nemocnic, aby se zabránilo hromadění pacientů v jedné nemocnici.

Důležité je, aby byly nalezeny i všechny potenciálně postižené osoby. Tento úkol by měl být proveden v co nejkratší době, aby se podařilo zachránit životy a zdraví postižených a zabránilo se případnému sekundárnímu přenosu kontaminující radioaktivní látky. Všechny potenciálně postižené osoby by měly být zařazeny do dlouhodobého programu sledování v důsledku možných zdravotních následků.

Velkým problémem však budou lidé, kteří v panice a obavách z ozáření zahltí nemocnice a kontaminace se tak rozšíří i do prostor zdravotnického zařízení a na ošetřující personál.

Okamžitou pozornost je třeba věnovat také informacím pro veřejnost prostřednictvím sdělovacích prostředků. Způsob informování přes média by měl být pečlivě zvážen a obsah zpráv prodiskutován s krizovým štábem, aby se zabránilo šíření poplašných nebo mylných informací<sup>(13)</sup>.

Při zásahu proti radiologickému útoku hrozí jak u jednotek záchranného systému, tak především u hasičů v protichemických oblecích riziko vzniku stresu z horka. Tento stres vzniká vlivem více spolupůsobících faktorů, včetně okolních podmínek, oblečení, pracovní zátěže a individuálního stavu každého pracovníka. Míru stresu u záchranářů pracujících v horkém prostředí ovlivňují čtyři faktory, kterými jsou teplota, sálající horko, vlhkost a pohyb vzduchu. V zásadě platí, že podmínky při zásahu se zhoršují s vyšším teplem, v vyšší vlhkostí a s nižším pohybem vzduchu.

Rostoucí riziko stresu z přebytečného tepla je také přímo ovlivněno typem osobního ochranného oblečení a vybavením, které záchranář nese. Osobní ochranné

oblečení a vybavení mající větší hmotnost a objem značně omezuje možnosti běžných mechanismů výměny tepla, tj. proudění, odpařování, vedení a sálání. Při volbě osobního ochranného oblečení a vybavení je důležité zvážit, zda přínos každé této věci je opravdu důležitý s ohledem na možný vznik stresu z horka.

Pokud zadržování tepla v těle pokračuje, člověk ztrácí koncentraci a má potíže soustředit se na vykonávanou práci, může reagovat podrážděně a často ztrácí chuť vykonávat jakoukoliv práci. Tento stres, často v kombinaci s pracovní zátěží, dehydratací a únavou může mít negativní vliv na zdraví záchranářů<sup>(13)</sup>.

Rozhodující je také neustálé zdokonalování připravenosti především základních složek IZS na veškeré teroristické útoky. Tyto složky, které jsou předurčeny pro řešení mimořádných událostí, musí být adekvátně vyškoleny, vycvičeny a materiálně vybaveny pro tyto zásahy.

Veřejnost musí být rovněž lépe informována o možnostech teroristických útoků za použití radiologických zbraní a připravována na možnou reakci v případě těchto útoků. Uvedené informace by pravděpodobně významně přispěly ke snížení ztrát při použití těchto zbraní teroristy.

## **6. ZÁVĚR**

Přestože zatím nedošlo k teroristickému použití špinavé bomby, nelze vyloučit, že se v budoucnu teroristé neuchýlí k použití radiologické zbraně. Proto je velice důležité neopomíjet tuto možnost a připravovat se na ni, stejně jako probíhají přípravy na jiné mimořádné události. Výjezdní skupiny HZS by měly počítat s možností radioaktivního zamoření místa mimořádné události a proměřovat situaci na požářišti, aby byla radiace včas odhalena a nedošlo ke zbytečnému ozáření zasahujících pracovníků.

