

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zdravotně sociální fakulta

**Možná rizika zneužití zdrojů ionizujícího záření**

Bakalářská práce

Vypracovala: Kristýna Švecová

Vedoucí práce: Mgr. Jiří Havránek

Datum odevzdání: 16.5. 2008

## **Abstract**

### Possible Risks of Abuse of the Sources of Ionizing Radiation

The abuse of ionizing radiation sources can be a tool in violent actions taken by terrorists, politicians or various groups with the aim to enforce their intentions. Ionizing radiation sources occur in many branches of human activities; they are important in medical care, industry, agriculture, space engineering, geology, archeology and many other spheres. Many cases have been known from the past when the sources of ionizing radiation were not properly protected or professionally liquidated, like e.g. in a Brazilian private clinic in the town of Goiania, where a device for radiotherapy using  $^{137}\text{Cs}$  was left unprotected in the original building.

The thesis includes an outline of various devices and technologies which utilize a source of ionizing radiation and which represent a potential threat of abuse. The most probable but on no account a sole form of abuse is the construction of so called „dirty bomb.“

In recent years the UN have been engaged in the education of students all over the world in disarmament issues as well as non-proliferation of mass destruction weapons . The International Atomic Energy Agency (IAEA) is a governmental organization working within the UN and dealing with the legal aspects of nuclear energy utilization. Therefore I mentioned several documents contributing to the strategy of the state in the sphere of nuclear safety. The objective of my thesis is to familiarize the reader with the problems of radiological terrorism or even unaware abuse of ionizing radiation sources; it is aimed at strengthening the awareness of both professionals and the public. I also wanted to monitor the knowledge of the students of South Bohemian basic and secondary schools and colleges on this issue. For this reason I prepared a questionnaire and finally analysed the answers statistically.

Hopefully the readers of my thesis will get more informed on the issue of interest and therefore also more aware of possible solutions.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci 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 bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zdravotně sociální fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích, 16.5. 2008

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu práce panu Mgr. Jiřímu Havránkovi za poskytnuté cenné rady a odborné vedení mé práce.

## Obsah

Úvod.....	7
1 Současný stav.....	8
1.1 Zdroje ionizujícího záření.....	8
1.1.1 Využití absorpce záření.....	9
1.1.2 Využití rozptylu ionizujícího záření.....	10
1.1.3 Chemické účinky ionizujícího záření.....	11
1.1.4 Ionizující záření ve zdravotnictví.....	12
1.1.5 Účinky ionizujícího záření na hmyz, mikroorganismy.....	14
1.1.6 Další použití zdrojů ionizujícího záření v ČR.....	15
1.2 Možné druhy zneužití zdrojů ionizujícího záření.....	17
1.2.1 Nepovolené nakládání se zdrojem ionizujícího záření nebo jeho obalem..	17
1.2.2 Špinavá bomba.....	19
1.2.3 Jaderné zbraně.....	20
1.2.4 Další formy ohrožení ze zdrojů ionizujícího záření.....	21
1.3 Radiační nehody.....	22
1.3.1 Goiânia.....	23
1.4 Poškození lidského organismu ionizujícím zářením.....	24
2 Cíl práce a hypotéza.....	25
2.1 Cíl práce.....	25
2.2 Hypotézy.....	25
3 Metodika.....	26
3.1 Metodologie dotazníkového výzkumu.....	26
4 Výsledky.....	27
4.1 Dotazník.....	27
4.1.1 Výsledky k H <sub>2</sub> : Muži mají o problematice větší povědomost než ženy. ....	27
4.1.2 Výsledky k H <sub>3</sub> : Informovanost studentů o dané problematice je malá. ....	27

4.1.3	Výsledky k H4: Nejvíce špatných odpovědí bude u studentů základních škol.....	29
4.1.4	Výsledky k H5: Nejméně špatných odpovědí bude u studentů vysokých škol.....	29
4.2	Radioaktivní zdroje – použití, výskyt a možné formy zneužití .....	30
4.3	Legislativní úprava .....	32
5	Diskuse.....	34
6	Závěr .....	37
7	Seznam použité literatury .....	38
8	Klíčová slova .....	40
9	Přílohy.....	41

## Úvod

Zneužití zdrojů ionizujícího záření může být jedním z nástrojů, který mohou využít teroristé, politici nebo různé skupiny k násilnému prosazování svých cílů. Zdroje ionizujícího záření se vyskytují skoro ve všech odvětvích, důležité je jejich využití ve zdravotnictví, průmyslu, zemědělství, kosmickém inženýrství, geologii, archeologii a mnoha dalších. Z minulosti jsou známé případy, kdy zdroje ionizujícího záření nebyly dostatečně chráněné a nebo odborně zlikvidované, což dokazuje případ z brazilské soukromé kliniky ve městě Goiânia, kde byl v původní budově zanechán přístroj pro radioterapii, který pracoval s  $^{137}\text{Cs}$ .

Svojí bakalářskou prací bych právě chtěla poukázat na to, že zneužití zdrojů není tak nepravděpodobné, jak si většina lidí myslí. Denní tisk nás pravidelně přesvědčuje o tom, že teroristé jsou ve svých zavražďovacích praktikách stále vynalézavější.

Na začátku své práce uvádím přehledem různých přístrojů a technologií, které využívají zdroj ionizujícího záření a u kterých hrozí zneužití. Nejpravděpodobnější je sestavení tzv. „špinavé bomby,“ zdroje však mohou být zneužity i jinými způsoby.

OSN se snaží vzdělávat studenty po celém světě v oblastech odzbrojení a nešíření, zejména zbraní hromadného ničení. Cílem mé práce je vypracovat ucelené údaje o tom, kde všude se využívají zdroje ionizujícího záření a také přiblížit čtenáři problematiku radiologického terorismu nebo neúmyslného zneužití zdroje ionizujícího záření a tím podpořit větší osvětu jak laické, tak odborné společnosti.

V polední části vyhodnocuji znalosti jihočeských studentů o zdrojích radioaktivního záření a radiačním terorismu a shrnuji do tabulky nejpoužívanější zdroje ionizujícího záření. Také jsem vytvořila mapu, kde jsem zvýraznila místa s výskytem většího množství radioaktivního materiálu a v neposlední řadě se věnuji zákonům, které zajišťují bezpečnostní strategii státu v oblasti jaderných materiálů a rozvádím diskuzi, zda je možné v České republice zneužít zdroje radioaktivního záření. Doufám, že si čtenář při čtení mé práce zvýší informovanost a že tím projeví i větší zájem o danou problematiku.

## 1 Současný stav

### 1.1 Zdroje ionizujícího záření

Se zdroji ionizujícího záření se setkáváme v mnoha laboratorních, terénních a průmyslových aplikacích. Podle způsobu vzniku záření rozlišujeme radionuklidové a generátory ionizujícího záření. Radionuklidové zdroje emitují záření nepřetržitě, protože záření vzniká jako důsledek radioaktivní přeměny. V generátorech ionizujícího záření vzniká záření jen během provozu zařízení. Následující přehled uvádí nejčastěji používané zdroje ionizujícího záření a jejich stručný popis.

- Záření elektromagnetické:
  - zdroje  $\gamma$  záření: radioaktivní nuklidy  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,
  - zdroje rentgenového záření: rentgenové lampy, radioaktivní nuklidy emitující charakteristické rentgenové záření ( $^{109}\text{Cd}$ ), radioaktivní nuklidy generující brzdné záření při absorpci  $\beta$  záření, urychlovače elektronů
- Záření elektronové:
  - radioaktivní nuklidy emitující  $\beta$  částice ( $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ), urychlovače elektronů (betatron, lineární urychlovač)
- Záření pozitronové:
  - radioaktivní nuklidy emitující pozitrony ( $^{22}\text{Na}$ ,  $^{68}\text{Ge}$ )
- Záření těžkých kladných částic:
  - radionuklidové zdroje  $\alpha$  záření ( $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ), urychlovače (cyklotron, lineární urychlovač)
- Záření neutronové:
  - radionuklidové zdroje založené na reakci ( $\alpha$ , n) a samovolném štěpení, neutronový generátor, jaderný reaktor (2).

Rizika vyvolávají události, které způsobují ohrožení životů lidí, jejich zdraví, ohrožují a ničí materiální hodnoty, kulturní hodnoty a životní prostředí. V následujícím přehledu pracovišť, která pracují se zdroji ionizujícího záření, jsem se zaměřila spíše na



ta odvětví, která využívají radionuklidové zdroje, které by se daly nějak zneužít a tím tedy vyvolat různá rizika.

### ***1.1.1 Využití absorpce záření***

*Měření a kontinuální kontrola tloušťky* materiálu vyráběného litím, tažením nebo vytlačováním se provádí průchodem měřeného materiálu mezi detektorem a zdrojem záření. Podle tloušťky a typu materiálu se používá buď  $\gamma$  záření o vhodné energii (radioaktivní nuklidy  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ), nebo  $\beta$  záření ( $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ). Záření  $\beta$  je vhodné pro měření tloušťky tenkých fólií z lehkých materiálů. Signál detektoru je tím větší, čím je materiál tenčí, a lze jej využít k automatickému řízení tloušťky vyráběného produktu. Podobně lze kontrolovat stejnoměrný přísun sypkých materiálů dopravníkovým pásem, prochází-li pás mezi detektorem a zdrojem  $\gamma$  záření. Absorpcí  $\gamma$  záření s energií menší než 100keV ( $^{241}\text{Am}$ ) se také určuje obsah popela v uhlí. Metoda je založena na tom, že složky uhlí, které tvoří popel (Ca, Fe, Si) absorbují  $\gamma$  záření více než složka organická. Měřit lze i kontinuálně přímo na dopravníkovém pásu. V tomto případě je situace komplikována nestejnou tloušťkou vrstvy uhlí, která přispívá k celkovému zeslabení intenzity záření. Proto se současně měří absorpce  $\gamma$  záření s vyšší energií ( $^{137}\text{Cs}$ ), která závisí převážně na tloušťce materiálu a která umožňuje absorpci záření s nižší energií korigovat na proměnlivou tloušťku vrstvy uhlí.

Při kontrole eroze a tvorby usazenin v potrubí jsou zdroj záření a detektor umístěny na protilehlých stranách potrubí. Při erozi se stěny potrubí ztenčují, což se projeví zvýšenou intenzitou procházejícího záření. Naopak ukládání usazenin na vnitřních stěnách potrubí se projeví sníženým průchodem záření. Pomocí absorpce  $\beta$  záření lze také vyhodnocovat množství prachu zachyceného ze vzduchu na papírových filtrech.

*Kontrola výšky hladiny* v reaktorech a zásobnících kapalin. Na jedné straně nádoby je umístěn zdroj  $\gamma$  záření ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ), na straně protilehlé detektor záření. Rozdíl v absorpčních koeficientech kapaliny a plynu nad ní je značný. Metodu lze použít u nádob o průměru od několika centimetrů do 25 m při tloušťce ocelových stěn

až 20 cm. Podobně lze kontrolovat hladinu katalyzátorového lože v reaktorech, výšku náplně v absorpčních kolonách, plnění cisteren a plnění zkapalněných plynů do ocelových láhví.

*Gama radiografie* je patrně nejrozšířenější metodou využívající závislosti absorpce záření na atomovém čísle absorbující látky. Slouží ke zjišťování vad a nehomogenit v kovových předmětech. Záření  $\gamma$ , nejčastěji z  $^{60}\text{Co}$  nebo  $^{192}\text{Ir}$ , prochází kontrolovaným předmětem a dopadá na rentgenografický film. Na něm se zobrazí vnitřní struktura předmětu podobně jako je tomu v lékařské rentgenové diagnostice. Nekovové vměstky, vzduchové bubliny a trhliny představují místa s menším průměrným atomovým číslem (hustotou), které méně absorbují procházející záření. Na příslušném místě filmu se projeví větším zčernáním. U menších předmětů se v posledních letech dosáhlo výrazného zlepšení zobrazení použitím metod počítačové tomografie. V terénu se metoda velmi osvědčila při kontrole kvality svárů potrubí plynovodů, ropovodů a při kontrole stavu ocelové výztuže železobetonových konstrukcí. Podobným způsobem lze zviditelnit vodoznak v papíru. Používá se plošný zdroj záření zhotovený z polymetylmakrylátové fólie vyrobené z monomeru obsahujícího  $^{14}\text{C}$ . Místa s vodoznakem mají menší hustotu a projeví se na filmu větším zčernáním.