## 7. POUŽITÁ LITERATURA

1. Britské Listy, *Co by způsobila špinavá bomba*, [online], [cit. 2008-05-21], dostupné z <<http://www.blisty.cz/art/12679.html>>
2. CDC's Roles in the Event of a Nuclear or Radiological Terrorist Attack, 2005, [online], [cit. 2007-12-29], dostupné z <<http://www.bt.cdc.gov/radiation/cdcrole.asp>>
3. ČAPOUN, T., KRÝKORKOVÁ, J., *Nebezpečné chemické látky*, Teze přednášek, Institut ochrany obyvatelstva, 2006, Lázně Bohdaneč
4. DE GROOT, G., *The Bomb: A Life*, London: Jonathan Cape, 2004, ISBN 0-224-06262-8
5. DUŠEK, J., *Jaderné zbraně*, Brno: Computer Press, 2006, ISBN 80-251-0817-1
6. FEMA, *Radiological Dispersion Device*, Federal Emergency Management Agency, 2006, [online], [cit. 2008-05-21], dostupné z <<http://www.fema.gov/hazard/terrorism/rad/index.shtml>>
7. FEMA, *Terrorism*, Federal Emergency Management Agency, [online], [cit. 2007-12-23], dostupné z <<http://www.fema.gov/hazard/terrorism/index.shtml>>
8. FUSEK, J a kol., *Biologický, chemický a jaderný terorismus*, Vojenská lékařská akademie J.E.Purkyně, Hradec Králové: 2003, ISBN 80-85109-70-0
9. GLASSTONE, S., DOLAN, P., *The Effects of Nuclear Weapons*, U.S. Government Printing Office, 1997
10. GŘ HZS ČR, *Typová činnost složek IZS při společném zásahu – uskutečněné a ověřené použití radiologické zbraně*, 2006
11. Hasičský záchranný sbor Jihomoravského kraje územní odbor Brno, *Detekční technika*, [online], [cit. 2008-05-13], dostupné z <<http://www.hasicibm.cz/chts/detekce.html>>
12. HAYDEN, T., *Suitcase nuke*, 2004, [online], [cit. 2008-02-04], dostupné z <[http://www.military.com/NewContent/0,13190,Hayden\\_072204,00.html](http://www.military.com/NewContent/0,13190,Hayden_072204,00.html)>
13. HON, Z., *Připravenost integrovaného záchranného systému České Republiky při teroristickém zneužití nervově paralytických látek*, diplomová práce, ZSF JČU, 2007

14. Human Health Fact Sheet, *Radiological Dispersal Device*, 2005, [online], [cit. 2007-12-29], dostupné z <<http://www.ead.anl.gov/pub/doc/rdd.pdf>>
15. IAEA, *Calculating the New Global Nuclear Terrorism Threat*, International Atomic Energy Agency, [online], [cit. 2008-05-21], dostupné z <[http://www.iaea.org/NewsCenter/PressReleases/nt\\_pressrelease.shtml](http://www.iaea.org/NewsCenter/PressReleases/nt_pressrelease.shtml)>
16. IAEA, *Identification of Radioactive Sources and Devices*, IAEA Nuclear Security series No. 5, International Atomic Energy Agency, 2007, Vienna, ISBN 92-0-111406-0
17. IAEA, *The radiological accident in Goiânia*, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1988, ISBN 92-0-129088-8
18. JOHNSTON, R., *Database of radiological incidents and related events*, 2007, [online], [cit. 2008-02-05], dostupné z <<http://www.johnstonsarchive.net/nuclear/radevents/index.html>>
19. JURŠÍK, F., *Anorganická chemie kovů*, Praha, 2002, ISBN 80-7080-504-8
20. KAŇKOVÁ J., *Špinavá bomba*, Kontakt, ročník 2., č. 1., České Budějovice, 2006, ISSN 1212-4117
21. KLENER, V. a kol., *Principy a praxe radiační ochrany*, AZIN CZ, Praha, 2000, ISBN 80-238-3703-6
22. KONEČNÝ, J., *Radiační fyzika*, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2006, ISBN 80-7040-843-X
23. KOTINSKÝ, P., HEJDOVÁ, J., *Dekontaminace v požární ochraně*, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2003, ISBN 80-86634-31-0
24. KUNA, P., NAVRÁTIL L., *Klinická radiobiologie*, MANUS, Praha, 2005, ISBN 80-86571-09-2
25. LEVI, M., NELSON, R., YASSIF, J., *Dirty Bombs: Response to a threat*, Journal of the Federation of American Scientists, vol. 55, 2002
26. MARIANOVÁ L., *Útoky radikálů*, Epoque 11/2008, 2008
27. MIKA, O., *Propojení terorismu a zbraní hromadného ničení*, Zpravodaj Civilní ochrany, č.1, 1997