*Chemická analýza* se používá pro stanovení jednoho prvku s vyšším atomovým číslem ve vzorku, jehož průměrné atomové číslo je podstatně nižší. Nádobka s analyzovanou látkou se vkládá mezi zdroj záření a detektor. Čím větší je obsah prvku s vyšším atomovým číslem, tím menší je intenzita procházejícího záření. Měřič této intenzity bývá kalibrován přímo v jednotkách obsahu stanovované komponenty. Stanovuje se tak například síra v ropě, olovo v benzinu nebo uran a plutonium v roztocích v různých stádiích výroby těchto prvků.

### ***1.1.2 Využití rozptylu ionizujícího záření***

*Měření hustoty z rozptylu  $\gamma$  záření* se využívá v měření hustoty sypaných hmot a půdy. Měřicí sonda obsahuje zdroj  $\gamma$  záření ( $^{241}\text{Am}$  nebo  $^{137}\text{Cs}$ ) a detektor rozptýleného

záření, který je olovem odstíněn od záření zdroje. Rozptýlené záření se po dráze k detektoru částečně absorbuje a celkový efekt rozptylu a absorpce způsobuje, že čím je větší hustota látky, tím méně rozptýlených částic dopadá na detektor. Signál z detektoru lze zpracovat tak, aby na výstupu udával přímo údaj o hustotě. Sondu můžeme také přikládat k povrchu materiálu. V tomto případě do materiálu vstupuje záření ze zdroje a registruje se vystupující rozptýlené záření. Tento způsob se označuje jako zpětný rozptyl. Metoda se používá i v průzkumu kvality podloží staveb.

$\gamma$ - $\gamma$  karotáž se používá v geologickém průzkumu. V této metodě se sonda zasunuje do geologického vrtu a z intenzity a spektrální charakteristiky záření rozptýleného okolní horninou se zjišťují různé parametry a charakteristiky hornin, které souvisejí s hustotou. Z mnoha aplikací lze zmínit zjišťování uložení a mocnosti uhelných slojí, obsahu popela v uhlí, obsahu ropy a zemního plynu v horninách a geologický stav horniny.

Měření intenzity  $\beta$  záření se určuje tloušťka tenkých kovových povlaků na podkladovém materiálu, např. na skleněných zrcadlech.

### **1.1.3 Chemické účinky ionizujícího záření**

Ve všech aplikacích ionizujícího záření v polymerní technologii se ozařuje  $\gamma$  zářením nuklidu  $^{60}\text{Co}$ , vyžaduje-li se rovnoměrné ozáření v silnějších vrstvách nebo urychlenými elektrony při ozařování tenkých vrstev a povrchů.

Záření vyvolává v polymerech vznik radikálu, které – podle typu polymeru – vedou buď k síťování, nebo degradaci polymerních řetězců. Ozářené polymery mají lepší mechanické vlastnosti a jsou odolnější proti vlivu tepla (měknou při vyšší teplotě) a vlivu agresivních chemikálií. Z ozářeného polyethylenu se vyrábějí tepelně smrštitelné obaly pro potravinářský průmysl, ozářené PVC trubky lze použít pro rozvody teplé vody, protože měknou až při 180 °C. Jednou z nejúspěšnějších radiačních technologií je výroba izolace kabelů se zvýšenou izolační a tepelnou odolností. Z ozářeného polyamidu se vyrábějí ložiska s nižším otěrem a hlučností. U mnoha jiných polymerů vede ozáření k degradaci, tj. k náhodnému štěpení polymerních řetězců a snižování

molekulové hmotnosti polymeru. Degradace má na vlastnosti polymerů nepříznivý vliv. Některé z těchto produktů, např. směsi nízkomolekulárních fluorovaných uhlovodíků vznikající ozařováním teflonu, slouží jako maziva. Užitečným produktem radiační degradace celulózy je český výrobek Traumacel. Je to práškovitá látka, která účinně zastavuje krvácení a při hojení ran se úplně vstřebává. Radiační degradace celulózy slouží také ke zpracování odpadních hmot celulóзовého charakteru (odpad při zpracování dřeva, sláma). Potřebné dávky jsou však vysoké ( $10^5 - 10^6$  Gy), proto se proces kombinuje s kyselou nebo enzymatickou hydrolýzou. Částečně degradovaná celulóza se používá jako krmivo nebo jako surovina pro výrobu ethanolu. Ozářený polypropylen se poměrně snadno odbourává působením půdních mikroorganismů. Zhotovují se z něj obaly na sazenice stromů. Obaly se v půdě po určité době rozloží a nebrání růstu kořenů. Hlavní význam má radiační degenerace polymerů pro likvidaci odpadních plastů.

*Radiační polymerace* našla uplatnění při záchraně historických, sbírkových a uměleckých památek. Předmět poškozený atmosférickými vlivy nebo škůdci se ve vakuu zbaví vzduchu, nechá se do něj vsáknout monomer, nejčastěji methylmetakrylát, který pak uvnitř pórů předmětu polymeruje ozářením. Tímto způsobem lze ošetřit kámen, dřevo napadené hmyzem, papír, sádku, kosterní a jiné archeologické nálezy. Podobně se vyrábí velký sortiment kompozitních materiálů z porézních přírodních nebo umělých materiálů jako je dřevo, dřevotříska, kámen nebo cihly. Původní materiály tím získávají větší tvrdost, odolnost proti vlhkosti a opotřebení a barvitelnost. Radiační kompozity se používají na dlažbu, obkladové materiály a dekorační panely.

#### ***1.1.4 Ionizující záření ve zdravotnictví***

Dávky, kterými se nádory ozařují, se nejčastěji pohybují v rozmezí 50 až 60 Gy. Aby došlo k co nejmenšímu poškození zdravé tkáně mezi zdrojem záření a nádorem, případně v blízkosti nádoru, a mohly se projevit opravné mechanismy, celková dávka se většinou frakcionuje po 2 Gy.

*Teleterapie*, tj. dálkové ozařování. Běžné jsou kobaltové zářiče ( $^{60}\text{Co}$  o aktivitě  $5 \cdot 10^{13}$  až  $10^{15}$  Bq). Záření  $\gamma$  z  $^{60}\text{Co}$  má energii 1,17 a 1,31 MeV a proniká i k nádorům uloženým hlouběji uvnitř lidského těla. Cesiových zářičů ( $\gamma$  záření z  $^{137}\text{Cs}$  o energii 0,66 MeV) se používá k ozařování nádorů uložených maximálně 5 cm pod povrchem těla. K metodám vnějšího ozařování nádorů na povrchu nebo těsně pod povrchem těla patří i kontaktní terapie, kdy se na povrch těla přikládá  $\beta$  zářič ( $^{32}\text{P}$  nebo  $^{90}\text{Sr}$ ).

V *brachyterapii* se zářič zavádí v předem daných geometriích do těsného kontaktu s nádorovým ložiskem. Metoda je běžná v léčbě nádorů dělohy a močového měchýře. Jako zářičů se používá  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  nebo  $^{192}\text{Ir}$  ve formě drátků nebo perliček,  $^{226}\text{Ra}$  ve formě hermeticky zapouzdřené radnaté soli.

Při léčbě chronických kloubových onemocnění (artritida, záněty) se osvědčilo vpravit radioaktivní nuklid do kloubní dutiny. Používají se  $^{169}\text{Er}$ ,  $^{90}\text{Y}$  a  $^{198}\text{Au}$  v koloidní formě. Například koloidní  $^{198}\text{Au}$  obsahuje částice zlata o rozměru 5 – 20nm, stabilizované v roztoku želatinou a glukózou. Vpravovat radionuklidový zářič do postižené tkáně lze i metabolickým procesem. Metoda se označuje jako endoterapie a je typická pro léčbu nádorových onemocnění štítné žlázy. Pacientovi se podá roztok  $\text{Na}^{131}\text{I}$ , radioaktivní izotop jódu se zachytí ve štítné žláze a tam ozařuje nádorovou tkáň. Z jiných metabolických postupů lze uvést podávání  $^{32}\text{PO}_4^{3-}$  nebo  $^{89}\text{Sr}^{2+}$ , nověji pak komplexů  $^{186}\text{Re}$  nebo  $^{153}\text{Sm}$  s organickými fosfáty. Tyto preparáty se používají při léčbě kostních metastáz, popř. k tišení bolestí způsobených kostními metastázami. V poslední době se intenzivně studují možnosti tzv. imunoterapie. V této metodě je radioaktivní nuklid vázán na monoklonální protilátku nebo receptorový ligand a v této formě se v organismu selektivně váže na specifické antigeny nebo receptory v nádorových buňkách (2).

*Radioterapie* je klinický obor využívající účinků ionizujícího záření v léčbě jak zhoubných, tak i nezhojných nádorů, a to buď samostatně, nebo v kombinaci s jinými léčebnými modalitami. Cílem radioterapie je aplikovat do postiženého místa v těle pacienta přesně definovanou dávku záření za současného maximálního šetření okolní tkáně.

*Stereotaktická radiochirurgie* představuje léčbu mozkových lézí pomocí externího ozáření svazky ionizujícího záření. K zaměření cílového objemu jsou používány zobrazovací metody, jako je počítačová tomografie, magnetická rezonance, angiografie, popř. pozitronová emisní tomografie, provedené stereotakticky, tedy se speciálním systémem značek připevněných k hlavě pacienta (tzv. stereotaktickým indikátorem). K lokalizaci cílového ložiska slouží stereotaktické metody.

*Leksellův gama nůž*: Zdroje jsou umístěny v hemisférické centrální jednotce o průměru 400 mm a jsou uspořádány v pěti cirkulárních řadách rovnoměrně rozdělených na hemisféře. Každý z 201 zdrojů záření obsahuje 12 až 20 válcových pelet  $^{60}\text{Co}$  o průměru a délce 1 mm, které jsou umístěny a hermeticky uzavřeny ve dvou válcových pouzdrech z nerezové oceli. Tato pouzdra jsou pak umístěna do malého hliníkového kontejneru. Počet zrn  $^{60}\text{Co}$ , které jsou použity ve zdroji záření závisí na měrné aktivitě v okamžiku plnění radiační jednotky leksellova gama nože. Celková aktivita radiační jednotky je v okamžiku instalace  $2,22 \cdot 10^{14}$  Bq  $\pm 10\%$  a aktivita každého zdroje je specifikována jako jedna dvěstějednina celkové radiační jednotky s tolerancí  $\pm 10\%$  (13).

### ***1.1.5 Účinky ionizujícího záření na hmyz, mikroorganismy***

*Radiační hubení hmyzu*, tj. usmrcování a sterilizace. V radiační ochraně skladovaného obilí se využívá pozdních účinků dávek, které vedou k pohlavní sterilizaci samečků. Například ke sterilizaci samečků potměníka stačí dávka 100 Gy, zatímco k přímému usmrcení je potřeba dávky  $5 \cdot 10^3$  Gy. Obilí se ozařuje zářením  $\gamma$  z vhodně rozmístěných zářičů  $^{60}\text{Co}$  buď v silu, nebo na dopravníkovém pásu. Radiační hubení hmyzu se stalo také běžnou metodou v ochraně starých dřevěných uměleckých předmětů napadených hmyzem (červotoči, tesařici).

*Radiační sterilizací* se ozařování ničí mikroorganismy v různých výrobcích pro zdravotnictví (injekční stříkačky a jehly, umělé srdeční chlopně atd.). Ozařuje se zářením  $\gamma$  z  $^{60}\text{Co}$  nebo urychlenými elektrony ve zcela automatizovaných ozařovnách.

*Dezinfekce kalů* z čistíren odpadních vod. V ozařovnách je zářič  $^{60}\text{Co}$  o aktivitě  $10^{15} - 10^{16}$  Bq umístěn v betonové kobce, do níž se dopraví vždy určité množství kalu. Pomocí čerpadel kal v kobce několik hodin cirkuluje, aby se dosáhlo rovnoměrného ozáření. Dávkou několika kGy se mikroorganismy téměř odstraní a ozářený kal lze po vysušení použít jako nezávadné hnojivo.

*Radiační ošetření potravin* je také rozšířené. Při ozáření dávkou 30 až 70 kGy dochází k úplné sterilizaci a k podstatnému prodloužení skladovatelnosti.

*Zabránění tzv. zaokrování studní*, tj. ucpání pórů v zemině hydroxidy železa a manganu, které se v zemině vyučují při růstu některých mikroorganismů a snižují přítok vody do studny. Růstu mikroorganismů se zabrání vhodně rozmístěnými zářiči  $^{60}\text{Co}$ .

### **1.1.6 Další použití zdrojů ionizujícího záření v ČR**

*Odstraňování statické elektřiny.* V mnoha výrobních procesech se na zpracovávaných materiálech vytváří vysoký elektrostatický náboj. Je to zejména tam, kde se nevodivý materiál odděluje od jiného materiálu, jako je tomu při průchodu plastových fólií, pryže, papíru nebo textilií přes výrobní válce. Nahromaděný náboj ztěžuje manipulaci s vyráběným materiálem a pokud jsou přítomny hořlavé páry, zvyšuje nebezpečí výbuchu. Elektrostatický náboj se odstraňuje ionizací vzduchu zářeními  $\alpha$ , které má vysoký lineární přenos energie. Používají se radioaktivní nuklidy  $^{210}\text{Po}$  a  $^{241}\text{Am}$  (viz příloha 1).

*Ionizační hlásiče kouře* akusticky signalizují přítomnost kouře, který bývá znamením doutnání, popř. začínajícího požáru. Obsahují zářič  $\alpha$  ( $^{241}\text{Am}$ ) o malé aktivitě a malý ionizační detektor záření napájený z baterie, který záření  $\alpha$  kontinuálně registruje. Kouř mění chemické složení vzduchu, tím ovlivňuje ionizační proud v detektoru a změněný signál na výstupu detektoru spouští signalizační zařízení (viz příloha 2).

*Radionuklidové baterie* tepelnou energii uvolněnou při absorpci záření přeměňují na energii elektrickou. Jako zdroj tepla slouží v baterii určité množství radioaktivního nuklidu ve vhodné chemické formě, které je zapouzdřeno v kovovém

obalu. Přeměna na elektrickou energii se může dít například tak, že kovový obal zářiče ohřívá teplé spoje termočlánků, které produkují termoelektrické napětí. Baterie pro kardiostimulátory obsahují několik desetin gramu  $^{238}\text{PuO}_2$  a dávají výkon  $50\ \mu\text{W}$  až  $1\ \text{mW}$  při napětí  $0,3 - 5\ \text{V}$ . Baterie se do lidského těla implantují a mají životnost až 20 roků. Pro nositele nepředstavují žádné riziko, protože  $\alpha$  záření se zcela absorbuje v samotném zářiči a záření  $\gamma$  při přeměně nuklidu  $^{238}\text{Pu}$  nevzniká. Pro napájení měřících přístrojů na meteorologických stanicích a námořních majácích bez lidské obsluhy a na kosmických tělesech (družice, vesmírné sondy) se konstruuji baterie obsahující až několik kilogramů  $^{238}\text{PuO}_2$  nebo  $^{90}\text{SrTiO}_3$  a poskytující výkon až několik kW při napětí desítek volt.

*Radionuklidové světelné zdroje* jsou založeny na emisi viditelného světla při absorpci ionizačního záření v některých látkách. Tyto zdroje obsahují luminofor s příměsí radioaktivního nuklidu emitujícího záření  $\alpha$  nebo  $\beta$ . Záření nepřetržitě dopadá na luminofor, generuje v něm excitované stavy, při jejichž následné deexcitaci vzniká světlo. V minulosti se jako zdroj záření používal nuklid  $^{226}\text{Ra}$ , který se ve formě radnaté soli přidával k luminoforu  $\text{ZnS}$ . Dnes se vzhledem k radiotoxicitě používají nuklidy emitující záření  $\beta$  ( $^3\text{H}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ). Používají se v signalizačních lampách, k osvětlování stupnic hodinek a měřících přístrojů a pro zhotovování orientačních světelných ukazatelů. V archeologii slouží radiotermoluminiscence k datování keramických nálezů.

*Barvení skel* nastává při ozáření skla dávkami řádově  $10^3\ \text{Gy}$ . Ve skle se vytvářejí poruchy, které způsobují absorpci světla ve viditelné oblasti. Podle druhu a chemického složení skla vznikají různé odstíny žluté, hnědé až kouřově šedé barvy, skal obsahující mangan se barví ametystově. Tohoto jevu se využívá k měření vysokých dávek záření na základě intenzity vzniklého zabarvení a pro výrobu architektonických skleněných prvků. Trvanlivost zabarvení, které také závisí na složení skla, může být až desítky let a zkracuje se za vyšších teplot. Možné je také barvit sklo přidáním uranu, potom je hezky žluté až žlutozelené, vyrábí se snad už jen v České republice (2).

*Jaderná elektrárna* ve kterých se používá jaderné palivo, tj. použitý štěpný materiál. Většinou je to uran  $^{235}\text{U}$  ve směsi s  $^{238}\text{U}$ , buď přírodní směs, nebo častěji



obohacený  $^{235}\text{U}$  (obohacení se používá buď nízké do 5%, střední do 20%, nebo vysoké až 95%). Jelikož kovový uran by neměl dobré tepelně-mechanické vlastnosti, používá se ve formě kysličníků ( $\text{UO}_2$ ), popř. slitin s jinými kovy (málo pohlcujícími neutrony, např. Zr), ojediněle sloučeniny karbidové. Dalším štěpným materiálem je plutonium  $^{239}\text{Pu}$  a ve speciálním uspořádání (FBR reaktory) uran  $^{238}\text{U}$ , popř. v budoucnu i thorium  $^{232}\text{Th}$  (19).

## **1.2 Možné druhy zneužití zdrojů ionizujícího záření**

### **1.2.1 Nepovolené nakládání se zdrojem ionizujícího záření nebo jeho obalem**

Radionuklidové zdroje záření musí být zabezpečeny proti úniku radioaktivního nuklidu vhodným obalem, ze zdroje vychází pouze záření. Technické provedení těchto zdrojů závisí na typu záření a účelu zdroje.

Zdroje nízkooenergetického  $\gamma$  záření a rtg záření obsahují radioaktivní nuklid v kovové formě (drát, fólie) nebo ve formě oxidu. Radioaktivní nuklid je uzavřen v ocelovém pouzdru. Vysoce aktivní zdroje  $\gamma$  záření o vyšší energii mají obvykle válcový tvar. Radioaktivní nuklid ( $^{60}\text{Co}$ : kovový kobalt ve tvaru válečků o průměru 10-20 mm,  $^{137}\text{Cs}$ : slisované tablety  $^{137}\text{CsCl}$  nebo  $^{137}\text{Cs}$  ve formě kuliček z cesiového skla) je umístěn v ocelovém válcovém pouzdru. Zdroj sám je umístěn v bezpečném stínícím krytu. V průmyslových ozařovnách, kde se různé materiály a předměty ozařují dávkami  $\gamma$  záření z  $^{60}\text{Co}$  až  $10^6$  Gy (aktivita  $^{60}\text{Co} \sim 10^{17}$  Bq), je zdroj uchováván buď pod asi pětimetrovou vrstvou vody (bazénová ozařovna), nebo v olověném, resp. ocelovém krytu (ozařovna se suchým trezorem). Speciální zdroje  $\gamma$  záření ve tvaru drátů, jehel, kuliček nebo trubiček ( $^{192}\text{Ir}$  s platinovým pokrytím,  $^{137}\text{Cs}$  ve formě nerozpustné sloučeniny zalisované do Pt/Ir slitiny,  $^{60}\text{Co}$  s niklovým pokrytím) se používají pro ozařování nádorů zaváděním do tělních dutin nebo implantací do blízkosti nádoru a plošné zdroje  $\beta$  záření ze  $^{90}\text{Sr}$  obsahují sloučeninu  $^{90}\text{Sr}$  zalisovanou v palladiovém pokrytí se používají pro léčbu kožních a očních nádorů.

Radionuklidové zdroje neutronů obsahují směs sloučeniny  $\alpha$  emitujícího radioaktivního nuklidu, nejčastěji  $^{241}\text{Am}$  ve formě  $\text{Am}_2\text{O}_3$ , a práškového berylia v ocelovém válečku. V kaliforniových zdrojích vznikají neutrony samovolným štěpením. Zdroj obsahuje, podle požadovaného toku elektronů,  $0,01\mu\text{g}$  až několik  $\text{mg}$   $^{252}\text{Cf}$  ve formě  $\text{Cf}_2\text{O}_3$  nebo kompozitu oxidu s palladiem ve tvaru drátu nebo válečku, opět v ocelovém pouzdru. Zdroje brzdného záření obsahují buď  $^{147}\text{Pm}_2\text{O}_3$  zapouzdřený v kovové fólii, nebo plynné tritium naadsorbované v tenké titanové, resp. zirkoniové fólii. Zdroje  $\alpha$  záření obsahují  $\alpha$  aktivní nuklid ve formě stálé sloučeniny zaválcované do povrchu tenké kovové fólie, ta je tenká  $1\mu\text{m}$ . Fólie spočívá na kovové podložce a ze strany emitující záření je překryta velmi tenkou ( $\sim 2\mu\text{m}$ ) kovovou fólií. Z tohoto materiálu se zhotovují zdroje různého tvaru a velikosti (2).

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.

Prvním příznakem přítomnosti radionuklidového zářiče v kovovém šrotu může být nalezení varovné tabulky se znakem radiačního nebezpečí podle ČSN 01 8015 (viz příloha 3) nebo některým dříve používaným znakem. Znak může být doplněn varovným nápisem, např. „RADIOAKTIVNÍ“, „RADIOACTIVE“ aj. Vyskytnout se však může i jiný varovný nápis, jako např. „NEBEZPEČNÉ NEVIDITELNÉ ZÁŘENÍ“, „PRACOVNÍ MÍSTO S RADIOAKTIVNÍMI LÁTKAMI“ apod. O práci se zdroji ionizujícího záření svědčí i nález stínících olověných cihliček (viz příloha 4).

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 zářiče. V takovém případě je třeba přerušit práci a přivolat dozimetristu. 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 či dokonce úmyslně (16).