28. MIKA, O., *Radiologický a jaderný terorismus*, [online], [cit. 2007-12-28], dostupné z <<http://www.trivis.info/view.php?cisloclanku=2005070601>>
29. MIKA, O., ŠUBRT, L., *Jaderné zbraně – Historie a současnost*, Výběr statí pro profesní přípravu a rekvalifikaci, č. 6, 1995
30. Nuclear Weapon Archive, [online], [cit. 2007-12-28], dostupné z <<http://nuclearweaponarchive.org/>>
31. ÖSTERREICHER, J., VÁVROVÁ, J.,: *Poznámky k přednáškám z radiobiologie*, Ústav Radiobiologie a imunologie VLA JEP, Hradec Králové, 2002, ISBN 80-86571-01-7
32. PETERA, J., *Moderní radioterapeutické metody: V. díl, Brachyterapie*, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 1998
33. PITSCHMANN, V., *Jaderné zbraně: Nejvyšší forma zabíjení*, Praha: Naše vojsko, 2005, ISBN 80-206-0784-6.
34. SHARP, M. E., *Encyklopedie, Světový terorismus od starověku až po útok na USA*, Praha: Svojtka, 2001
35. SCHMIDT, A. P., *The Definition of Terrorism*, Leden: COMT, 1993
36. STŘEDA, L., MATOUŠEK, J., *Ultraterorismus – jaderný, radiologický, chemický a biologický terorismus*, [online], [cit. 2007-12-23], dostupné z <[http://www.army.cz/avis/vojenske\\_rozhledy/2002\\_1/98.htm](http://www.army.cz/avis/vojenske_rozhledy/2002_1/98.htm)>
37. SÚJB, *Postup při záchytu radioaktivních materiálů*, Doporučení, Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2002, Praha
38. SYROVÁTKA, M., *Radiační terorismus*, Bakalářská práce, ZSF JČU, 2006
39. ŠAFR, G., *Integrovaný záchranný systém*, JČU ZSF, 2007, České Budějovice
40. ŠTOREK, J., *Zásady zdravotnické pomoci za mimořádných situací*, ZSF JČU, 2007, České Budějovice
41. ŠVANDA, J., FIŠER, V., *RaCon 3.01 – Programový nástroj pro podporu krizového managementu za situací radiačního havarijního ohrožení*, Ústav jaderného výzkumu Řež a.s., 2006

42. TŮMA, M. a kol., *Nešíření zbraní hromadného ničení v kontextu aktuálních otázek mezinárodní bezpečnosti a boje proti terorismu*, Brno: Ústav strategických studií, Univerzita obrany v Brně, 2004, ISBN 80-86960-90-7
43. U.S. Department of Health and Human Services, *Radiological Dispersal Devices*, [online], [cit. 2007-12-29], dostupné z <<http://www.remm.nlm.gov/rdd.htm>>
44. U.S. Department of Energy/ U.S. Nuclear Regulatory Commission, *Radiological Dispersal Device: An Initial Study to Identify Radioactive Materials of Greatest Concern and Approaches to Their Tracking, Tagging and Disposition*, 2005, [online], [cit. 2007-12-29], dostupné z <[http://www.nti.org/e\\_research/official\\_docs/doe/DOE052003.pdf](http://www.nti.org/e_research/official_docs/doe/DOE052003.pdf)>
45. WISE – Nuclear issues information service, *Cesium-137 contamination in Europe*, 1998, [online], [cit. 2008-02-05], dostupné z <<http://www10.antenna.nl/wise/index.html>>



## **8. KLÍČOVÁ SLOVA**

radiologický terorismus

špinavá bomba

ionizující záření

dekontaminace

radiační nehoda

integrováný záchranný systém

## **9. SEZNAM ZKRATEK**

AČR – Armáda České republiky

CAS – cisternová automobilová stříkačka

GŘ – generální ředitelství

HZS – hasičský záchranný sbor

IAEA – International Atomic Energy Agency (Mezinárodní agentura pro atomovou energii)

IZS – integrovaný záchranný systém

OPIS – operační a informační středisko

SDO – stanoviště pro dekontaminaci osob

SSZP – středisko speciální zdravotní péče

SÚJB – státní úřad pro jadernou bezpečnost

SÚRO – státní ústav radiační ochrany

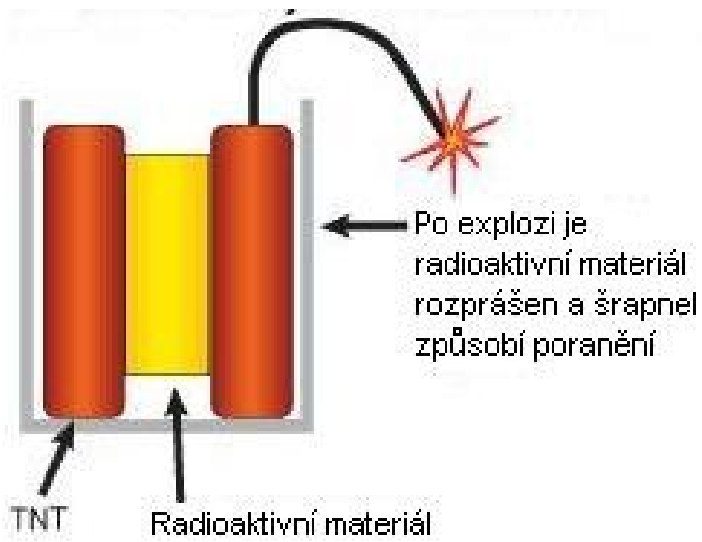
TNT – trinitrotoluen

## 10. PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Kufříková bomba



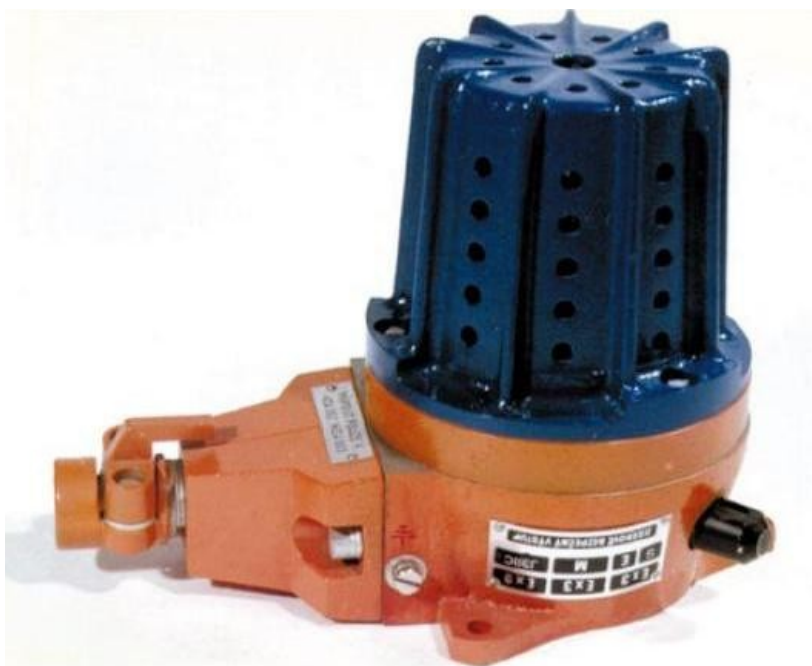
Příloha č. 2: Schéma špinavé bomby



**Příloha č. 3:** Eliminátor elektrostatického náboje



**Příloha č. 4:** Ionizační hlásič požáru, obsahuje  $2 \times 35 \text{ kBq } ^{241}\text{Am}$



**Příloha č. 5:** Defektoskop M18, zářič  $^{192}\text{Ir}$  o aktivitě max.  $3,7\text{TBq}$ , uranové stínění



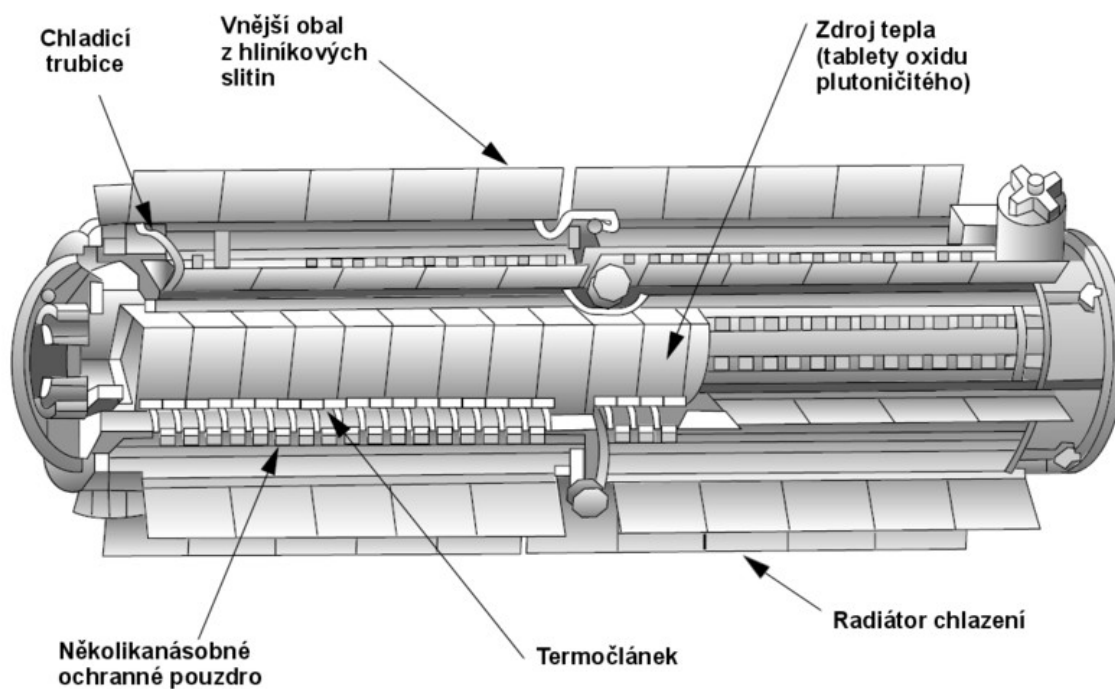
**Příloha č. 6:** Držáky na zářiče používané v defektoskopech k ovládání polohy zářiče.