### **1.2.2 Špinavá bomba**

Největším možným zneužitím zdrojů ionizujícího záření je bezesporu sestavení tzv. špinavé bomby. Špinavou bombou se myslí určité množství méněcenného radioaktivního materiálu smíchaného s konvenční průmyslovou trhavinou. Radiologické zbraně se zařazují mezi zbraně hromadného ničení, do podskupiny jaderných zbraní. Ačkoliv název „špinavá bomba“ implikuje výbuch, nelze tuto zbraň řadit do skupiny výbušných jaderných zbraní (tam patří: atomové, vodíkové – termonukleární a neutronové bomby). Špinavá bomba využívá nálože s konvenční náplní (např. trinitrotoluenem) k rozptýlení radioaktivních materiálů a ve srovnání s výbušnými jadernými zbraněmi je její bezprostřední ničivý účinek zanedbatelný. Při jejím odpálení tedy nedochází k žádnému obrovskému výbuchu. Její princip tkví v zamoření prostoru exploze a vzniku radioaktivního mraku, který se rychle šíří v závislosti na síle větru, přičemž následný spad radioaktivních částic zamořuje další a další území. 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 dobře vázat s půdou či dokonce s betonem. Asi jedinou efektivní metodou by bylo danou oblast opustit, nebo zbourat, vybagrovat půdu do hloubky 0,5m a veškerou suť odvézt a zakonzervovat jako radiologický materiál. Ztráty na životech by byly nízké, ale totéž nelze říct o škodách materiálních a ekonomických, nehledě na paniku, kterou by takovýto úder vyvolal. Nejvhodnějšími izotopy jsou:  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  a  $^{192}\text{Ir}$ .

Komponenty k výrobě alespoň minimálně účinné špinavé bomby mohou mít některé státy, přičemž zdrojem materiálu mohou být jaderné reaktory, a to včetně

reaktorů v jaderných elektrárnách. Je však sporné, zda by byly ochotny špinavou bombu použít či ji předat teroristům, protože by se tím vystavily hrozbě odvety ze strany USA. Každopádně státem, který v poslední době deklaroval vlastnictví špinavých bomb a od něž pochází vysoké riziko jejich použití při případném napadení, je Korejská lidově demokratická republika. Ta navíc disponuje i velmi důležitým prostředkem k zasažení cíle. Jsou jimi různé typy balistických raket včetně Teapodong-1 s doletem až 2 500 km (která byla testována v srpnu 1998) a plánované třístupňové rakety Taepodong-2 s doletem kolem 15 000 km (která budí největší obavy USA) (3).

### ***1.2.3 Jaderné zbraně***

Zkonstruování jaderné zbraně (nejspíše jednoduššího typu tzv. Gun Assembly Device) samotnými teroristy se jeví jen o málo reálnější, neboť tento proces je technicky i finančně velmi náročný, vyžaduje značné množství kvalitního jaderného materiálu (vysoce obohaceného uranu nebo plutonia) a odborné znalosti. Odborníci tvrdí, že na výrobu nejjednodušších jaderných zbraní je třeba přinejmenším 8 kg plutonia nebo 25 kg vysoce obohaceného uranu. MAAE soustavně upozorňuje na hrozby spojené s pašováním jaderných materiálů, k němuž ve světě dochází. Její odborníci nicméně soudí, že veškerý dosud propašovaný materiál by nebyl k sestrojení jaderné zbraně dostatečný (17).

Nanotechnologie se zrodila před několika desítkami let v laboratořích zaměřených na výrobu jaderných zbraní. Tzv. jaderné zbraně čtvrté generace jsou označovány jako „čisté“, protože nebudou používat žádný (nebo téměř žádný) štěpný materiál, v důsledku čehož nebudou produkovat radioaktivní spad (či pouze ve velmi omezeném rozsahu). Jedná se o nové typy jaderných výbušnin, které mohou být vyvinuty, aniž by porušovaly ustanovení Smlouvy o všeobecném zákazu jaderných zkoušek (CTBT) (18).

#### ***1.2.4 Další formy ohrožení ze zdrojů ionizujícího záření***

Další formu radiologického terorismu představuje útok na jaderné zařízení, který by přímo nevyvolal jadernou reakci, ale v jehož důsledku by mohlo dojít k uvolnění radioaktivních látek do životního prostředí, např. z primárního okruhu jaderné elektrárny, když je porušena jeho integrita. Nabízí se několik variant takového útoku, např. výbuch bomby dopravené na místo lodí či nákladním autem, sabotáž uvnitř objektu, náraz civilního letadla aj. Jiná forma radiologického terorismu zahrnuje odlišné způsoby provedení teroristického činu s využitím jaderných a dalších radioaktivních materiálů, např. jejich rozšíření aerosolovým sprejem nebo prosté umístění předmětů vyzařujících radiaci do blízkosti osob. Reálnost a realizovatelnost této poslední možnosti prokázal nedávno organizovaný zločin, když mafie v Rusku pomalým způsobem usmrtila podnikatele Ivana Kivelediho, kterému do telefonu umístila radioaktivní kadmium. Nejznámějším pokusem o radiologický terorismus je případ čečenských povstalců z roku 1995, kteří do Izmailovského parku na severovýchodě Moskvy umístili radioaktivní cesium 137 ve snaze vyvolat strach mezi obyvateli a ukázat ruskému vedení své možnosti (17).

Dalším problémem, který vznikl s objevem jaderné energetiky je jaderný odpad, který kromě bezprostředního účinku může působit jako časovaná bomba. Ve výrobním komplexu Majak na jižním Uralu vzniklo rozsáhlé úložiště reaktorů na výrobu plutonia, 500 000 tun pevného odpadu bylo uloženo do země, vypuštěno do Karačajského jezera nebo uskladněno v nádržích na horním toku řeky Telči. Prosakováním, ale hlavně v důsledku havárie v roce 1957 došlo ke kontaminaci plochy 23 000 km<sup>2</sup>, podle norského Úřadu radiační bezpečnosti hrozí, že se radioaktivní materiál dostane do řeky Ob a Severního ledového oceánu. Jaderný odpad končil často na dně moří a oceánů, v prostoru souostroví Novaja Zemlja je potopených více než 10 000 kontejnerů s jaderným odpadem, loď s kapalným radioaktivním odpadem a několik vyřazených jaderných reaktorů do ponorek. V oblasti poloostrova Kola je potopeno asi 300 jaderných reaktorů, protože chybí skladovací prostory. Další pohřebiště radioaktivních materiálů se nachází také v Atlantském oceánu asi 1 000 kilometrů jihozápadně od

Velké Británie a poblíž španělského pobřeží. Spojené státy v 60. letech ukládaly radioaktivní odpad ve vodách východního pobřeží, kde byla mnohonásobně zvýšena radioaktivní koncentrace Cs-137 ve srovnání s normální hodnotou (11).

V České republice mohou být potenciálním rizikem odkaliště uranových rud, kde se chemickými úpravami zpracovává uranová ruda (viz příloha 5). Kal z úpravy se ukládal pomocí hydraulické dopravy do odkališť, která jsou asi 40 metrů hluboká, tyto radioaktivní plochy nejsou nijak chráněny (viz příloha 6) (12).

### **1.3 Radiační nehody**

Radiační nehoda je definována jako ztráta kontroly nad zdrojem ionizujícího záření, což má za následek překročení ročních limitů příjmu radionuklidů stanovených pro pracovníky nebo překročení ročních limitů dávkových ekvivalentů. Případ nálezů různých zářičů tvoří více než 400 radiačních nehod. Mezi nejčastější nehody tohoto typu patří lokální ozáření rukou, prstů, hrudi nebo stehen. Pro příklad uvedu jeden případ, který se stal iránskému dělníkovi, ten si po skončení pracovní doby na stavbě všiml světélkujícího předmětu o velikosti a tvaru tužky, předmět si schoval do své náprsní kapsy, později si však všiml zčervenání na hrudi, proto předmět položil zpět za zídku. Ráno nepřišel do práce, jelikož se u něho objevila – únava, pocení, závrať, zvracení, silné svědění a lokální kožní postižení na prstech ruky, hrudi, břicha, stehna. Na pracovišti byl zjištěn zdroj ionizujícího záření ( $^{192}\text{Ir}$ , 185 GBq, gama záření), který vypadl z přístroje s automatickým systémem posunu tohoto zářiče používaného k průmyslové radiografii. Díky malému počtu pracovníků a dobrému stínění za zídkou nedošlo k ozáření dalších osob. Muž obdržel cca. za 1,5 hod dávku asi 4 Gy, díky dobré zdravotnické péči se mohl vrátit do života s poměrně dobrou kosmetickou úpravou (viz příloha 8) (7).

### 1.3.1 Goiânia

Nehoda ve městě Goiânia je známý případ radioaktivní kontaminace v centrální Brazílii, při němž zemřelo několik lidí a mnoho bylo kontaminováno. (viz příloha 9) 13. září 1987 se vyklízel starý přístroj pro radioterapii z opuštěné kliniky v městě Goiânia, hlavního města oblasti Goiás. Dva pracovníci se pokoušeli přístroj rozebrat, protože ho potom chtěli prodat obchodníkovi se starým železem. Kryt však obsahoval 93 gramů vysoce radioaktivního chloridu cesia, což je lehce rozpustná sůl. V době krádeže byla aktivita cesia 50,9 TBq. Ještě ten den oba muži začali zvracet, jeden z nich měl průjem a začal mít pocity závratě, opuchla mu ruka, která později musela být amputována. Později bylo pouzdro jedním z nich násilím otevřeno a uvnitř objevil hrudky radioaktivního cesia, které zářilo modrou barvou, radioaktivní kryt prodali do šrotu, majitel Devair Alves Ferreira zamýšlel z prášku udělat prsten pro svoji ženu. Bratr Ferreira rozsypal prášek po podlaze, kde si hrála jeho šestiletá dcerka, tu fascinoval svítící prášek a potírala si ho po kůži obdržela dávku kolem 6Gy, umřela o měsíc později. Manželka vlastníka šrotu Maria Gabriela Ferreira, která obdržela celkovou dávku 5.7 Gy poprvé přišla na to, že zdrojem obtíží je přístroj, proto ho vzala do blízké nemocnice dne 28. 9. 1987. Celkem byla zjištěna kontaminace vnější i vnitřní u 249 osob, čtyři z nich zemřely (4).

Ve zprávě o nehodě, kterou vydala IAEA v roce 1988, se píše: "Nehoda v Goiánii měla silný psychologický účinek na brazilské obyvatelstvo, protože byla dávána do souvislosti s havárií v Černobyli. Mnoho lidí mělo strach, že budou kontaminováni, ozáření a že utrpí újmu na zdraví; ba co víc, báli se nevyléčitelných, smrtelných nemocí. Některým obyvatelům Goiánie se dokonce vyhýbali i jejich příbuzní a prodej dobytka, obilí a jiných produktů, jakož i lněných a bavlněných výrobků - nejdůležitějších hospodářských výrobků státu Goiás - klesl v období po nehodě o čtvrtinu." Brazilská Společnost pro vědecký pokrok, přední vědecké grémium země, dospěla v posudku z listopadu 1987 k závěru, že v Brazílii došlo k dalším, podobným radioaktivním nehodám, které nebyly odhaleny. Nejvyšší úředníci brazilských atomových úřadů přiznali, že na různých místech země stojí nejméně 50

dalších opuštěných přístrojů s radioaktivním materiálem. Brazilská komise pro atomovou energii v roce 1984 přestala provádět inspekce 236 přístrojů, jejichž užívání je jim známo, protože jim k tomu chybí prostředky (8).

#### ***1.4 Poškození lidského organismu ionizujícím zářením***

Ozáření způsobí buď zánik buňky, nebo změny cytogenetickou informaci při zachované schopnosti dalšího buněčného dělení. Účinky ionizujícího záření se u člověka dělí na deterministické, kdy po dosažení určité dávky ionizujícího záření efekt zákonitě nastává, a stochastické, kdy se stoupající dávkou stoupá pravděpodobnost poškození (viz příloha 10). Akutní nemoc z ozáření vzniká typicky po jednorázovém tělovém ozáření vyšší dávkou pronikavého záření. Patří tedy do skupiny deterministických účinků. Nemoc byla podrobně popsána u obětí jaderného útoku na japonská města v roce 1945, později se vyskytla řada případů při nehodách reaktorů nebo při ztrátě kontroly nad radionuklidovými zdroji. Akutní nemoc z ozáření zahrnuje tři základní formy a ty jsou závislé na absorbované dávce – dřeňová forma, střevní forma a neuropsychická forma (viz příloha 11) (6).



## **2 Cíl práce a hypotéza**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem mé bakalářské práce je shromáždit a vypracovat ucelené údaje o využívání zdrojů ionizujícího záření v ČR a jejich možném zneužití a hlavně také zvýšit povědomost studentů o dané problematice.

### **2.2 Hypotézy**

H<sub>1</sub>: Riziko zneužití zdrojů ionizujícího záření je v ČR málo pravděpodobné.

H<sub>2</sub>: Muži mají o problému větší povědomost než ženy.

H<sub>3</sub>: Informovanost studentů o dané problematice je malá.

H<sub>4</sub>: Nejvíce špatných odpovědí bude u studentů základních škol.

H<sub>5</sub>: Nejméně špatných odpovědí bude u studentů vysokých škol.

### 3 Metodika

Dané zadání jsem se pokusila zpracovat pomocí dostupné literatury, také pomocí internetu a studiem legislativy. Vypracovala jsem též dotazník o informovanosti jihočeských studentů o zdrojích ionizujícího záření. Všechny materiály, které se mi podařilo získat, jsem zpracovala a vyhodnotila a rozebírám je v diskuzi.

#### 3.1 Metodologie dotazníkového výzkumu

*Analytická jednotka:*

Studenti základních, středních a vysokých škol v Jihočeském kraji.

*Instrument:*

Pro získání relevantních dat jsme vypracovala vlastní dotazník, který se skládá z 10 otázek. Ve všech případech jsou otázky uzavřené. Verze dotazníku je uvedena v příloze 12.

*Charakteristika zkoumaného souboru:*

Zkoumaný soubor tvoří celkem 210 studentů, z toho 105 mužů a 105 žen. Dotazovala jsem se 70 studentů ze ZŠ, 70 studentů ze SŠ a 70 studentů z VŠ.

*Způsob administrace dotazníků:*

20 respondentů jsem oslovila prostřednictvím e-mailem zaslaného dotazníku ve formě dokumentu MS-Word. Zbytek jsme oslovila osobně. Průzkum probíhal od ledna do dubna a to v jihočeských městech České Budějovice, Tábor, Milevsko a Veselí nad Lužnicí.

*Způsob analýzy dat:*

Data získaná prostřednictvím dotazníku jsou kvantitativního charakteru. Pro jejich zpracování jsme použila Microsoft Excel a program Statistika cz 6.01 - Levenův test, jednofaktorový ANOVA test, F test a dvouvýběrový t-test.

## 4 Výsledky

### 4.1 Dotazník

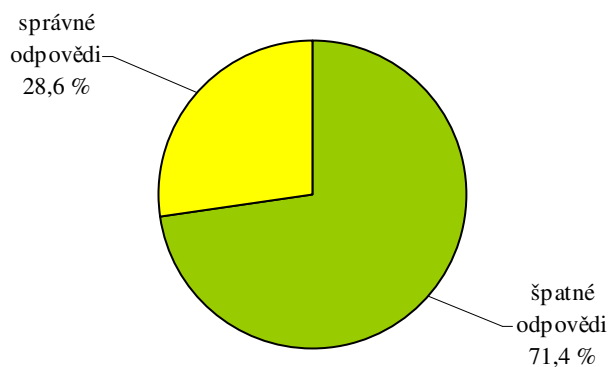
#### 4.1.1 Výsledky k $H_2$ : *Muži mají o problematice větší povědomost než ženy.*

Tuto hypotézu se mi nepodařilo potvrdit, nejdříve jsem ve statistickém programu udělala „F test“ na shodu rozptylů, jelikož rozptyly vyšly stejné, tak jsem použila „dvouvýběrový t-test se shodnými rozptyly“, vyšlo mi, že se nepodařilo prokázat, že by se počty špatných odpovědí mezi muži a ženami lišily na hladině významnosti 0,05, což je konstanta, která se bere u většiny testů.

#### 4.1.2 Výsledky k $H_3$ : *Informovanost studentů o dané problematice je malá.*

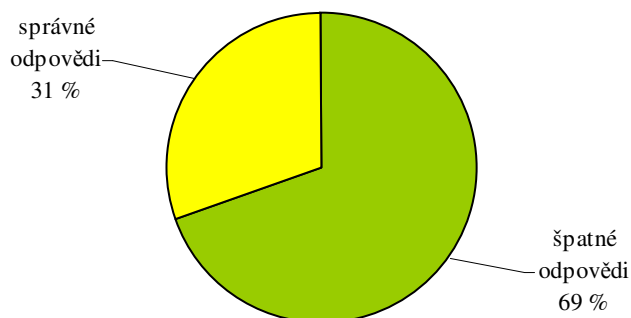
Informovanost o dané problematice je malá, čímž jsme potvrdila svoji hypotézu. V této části graficky znázorňuji tři otázky, ve kterých studenti nejvíce chybovali, dotazník viz příloha 12. Nejlepší výsledky studenti vykazovali u druhé otázky, která se týkala tří typů ionizujícího záření, poté u páté otázky, kde měli studenti určit vhodné stínění pro záření gama a nakonec u šesté otázky, kde správně odpověděli, že SÚJB je Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Určitě bych chtěla i zmínit fakt, že otázky byly stejné jak pro studenty základních škol, tak vysokých škol, u některých otázek se u starších studentů dala logicky vyloučit alespoň jedna odpověď, takže měli větší pravděpodobnost úspěchu, i kdyby neměli o odpovědi ponětí.

**Otázka č. 8: Atomový zákon:**



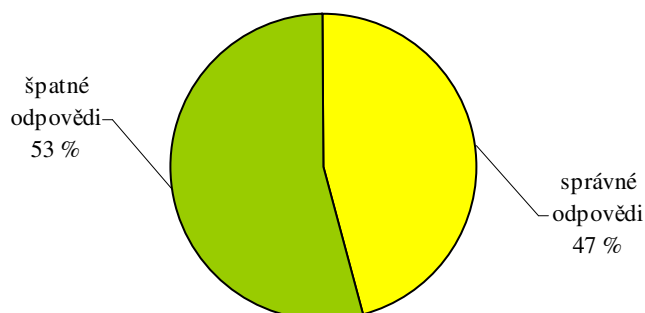
*Graf 1 – Graf k otázce číslo 8. Správnou odpověď zaškrtnulo 60 respondentů, špatné odpovědi zaškrtnulo 150 respondentů. 79 respondentů (37,6 %) zaškrtnulo špatnou odpověď a. 71 respondentů (33,8 %) zaškrtnulo špatnou odpověď c.*

**Otázka č. 9: V lékařství u nás se využívají nejčastěji zářiče:**



*Graf 2 – Graf k otázce číslo 9. Správnou odpověď zaškrtnulo 66 respondentů, špatné odpovědi zaškrtnulo 144 respondentů. 61 respondentů (29 %) zaškrtnulo špatnou odpověď a. 83 respondentů (40 %) zaškrtnulo špatnou odpověď b.*

**Otázka č. 10: Zdroje ionizujícího záření se mohou také využívat v zemědělství k:**



*Graf 3 – Graf k otázce číslo 9. Správnou odpověď zaškrtnulo 96 respondentů, špatné odpovědi zaškrtnulo 114 respondentů. 89 respondentů (42 %) zaškrtnulo špatnou odpověď a. 25 respondentů (12 %) zaškrtnulo špatnou odpověď c.*

#### **4.1.3 Výsledky k H4: Nejvíce špatných odpovědí bude u studentů základních škol.**

ZŠ, SŠ, a VŠ jsem porovnávala „jednofaktorovým ANOVA testem.“ Nejdříve jsem udělala „Levenův test“ na shodu rozptylů, které mi vyšly, že jsou stejné pro všechny skupiny. Ty jsme poté dosadila do testu "jednofaktorová ANOVA" a jako výsledek mi vyšlo tvrzení, že se nepodařilo prokázat, že by se počty špatných odpovědí mezi ZŠ, SŠ a VŠ lišily na hladině významnosti 0,05. Hypotézu jsem tudíž nepotvrdila.

#### **4.1.4 Výsledky k H5: Nejméně špatných odpovědí bude u studentů vysokých škol.**

Hypotézu jsme nepotvrdila, viz kapitola 4.1.3.

## 4.2 Radioaktivní zdroje – použití, výskyt a možné formy zneužití

Tabulka 1 - Přehled zdrojů ionizujícího záření často používaných v ČR

Isotop	Běžné použití	Typ záření	Aktivity zdrojů	Poločas rozpadu	Způsob zneužití
<sup>137</sup> Cs	teleterapie, k ozáření krve, sterilizace, hustoměr, vlhkoměr, do tloušťek 100mm oceli, obsahy potrubí, defektoskopie, tankovací nádoby, brachyterapie - drátky, perličky	beta, gama	0,37 GBq - 37GBq	30 roků	špinavá bomba, nepovolené nakládání s radioaktivním obalem záříče
<sup>60</sup> Co	teleterapie, průmyslová radiografie, sterilizace, hladinoměr, obsah koksovacích pecí, defektoskopie, dopravníková váha, brachyterapie - drátky, perličky, chemické reaktory pro vysoké tlaky, části kosmických raket	beta, gama	37 MBq - 3,7GBq	5,271 roků	špinavá a kobaltová bomba, nepovolené nakládání s radioaktivním obalem záříče
<sup>192</sup> Ir	průmyslová radiografie, defektoskopie, brachyterapie - drátky, perličky.	beta, gama	3,7GBq - 3,7 TBq	73,83 dní	špinavá bomba, nepovolené nakládání s radioaktivním obalem záříče
<sup>226</sup> Ra	Brachyterapie - radnatá sůl, požární hlásiče, luminiscenční barva	alfa, gama	0,37GBq - 37GBq	1,60.10 <sup>9</sup> roku	špinavá bomba, výskyt na odkališti, nepovolené nakládání s radioaktivním obalem záříče
<sup>241</sup> Am	požární hlásiče, do tloušťek 10 mm oceli, skla a umělé hmoty do 30mm, hladina tekutiny v láhvích	alfa, gama	0,37 GBq - 37GBq	432,2 let	špinavá bomba, nepovolené nakládání s radioaktivním obalem záříče
<sup>99m</sup> Tc	Radionuklid pro nukleární medicínu	gama	stovky MBq až jednotky GBq	6hodin	Požítí či násilné vstříknutí radiofarmaka oběti

Tabulka 2 - Přehled zdrojů, které mohou být zneužity k výrobě jaderné bomby

Izotop	Běžné použití	Typ záření	Poločas rozpadu	Způsob zneužití	Výskyt v ČR na mapě (barva)
$^{239}\text{Pu}$	výzkum, množivý reaktor	alfa	24 100 let	plutoniová bomba, sabotáž elektrárny	žlutá červená
$^{235}\text{U}$	palivo v jaderných reaktorech, štěpný materiál	alfa, gama	$6,8 \cdot 10^8$ roku	jaderná bomba (c > 95%), sabotáž elektrárny	zelená žlutá modrá červená
$^{238}\text{U}$	k výrobě plutonia, jaderný reaktor	alfa, gama	$4,468 \cdot 10^9$ roku	jaderná bomba, sabotáž elektrárny	zelená žlutá modrá červená



Obrázek 1 - Výskyt uranových dolů a zdrojů ionizujícího záření potřebných k výrobě jaderné bomby na území ČR.