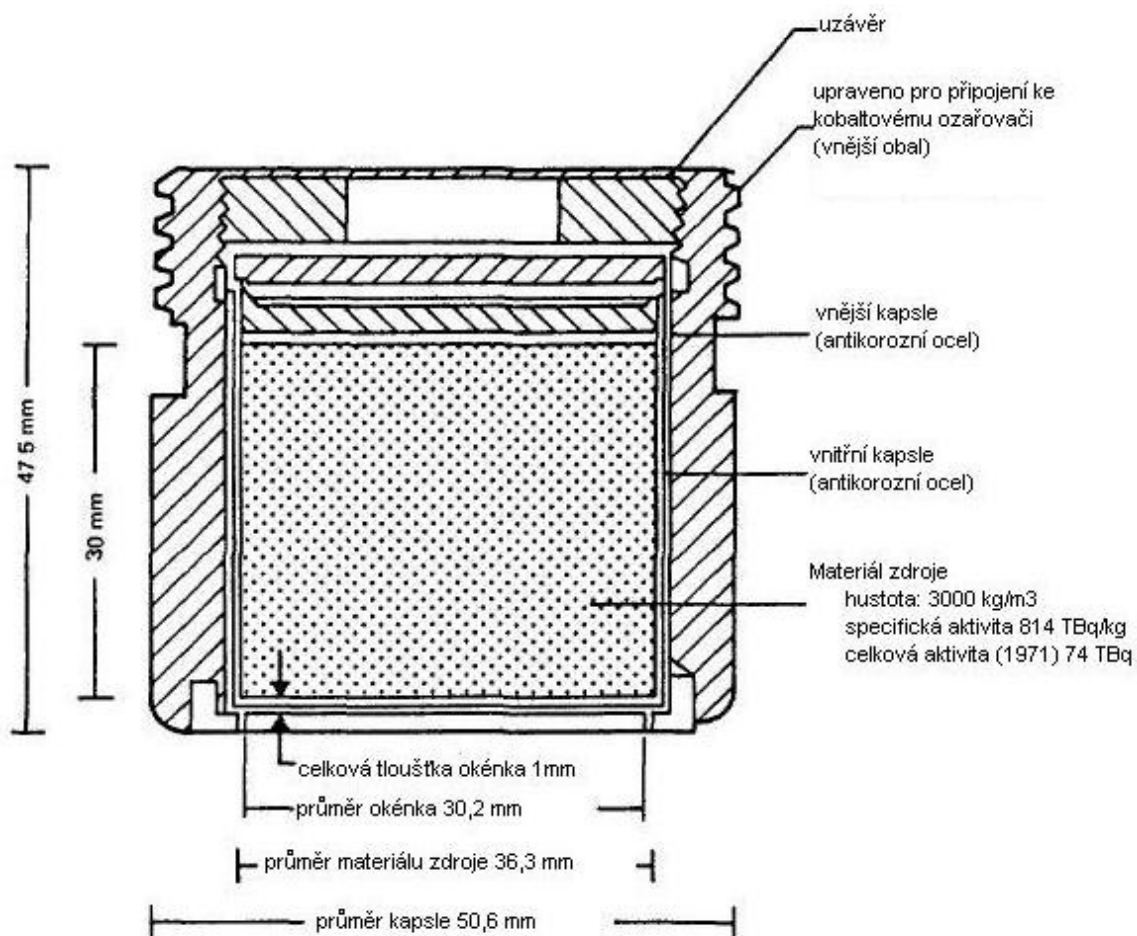
**Příloha č. 7:** Teleterapeutický zdroj,  $^{60}\text{Co}$