### 4.3 *Legislativní úprava*

MAAE je mezinárodní vládní organizace v systému OSN, která kontroluje využití jaderné energie, vydává publikace, pořádá konference a řeší i právní aspekty týkající se využití jaderné energie. Přehled české legislativy, základních směrnic, ČSN a nařízení je uveden v přílohách 13 a 14. Z mezinárodních smluv bych chtěla zvláště vyzdvihnout *Smlouvu o nešíření jaderných zbraní*, ČR je smluvní stranou, ve smlouvě se píše, že každá smluvní strana se zavazuje nedávat k dispozici výchozí nebo speciální štěpný materiál nebo zařízení nebo materiál speciálně určený nebo připravovaný pro zpracování, využití nebo výrobu speciálního štěpného materiálu jakémukoliv státu nevlastnícímu jaderné zbraně pro mírové účely, tato smlouva nemá jednoznačně ozbrojovací charakter. Indie, Pákistán a Izrael se ke smlouvě nepřipojily. Česká republika musela vytvořit Státní systém evidence a kontroly jaderného materiálu, zpracované údaje SÚJB předává MAAE, legislativní úprava je provedena ve vyhlášce č.145/1997 Sb., ve znění vyhlášky č. 316/2002 Sb.

Ministerstvo obrany organizuje součinnost s armádami jiných států a vykonává státní dozor nad radiační ochranou ve vojenských objektech. V roce 2004 se ČR připojila k *Proliferation Security Initiative* (PSI), což je neformální iniciativa, která se snaží připojit všechny státy, jimž není lhostejný problém šíření zbraní hromadného ničení. PSI využívá stávajících mezinárodních právních mechanismů a aktivit mezinárodních kontrolních režimů v oblasti kontroly vývozu. Od připojených zemí se očekává, že budou uplatňovat praktická opatření, tzv. zákazové principy a budou se podílet na výměně relevantních zpravodajských informací, což je při potírání snah o získání zbraní hromadného ničení považováno za nejdůležitější.

Dalším doporučením MAAE je dokument INFCIRC/225/Rev.4 (Corr) – *Fyzická ochrana jaderných materiálů a jaderných zařízení*, závisí pouze na státu, jestli se bude tímto dokumentem řídit, ten určuje odpovědnost za zřízení, provádění a údržbu systému fyzické ochrany (zásada A); za zajištění přiměřené ochrany jaderných materiálů, přičemž při mezinárodní dopravě tato odpovědnost trvá do okamžiku, než je příslušně



dalšímu státu řádně předána (zásada B); za zřízení a udržování předpisového a regulačního rámce, jímž se fyzická ochrana řídí (zásada C); a odpovědnost zřídit či jmenovat příslušný orgán, jenž je odpovědný za provádění předpisového a regulačního rámce (zásada D); jasně vymežit odpovědnost za provádění různých prvků fyzické ochrany v rámci státu (zásada E) a vypracovat pohotovostní plány (plány pro případ mimořádné události), jež reagují na neoprávněné odebrání jaderných materiálů nebo sabotáž jaderných zařízení nebo jaderného materiálu nebo pokus o ně a jež by všichni držitelé licencí a příslušné orgány měli náležitě realizovat (zásada K). Pozměněná úmluva obsahuje konkrétní požadavek, aby smluvní státy zajistily ochranu před krádeží, pašováním a sabotáží (17,20).

Nejvýznamnějším dokumentem České republiky v boji s terorismem je ***Národní akční plán boje proti terorismu*** (NAP), byl přijat poprvé v roce 2002 formou usnesení Vlády České republiky (č.385/2002 z 10.4.2002) a je každoročně novelizován. NAP navazuje na rezoluci Rady bezpečnosti OSN č. 1373 z roku 2001 k boji proti terorismu a na Akční plán EU v boji proti terorismu. Odkazuje na něj i Bezpečnostní strategie České republiky. České právo se v protiteroristické oblasti přizpůsobovalo především univerzálním normám proti terorismu (přejímalo i mezinárodní sankční závazky) a v poslední době zvláště legislativě EU v dané oblasti. Projevilo se to i v trestně právní oblasti, kde již v roce 1993 byl zaveden trestný čin teroru (§ 93 trestního zákona), sabotáže (§ 97 trestního zákona) a v roce 2004 trestný čin teroristického útoku (§ 95 trestního zákona). Proti terorismu je využitelná celá řada norem trestního práva hmotného (propojení terorismu s nedovoleným obchodem se zbraněmi a s ilegálními způsoby jeho financování) i procesního (včetně evropského zatýkacího rozkazu). Je možné konstatovat, že protiteroristická opatření se v České republice dostala na standardní úroveň (14).

## 5 Diskuse

V diskusi bych chtěla rozebrat možná rizika, které se týkají radioaktivního materiálu, který se nachází na území ČR. Nebudu se zabývat legislativou, jelikož máme mnoho zákonů, norem, směrnic a jsme smluvními stranami mnoha mezinárodních smluv, ty nejhlavnější jsou rozebrány v kapitole 4.3 a hlavně také proto, že hrozbu představují státy, nevládní skupiny a organizace, které nerespektují principy mezinárodního práva.

Přes veškerou snahu černý obchod s jaderným materiálem existuje, o čemž se můžete dočíst ve výročních zprávách MAAE. Česká republika má uranové doly, dokonce v roce 1995 podle údajů Světové jaderné asociace byla Česká republika s produkcí 408 tun uranu největším producentem v západní a střední Evropě. Na našem území se vyskytují dvě jaderné elektrárny, takže nám může hrozit riziko nějakého ozbrojeného útoku, buďto vniknutím do elektrárny nebo například leteckým útokem zvenčí, jehož důsledkem bude nepřijatelné uvolnění radioaktivních látek do ovzduší. Toto riziko je opravdu skoro nemožné, jelikož jaderné elektrárny patří mezi nejlépe chráněné objekty v každé zemi a bezpečnostní opatření se stále obnovují. V Německu dokonce chystají zařízení, které by v případě náletu letadlem na elektrárnu vypouštělo hustý dým. Opatření na Temelíně jsou taková, že existuje pro letadla zakázaná zóna o poloměru 22 km. V okamžiku, kdy nějaké civilní letadlo změní trasu, startují – v České republice – gripeny. Totéž i v případě Dukovan. Bylo by určitě snazší a i originálnější zaútočit na nějakou chemickou továrnu, ty tak chráněné nejsou a důsledky by mohly být mnohem katastrofálnější.

V České republice nemáme úložiště na vyhořelé jaderné palivo, to se u nás skladuje v různých meziskladech nebo po dobu šedesáti let v lokalitě elektrárny, odpad je odstíněn několika bariérami (kontejnery, beton, žula atd.). Úložiště vyhořelého jaderného paliva jsou navrhována v místech s malou seizmickou aktivitou, což Česká republika splňuje. Sice se může stát, že náhle vzroste seizmická aktivita, vybuchne sopka, dopadne meteorit do oblasti úložiště, které by se tím poškodilo. Ale otázkou zůstává, jestli by uniklé množství radioaktivních látek bylo větším rizikem než přírodní katastrofa. Zneužití vyhořelého paliva samotnými teroristy bych také neviděla tak černě,

neboť úložiště by bylo i 500 metrů pod zemí a také kdo by se samovolně vystavoval velkému ionizujícímu záření.

Ve své diskuzi bych dále chtěla pokračovat dalším rizikem, což je sestrojení jaderné zbraně, podle mě je to asi nejméně pravděpodobnější forma zneužití. Jak jsem ve své práci uvedla, tak ukradené zdroje, hlavně uran, by nestačily k sestrojení jaderné bomby. Na internetu se sice objevil návod k sestrojení, ale podle mě šlo pouze o recesi. Sestrojení je velmi technicky náročné, časově dlouhé a není mnoho lidí, kteří tomu rozumí. J. O. Mika ve své publikaci Ochrana před zbraněmi hromadného ničení uvádí - „Existují oprávněné obavy, že někteří jaderní vědci zejména z bývalého Sovětského svazu pracují v některých problematických státech, respektive nelze vyloučit, že mohou pracovat pro některé teroristické organizace a skupiny. Známa tíživá ekonomická situace Ruska po rozpadu bývalého Sovětského svazu a také razantní redukce odborného personálu výzkumných ústavů a zařízení přivedly do složité ekonomické situace mnoho kvalifikovaných vědců, nositelů části know-how. Tito odborníci se stali bezpochyby cílem zájmů náborů různých nových zaměstnavatelů, kteří mohli nabídnout rozčarováným ruským specialistům jednak pozice na univerzitách a výzkumných ústavech své země s příslušným lukrativním oceněním. Předání citlivého a požadovaného know-how je pak zpravidla jen otázkou času, navíc mohlo být oceněno další lákavou finanční prémie (9).“

K další formě zneužití – „špinavé bombě“ jsem si vybrala odborný článek Aleše Svobody, cituji: „Jedná se o reálné nebezpečí. Materiál, jenž může být k tomuto účelu použit prakticky není problémem opatřit. Každá nemocnice vybavená přístroji na ozařování (kvůli léčení zhoubných nádorů), naftové vrty i ozařovače plodin obsahují dostatečné množství radioaktivního materiálu pro provedení takového útoku. Navíc ostražka jmenovaných objektů je mnohdy na velmi nízké úrovni. Dokonce na území bývalého Sovětského svazu jsou rozmístěny (resp. ponechány osudu) stovky až tisíce zařízení na ozařování semen zemědělských plodin. Ke své „práci“ využívají RA cesium ve formě vysoce disperzního prášku (15).“ Nesouhlasím s tvrzením, že materiál si prakticky můžete bez problému opatřit, zdroje se opravdu využívají v mnoha odvětvích, ale v našem státě nelze zdroj nepozorovaně ukrást. Je pravda, že si můžu například na

živnostenský list opatřit defektoskopy s vysoce aktivním zdrojem, ale na druhou stranu existuje v ČR SÚJB, který vydává povolení a vede evidenci, takže viník by byl snadno dopaden. V předchozích kapitolách mé práce jsem uváděla, že zdroj je chráněný určitým krytem, obalem a musí být odstíněn, takže je docela těžký a materiál je odolný proti mechanickému poškození. Nevylučuji možnost, že různé teroristické skupiny mohou mít určitý radioaktivní zdroj, např. ilegální obchod čečenských teroristů je velmi známý, navíc teroristé přepravují materiál v naprosto nevyhovujících podmínkách a zvyšují si tím riziko z ozáření. Také při přípravě bomby, která by pro účinnost musela obsahovat zdroj o velké aktivitě, by teroristé riskovali své zdraví, aby byly radioaktivní materiály efektivně rozptýleny, tak nestačí omotat dynamit radioaktivním zdrojem, rozptýl by byl zanedbatelný a radioaktivní látky by byly relativně snadno detekovány a zneškodněny. Nejlepší metodou by byla určitá alternativa a to použít práškovací letadlo, které by rozprašovalo radioaktivní substanci. Terorista může umístit radioaktivní zářič například do metra, což by byla určitá novější varianta útoku sarinem v tokijském metru, událost by zajisté vyvolala negativní psychologický efekt. Zdroj je chráněn určitým krytem, který se může stát také radioaktivním a vyskytly se případy, že je dán do železného šrotu i s radionuklidovým zdrojem uvnitř. Obvykle jsou zářiče identifikovány přístroji detekujícími ionizující záření, ale objevují se i případy (např. jaderných materiálů), které nemusí být touto cestou vždy odhaleny.

O minulých prázdninách jsem strávila měsíc praxe na SÚJCHBu v Kamenné, byli jsme se kouknout na odkališti uranových rud, pracovník úřadu nám vyprávěl příběh, kdy si zahraniční turisté chtěli na tomto kalovém poli krátkou chvíli plout na lodičce. Nevím, co je na tomto příběhu pravdy, ale odkaliště opravdu není nikterak chráněné. Myslím si, že zde hrozí riziko kontaminace, hlavně pro malé děti. Určitá osvěta a prevence v oblasti radiačního nebezpečí by měla na školách nebo pracovištích být. Díky dotazníkům jsem zjistila, že povědomost o zdrojích ionizujícího záření je docela malá, takže doufejme, že by případný nálezce podle označení, varovné tabulky nebo nápisu nebezpečí rozpoznal.