**Příloha č. 8:** Schéma radioizotopového termoelektrického generátoru



**Příloha č. 9:** Schéma  $^{137}\text{Cs}$  zdroje demontovaného z teleterapeutického ozařovače v brazilské Goiâni.





**Příloha č. 10:** Opuštěná radioterapeutická klinika v brazilské Goiâni

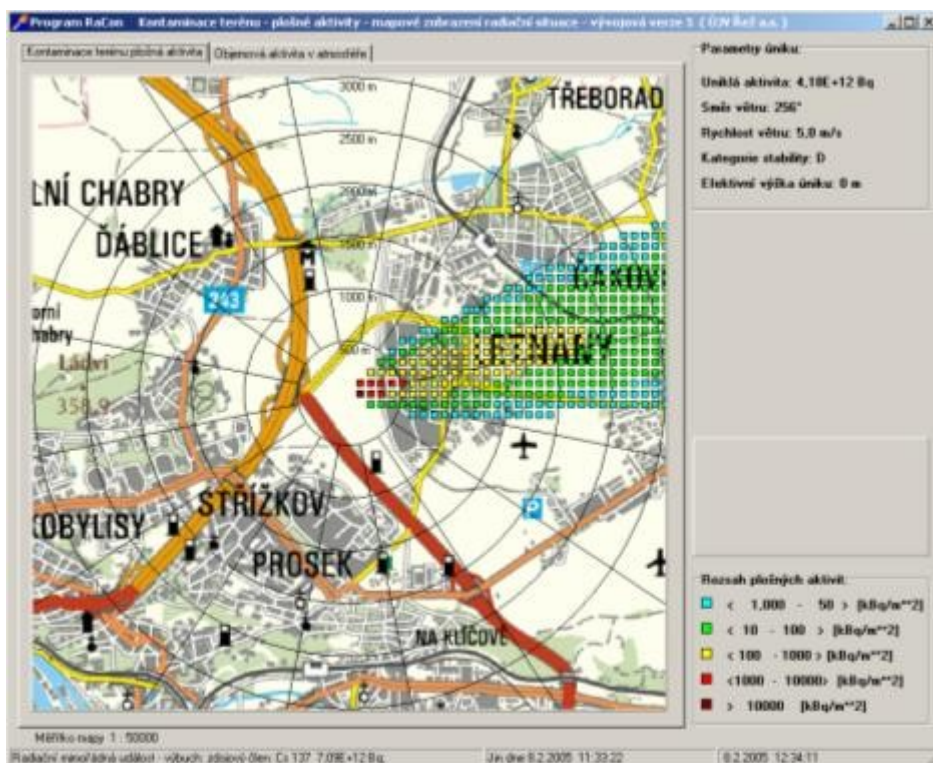