## 6 Závěr

Riziko zneužití zdrojů ionizujícího záření je v České republice opravdu málo pravděpodobné, čímž jsem obhájila svoji hypotézu, neříkám sice, že je to nemožné, ale máme propracovaný systém ochrany, evidence, norem, označení i zákonů. Riziko hrozí spíše u nevědomého zneužití či nehody, nelze si však představovat, že nalezneme na ulici opuštěný radioaktivní zdroj, jako se stalo při neštěstí v Goiânia.

Jsme členy NATO, EU a tudíž jsme určitým způsobem chráněni a informováni, ale na druhé straně jsme se připojili na stranu USA, tzn. na stranu nepřátel teroristických skupin, pohyb jaderného materiálu je však trvale kontrolován a není moc vědců, kteří by bombu uměli vyrobit.

Použití „špinavé bomby“ se jeví o něco málo pravděpodobnější. V poslední době šéf teroristické skupiny Al-Káida Usáma bin Ládín pohrozil Evropě útokem kvůli karikaturám proroka Mohameda a také protiislámský film nizozemského poslance Wilderse, který vyžaduje zákaz koránu a přirovnává jej k Hitlerově knize Mein Kampf si oblibu Al-Káidy nezíská. Podle dostupných materiálů se již Al-Káida „špinavou bombu“ snažila vyrobit. Myslím si však, že jsou jiné mnohem účinnější, levnější a odhadnutelnější zstrašovací techniky, které by mohli použít. Už ve starověku otravovali Asyřané vodní zdroje námelem nebo potraviny a nápoje mandragorou. Technologický pokrok jde dopředu a myslím si, že v budoucnosti se určité riziko nedá vyloučit, už ve středověku byla použita určitá modifikace „špinavé bomby“ a to toxické granáty, tzn. kombinace toxických látek se střelným prachem.

Na druhou stranu jsme zjistila, že povědomost o tomto problému je nedostatečná, ale studenti mají o problematiku upřímný zájem, což byl taky jeden z mých cílů, aby se o problému začalo více mluvit jako ve „vyspělejších“ státech světa. Doufám proto, že se informovanost a zájem o radiologický terorismus zvýší.

## 7 Seznam použité literatury

1. COLLELA et al. An introduction to radiological terrorism. The Australian Journal of Emergency Management. Australia: 2005, Vol. 20, No. 2, p. 11-18. ISSN 1324 1540.
2. HÁLA, J. Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie. 1. vydání. Brno: Konvoj, 1998. 310 s. ISBN 80-85615-56-8.
3. KAŇKOVÁ, J., Špinavá bomba.  
(online) Platný <http://www.toxicology.emtrading.cz>, leden 10, 2008
4. KOLEKTIV AUTORŮ. Goiânia accident.  
(online) Platný [http://en.wikipedia.org/wiki/Goi%C3%A2nia\\_accident](http://en.wikipedia.org/wiki/Goi%C3%A2nia_accident), únor 2, 2008
5. KOLEKTIV AUTORŮ. Uran (prvek).  
(online) Platný [http://cs.wikipedia.org/wiki/Uran\\_%28prvek%29](http://cs.wikipedia.org/wiki/Uran_%28prvek%29), březen 12, 2008
6. KOLEKTIV AUTORŮ. Principy a praxe radiační ochrany. Praha: Azin cz s.r.o., 2000. 606 s. ISBN 80-238-3703-6.
7. KUNA P., NAVRÁTIL L. Klinická radiobiologie. 1. vydání. Praha: Manus, 2005. 217 s. ISBN 80-86571-09-2.
8. MAY, J., Kniha atomového věku Greenpeace.  
(online) Platný <http://atom.ecn.cz/>, prosinec 12, 2007
9. MIKA J.O., Ochrana před zbraněmi hromadného ničení. 1. vydání. Praha: Existencialia s.r.o., 2004. 175 s. ISBN 80-903406-1-X.
10. NOVOTNÝ, J., Rekultivace odkališť uranového průmyslu.  
(online) Platný <http://www.diamo.cz/hpvt/2001/sekce/sanace/12/S12.htm>, prosinec 20, 2007
11. PITSCHMANN, V. Jaderné zbraně: nejvyšší forma zabíjení. 1. vydání. Praha: Naše vojsko, s.r.o., 2005. 390 s. Historie a vojenství. ISBN 80-206-0784-6.

12. PETERKOVÁ, V., Odkaliště Mydlovary.  
(online) Platný <http://webzin.choryne.cz/view.php?navezclanku=odkaliste-mydlovary&-cislocclanku=2007090002>, březen 15, 2008
13. ROZMAN, J. et al. Elektronické přístroje v lékařství. 1. vydání. Praha: Academia, 2006. ISBN 80-200-1308-3.
14. RÝŽ, O., Terorismus.  
(online) Platný [http://is.muni.cz/th/108638/pravf\\_b/bakalarka\\_ostra.pdf](http://is.muni.cz/th/108638/pravf_b/bakalarka_ostra.pdf), březen 12, 2008
15. SVOBODA, A., Špinavá bomba.  
(online) Platný <http://www.military.cz/accessories/dirtybombs/dirtybomb.htm>, březen 12, 2008
16. ŠURA, J., Postup při záchytu radioaktivních materiálů – Obrazová příloha.  
(online) Platný e-mail: [svecova.k@centrum.cz](mailto:svecova.k@centrum.cz) od [jiri.havranek@sujb.cz](mailto:jiri.havranek@sujb.cz), květen 12, 2007
17. TŮMA, M. et al. Kontrola nešíření zbraní hromadného ničení a mezinárodní bezpečnost. Brno: Výzkumné centrum bezpečnosti, Studie, 2006. 160 s. Projekt VD20062007A02.
18. TŮMA, M. et al. Nešíření zbraní hromadného ničení v kontextu aktuálních otázek mezinárodní bezpečnosti a boje proti terorismu.  
(online) Platný <http://www.mzv.cz/servis/soubor.asp?id=12237>, únor 20, 2008
19. ULLMANN, V., Aplikace ionizujícího záření.  
(online) Platný <http://astronuklfyzika.cz/JadRadMetody.htm#7>, leden 10, 2008
20. Zákon č. 18/1997Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění zákona č. 83/1998 Sb., zákona č. 71/2000 Sb., zákona č. 132/2000 Sb., a zákona č. 13/2002 a příslušné vyhlášky.

## **8 Klíčová slova**

ionizující záření

jaderná bomba

špinavá bomba

radiační terorismus

radionuklid

### **Key words**

ionizing radiation

nuclear bomb

dirty bomb

radiation terrorism

radionuclide



## 9 Přílohy

### Seznam příloh:

Příloha 1 - Eliminátor elektrostatického náboje

Příloha 2 - Ionizační hlásiče požáru

Příloha 3 - Tabule s výstražným znakem radioaktivity

Příloha 4 - Olovněné stínící cihličky

Příloha 5 - Odkaliště uranového průmyslu

Příloha 6 - Odkaliště MAPE Mydlovary

Příloha 7 - Typických provozních situace vedoucích k radiačním nehodám

Příloha 8 - Příklady radiačních nehod

Příloha 9 - Graf o počtu ozářených osob po nehodě v Goiânii

Příloha 10 - Graf deterministických a stochastických účinků

Příloha 11 - Rozdělení závažnosti průběhu akutní nemoci z ozáření

Příloha 12 - Dotazník

Příloha 13 - Přehled české legislativy

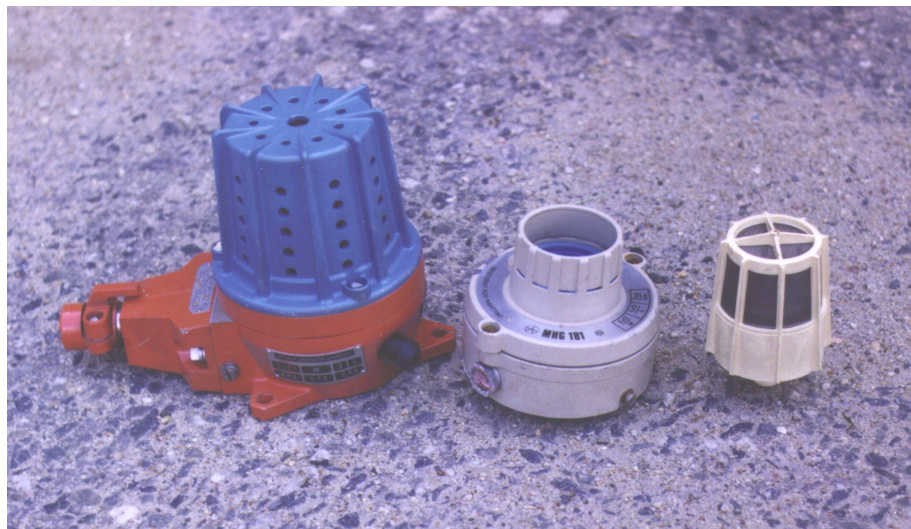
Příloha 14 - Přehled norem, směrnic a nařízení

*Příloha 1 – Eliminátor elektrostatického náboje*



*Foto 1 - Eliminátor elektrostatického náboje (žlutá tyč nahoře) na potěracím stroji pro pogumování tkanin. Silným alfa zářením se s povrchu tkaniny odstraní elektrostatický náboj a sníží se nebezpečí výbuchu par používaných rozpouštědel (16).*

***Příloha 2 – Ionizační hlásiče požáru***



*Foto 2 - Ionizační hlásiče požáru, vyráběné býv. Teslou Liberec. Vlevo MHG 102 ( $2 \times 35$  kBq  $^{241}\text{Am}$ ), uprostřed MHG 181 (35 kBq  $^{241}\text{Am}$ ), vpravo MHG 103 (75 kBq  $^{241}\text{Am}$ ). Podobně jako MHG 181 vypadá ionizační hlásič požáru MHG 107, obsahující 35 kBq  $^{241}\text{Am}$  (16).*

*Příloha 3 – Tabule s výstražným znakem radioaktivity*



*Foto 3 - Tabule s výstražným znakem radioaktivity podle české normy ČSN 01 8015 (16).*

*Příloha 4 – Olověné stínící cihličky*



*Foto 4 - Olověné stínící cihličky (16).*

***Příloha 5 – Odkaliště uranového průmyslu***

*Tabulka 3 - Odkaliště uranového průmyslu - objemy plochy.*

	<b>kal (t)</b>	<b>plocha</b>	<b>voda(m<sup>3</sup>)</b>	<b>poznámka</b>
Příbram Bytíz odkaliště I Příbram Bytíz odkaliště II	900.000	46ha	550.000	1,2 mil.t odvezeno do CHÚ Stráž p.R.  kal z oplachů kameniva
Mydlovary soustava odkališť	17,5 mil	285ha	1.400.000	Provoz ukončen 12/91
Stráž p.Ralskem 1.a 2.etapa	14,2 mil	187ha	4.500.000	Provoz ukončen 03/94
Dolní Rožínka odkaliště I a II	11,0 mil	105ha	900.000	Provoz pokračuje v omezené formě
Celkem	43,6 mil	623ha	7.350.000	

(10)

*Příloha 6 – Odkaliště MAPE Mydlovary*



*Foto 5 - Odkaliště MAPE Mydlovary (12).*

***Příloha 7 – Typické provozní situace vedoucí k radiačním nehodám***

*Tabulka 4 - Přehled typických provozních situací, které vedou k radiačním nehodám.*

<b>Obor aplikace</b>	<b>Typické radionuklidy nebo jiné zdroje</b>	<b>Ozářená část těla</b>	<b>Počet zdravotně ozářených</b>
průmysl	$^{60}\text{Co}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{192}\text{Ir}$	Celé tělo, ruce	1-10
zdravotnictví	rentgenka, $^{60}\text{Co}$ , $^{137}\text{Cs}$ , urychlovače	Celé tělo, ruce obličej	1-10
výzkum	Široké spektrum zdrojů, i reaktory	Ruce, obličej	1-3 u reaktorů i více
odložené zářiče	$^{60}\text{Co}$ , $^{137}\text{Cs}$ , jiné	Ruce, jiné části těla	1-20