**Příloha č. 11:** Radioaktivní odpad z brazilské Goiâni

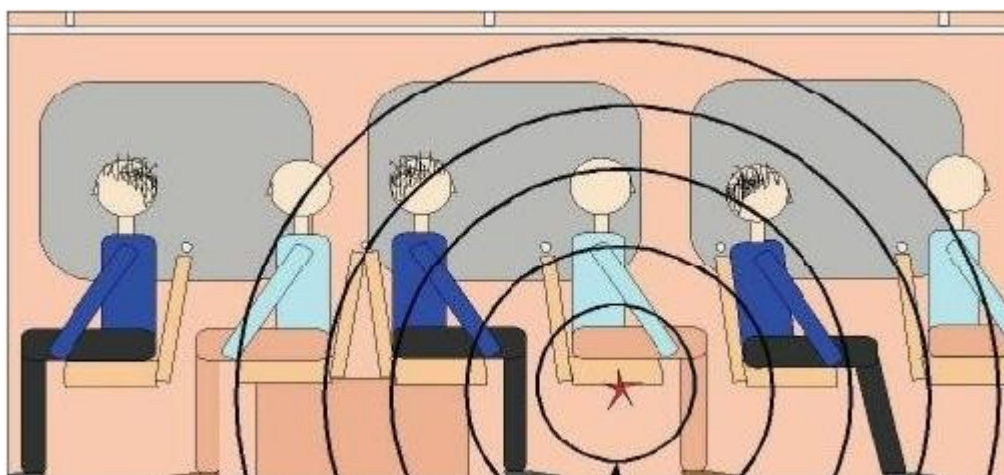




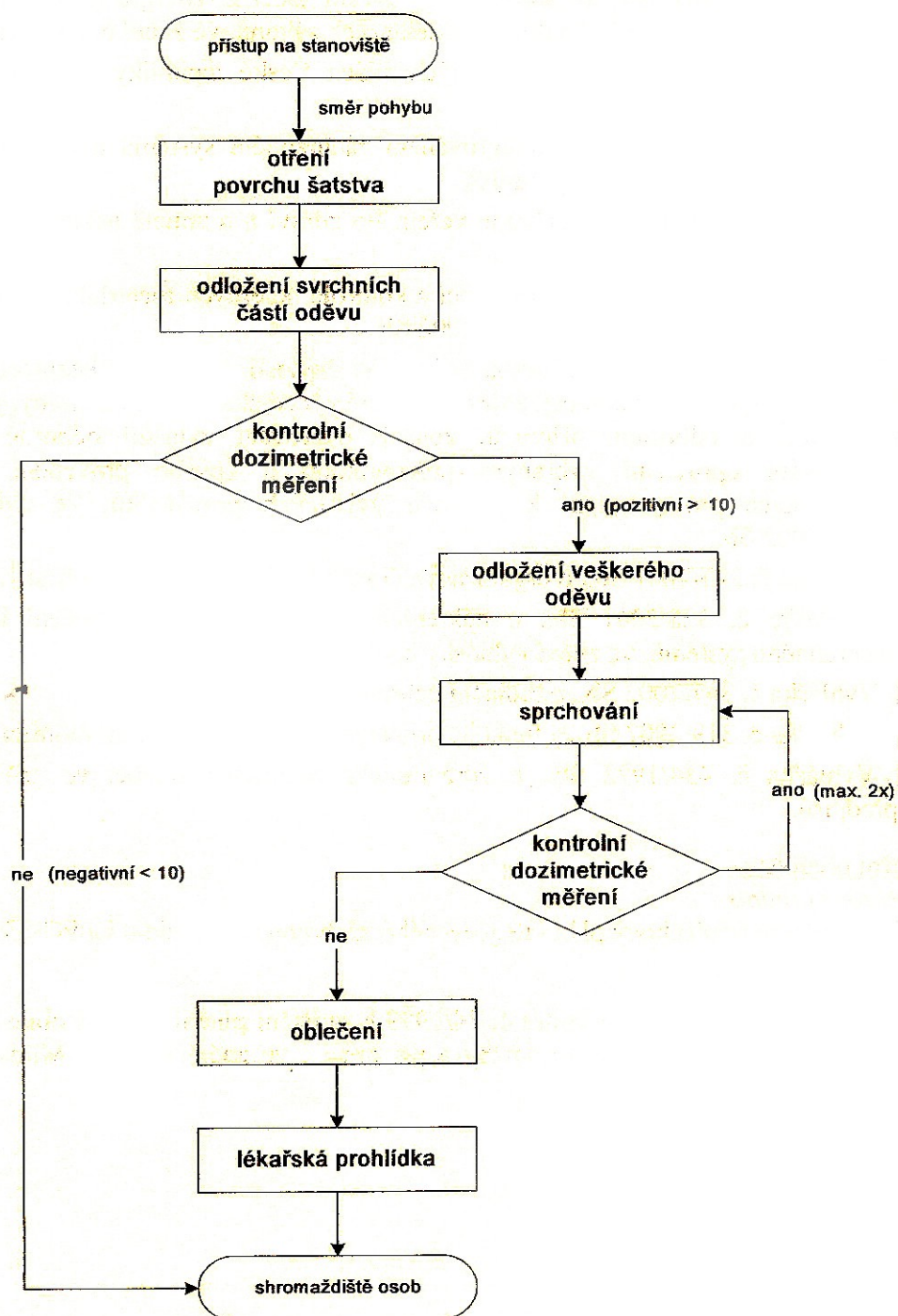
**Příloha č. 12:** Simulace radiologického výbuchu systémem RaCon, zobrazení plošných aktivit v zasažené oblasti



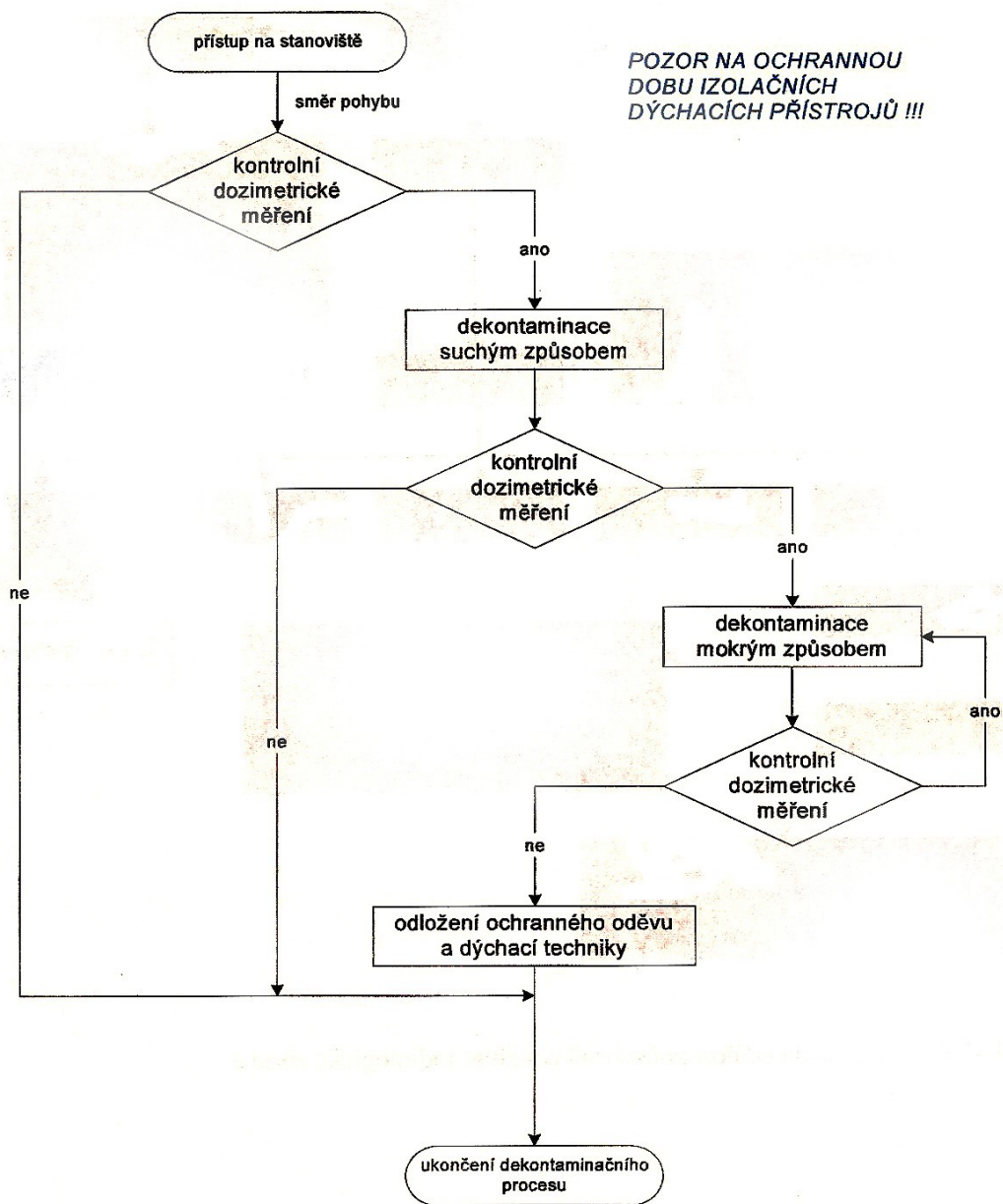
**Příloha č. 13:** Radioaktivní zdroj umístěný pod sedadlem metra



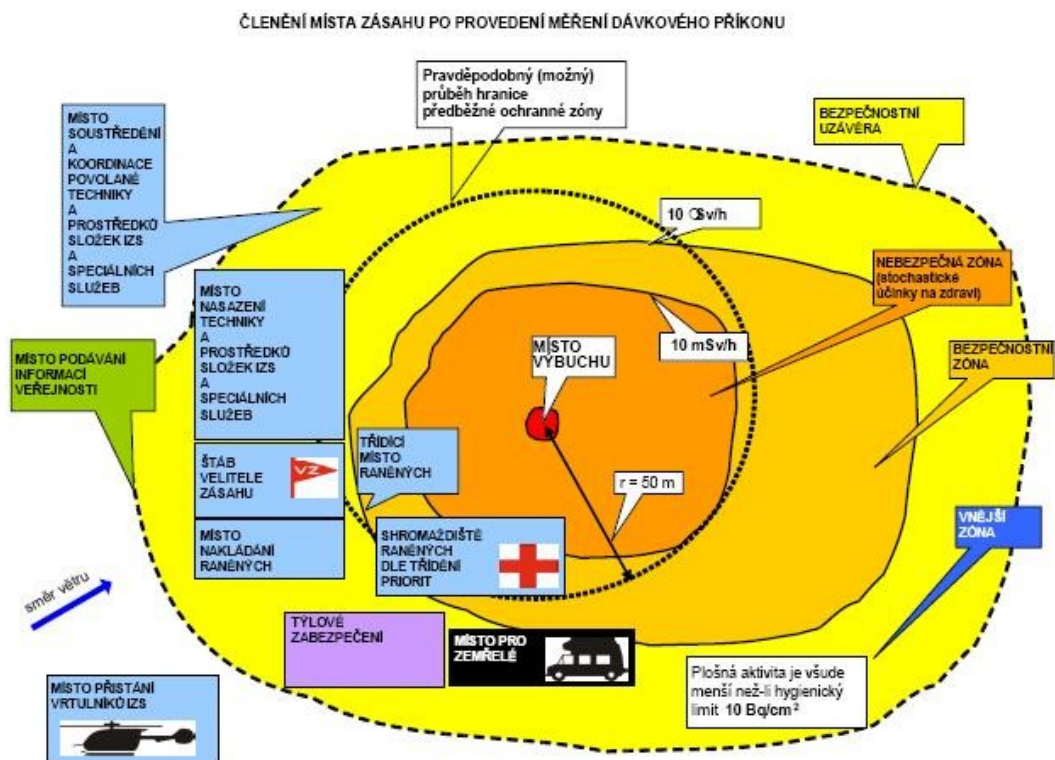
**Příloha č. 14:** Algoritmus dekontaminace zasažených osob



Příloha č. 15: Algoritmus dekontaminace zasahujících hasičů



**Příloha č. 16:** Členění místa zásahu po provedení měření dávkového příkonu



PŘED DOKONČENÍM MĚŘENÍ DÁVKOVÉHO PŘÍKONU JSOU POUZE DVĚ ZÓNY - PŘEDBĚŽNÁ OCHRANNÁ ZÓNA A VNĚJŠÍ ZÓNA.



**Příloha č. 17:** Simulovaný výbuch špinavé bomby  $^{137}\text{Cs}$ , 10 liber TNT, ve Washingtonu D.C.