(6)



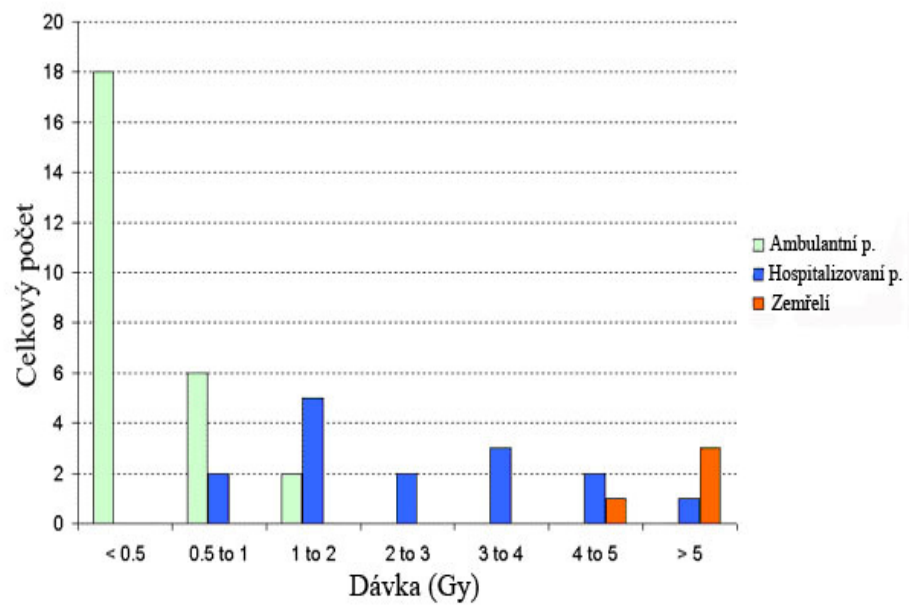
## ***Příloha 8 – Příklady radiačních nehod***

*Tabulka 5 - Příklady radiačních nehod od roku 1944.*

<b>Místo</b>	<b>Rok</b>	<b>Počet ozářených osob</b>	<b>Počet zemřelých osob</b>	<b>Dozimetrické údaje</b>
Los Alamos, USA	1945 - 1946	10	2	7,5 -10,0 Gy gama, měkké X paprsky
Oak Ridge, USA	1958	8	0	0,7 – 3,4 Gy neutrony, gama záření
Bývalá Jugoslávie	1958	6	1	2,0 – 4,4 Gy neutrony, gama záření
Černobyl	1986	25 000	28	0,15 – 16,0 Gy alfa, beta, gama záření
Tammik, Estonsko	1994	5	0	> 0,5 Gy <sup>137</sup> Cs v pouzdře, asi 2,5mSv/h
Lilo, Gruzie	1997	11	0	Dávka nezjištěna <sup>137</sup> Cs a <sup>60</sup> Co, gama záření
Tokai-mura	1999	24	2	0,1 – 8 Sv neutrony, alfa a gama záření
Istanbul	1998	10	0	0,1 – 2 y <sup>60</sup> Co, gama záření

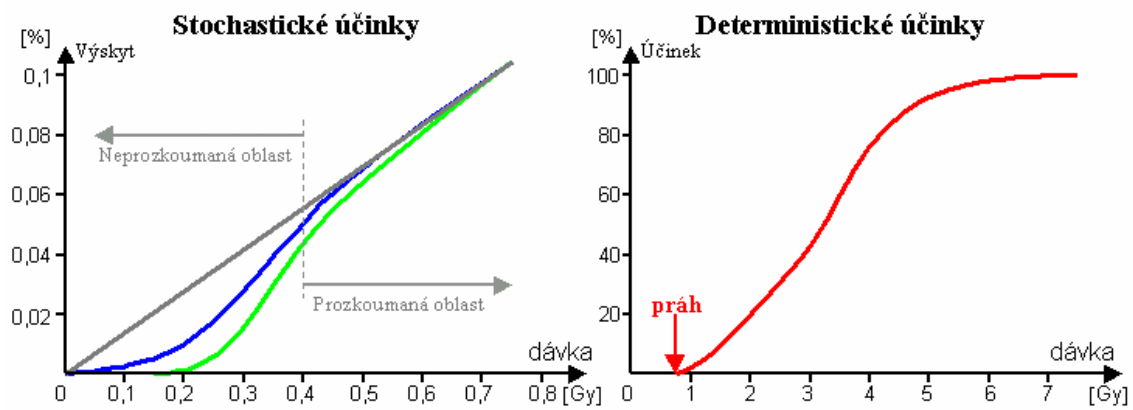
(7)

*Příloha 9 - Graf o počtu ozářených osob po nehodě v Goiânii*



*Graf 4 - Počet ozářených osob a jejich stav po nehodě v Goiânii v závislosti na dávce (4).*

*Příloha 10 – Graf deterministických a stochastických účinků*



*Graf 5 - Deterministické a stochastické účinky (19).*

***Příloha 11 - Rozdělení závažnosti průběhu akutní nemoci z ozáření***

*Tabulka 6 - Rozdělení závažnosti průběhu akutní nemoci z ozáření*

<b>Stupeň závažnosti</b>	<b>Dávka (<math>\pm 30\%</math>) Gy</b>	<b>Klinická forma</b>	<b>Prognóza</b>
lehký	1-2	dřeňová	zcela příznivá
střední	2-4		příznivá
těžký	4-6		poměrně příznivá
velmi těžký	6-10		poměrně nepříznivá
	10-80	střevní	zcela nepříznivá
	80	neuropsychická	

(7)

## *Příloha 12 – Dotazník*

1. Jaderné zbraně vlastní:
  - a. Česká republika, USA, Norsko
  - b. Pákistán, Severní Korea, USA, Francie, Čínská lidová republika**
  - c. Irán, Irák, Pákistán, Polsko
2. Jaké tři typy ionizujícího záření znáte?
  - a. alfa, beta, gama**
  - b. 1, 2, 3
  - c. a, b, c
3. Zdroje ionizujícího záření využíváme:
  - a. nikde se nevyužívají, jsou škodlivé
  - b. v lékařství, průmyslu, jaderných elektrárnách, výzkumných ústavech, zemědělství atd.**
  - c. pouze v elektrárnách a v lékařství
4. Termín „špinavá bomba“ označuje:
  - a. trhavinu, která nám po výbuchu znečistí území
  - b. neumytou trhavinu
  - c. zbraň, která způsobuje zamoření rozmetáním radioaktivních látek klasickou výbušninou**
5. Vhodné stínění pro záření gama je:
  - a. umělá hmota
  - b. stačí oblečení
  - c. olovo a beton**
6. Zkratka SÚJB označuje:
  - a. Státní úřad pro jadernou bezpečnost**
  - b. Státní údaje o jaderné bombě
  - c. Síra, uran, jód a bór
7. Defektoskop je:

- a. **přístroj využívaný v průmyslu ke kontrole trhlin a může mít radioaktivní zářič**
- b. přístroj využívaný v průmyslu ke kontrole trhlin a je pouze ultrazvukový
- c. využívají ho pouze vojáci a v průmyslu se nevyužívá

8. Atomový zákon :

- a. pojednává o základní částici běžné hmoty o jejich vlastnostech a složení atd.
- b. **upravuje mírové využívání jaderné energie a ionizujícího záření**
- c. neexistuje

9. V lékařství u nás se využívají nejčastěji zářiče:

- a.  $^{14}\text{C}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{90}\text{Y}$
- b.  $^{95}\text{Zr}+\text{Nb}$ ,  $^{140}\text{Ba}+\text{La}$
- c.  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$

10. Zdroje ionizujícího záření se mohou také využívat v zemědělství k:

- a. v zemědělství se nevyužívají, potom bychom mohli být ozáření
- b. **hubení hmyzu, dezinfekce kalů, šlechtění rostlin, sterilizace**
- c. pouze do strojů

## Příloha 13 - Přehled české legislativy

Tabulka 7 - Přehled české legislativy

Zákon, vyhláška	O čem pojednává
"Atomový zákon" zákon č. 18/1997 a o změně a doplnění některých zákonů	Základní legislativní rámec: zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření
Vyhláška č.184/1997 Sb., novelizována vyhláškou SÚJB č.307/2002	O požadavcích na zajištění radiační ochrany <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Drobné zdroje</li> <li>2) Jednoduché zdroje (rtg zařízení)</li> <li>3) Významné zdroje (defektoskopy a ozařovače)</li> <li>4) Velmi významné zdroje (průmyslové ozařovače)</li> </ol>
Vyhláška SÚJB č. 144/1997 a o změně a doplnění některých zákonů	o fyzické ochraně jaderných materiálů a jaderných zařízení a o jejich zařazování do jednotlivých kategorií
Vyhláška SÚJB č. 146/1997 Novela vyhlášky č. 315/2002 Sb.	stanovující 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
Vyhláška SÚJB č. 214/1997	o zabezpečování jakosti při činnostech souvisejících s využíváním jaderné energie a činnostech vedoucích k ozáření a o stanovení kritérií pro zařazení a rozdělení vybraných zařízení do bezpečnostních tříd
Vyhláška SÚJB č. 215/1997	o kritériích na umístování jaderných zařízení a velmi významných zdrojů ionizujícího záření.
Vyhláška SÚJB č. 195/1999 Sb.	o požadavcích na jaderná zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenosti
Vyhláška SÚJB č. 324/1999 Sb.	kterou se stanoví limity koncentrace a množství jaderného materiálu, na který se nevztahují ustanovení o jaderných škodách
Vyhláška SÚJB č. 185/2003 Sb. (ruší vyhlášku č. 196/1999 Sb.)	o vyřazování jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie z provozu
Vyhláška SÚJB č. 179/2002 Sb. (ruší vyhlášku č 147/1997 Sb.)	kterou se stanoví seznam vybraných položek a položek dvojího použití v jaderné oblasti

Vyhláška SÚJB č. 317/2002 Sb.	o typovém schvalování obalových souborů pro přepravu, skladování a ukládání jaderných materiálů a radioaktivních látek, o typovém schvalování zdrojů ionizujícího záření a o přepravě jaderných materiálů a určených radioaktivních látek
Vyhláška SÚJB č. 318/2002 Sb. (ruší vyhlášku č. 219/1997 Sb.)	o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu
Vyhláška SÚJB č. 309/2005 Sb.	O zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení.

(6, 20)



## ***Příloha 14 - Přehled norem, směrnic a nařízení***

*Tabulka 8 - Přehled norem, směrnic a nařízení*

<b>Směrnice, ČSN, nařízení</b>	<b>O čem pojednává</b>
Směrnice 92/3/Euratom	zavádí systém dozoru nad přepravou radioaktivního odpadu a jeho kontroly, který využívá určených příslušných orgánů v jednotlivých členských státech
Směrnice 87/600/Euratom	o opatřeních zaměřených na včasnou výměnu informací v případě mimořádné radiační situace.
Směrnice pro vytváření a aktualizaci definice základního ohrožení	hodnotí stránky bezpečnostní zranitelnosti jaderných zařízení, pojednává také o ochraně před akty sabotáže
Směrnice pro vlastní posouzení vnitřní a vnější zranitelnosti jaderných zařízení	hodnotí stránky bezpečnostní zranitelnosti jaderných zařízení, pojednává také o ochraně před akty sabotáže
ČSN 01 8015	Označení zdroje radioaktivního záření
ČSN 40 4302	Klasifikační požadavky na uzavřené zdroje ionizujícího záření
ČSN 25 9105	Klasifikační požadavky na expoziční kryty
Nařízení č. 171/1992 Sb	Stanoví ukazatele přípustného stupně znečištění vod

(6, 20)