

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta

MÍROVÉ A MOŽNÉ TERORISTICKÉ ZNEUŽITÍ SMOLINCE

bakalářská práce

Autor práce: Romana LOŠKOVÁ
Studijní program: Ochrana obyvatelstva
Studijní obor: Ochrana obyvatelstva se zaměřením na chemické, biologické,
radiologické a jaderné noxy

Vedoucí práce: doc. Dr.rer.nat. Friedo ZÖLZER
Datum odevzdání práce: 4. května 2012

ABSTRAKT

Tato práce se nazývá *Mírové a možné teroristické zneužití smolince* a jak už název napovídá, zabývá se problematikou smolince a jeho využití v praxi. V úvodu práce byla rozebrána historie od počátku těžby smolince v 16. století přes objev radioaktivity po současný stav a dále používání smolince i jeho jednotlivých prvků v různých mírových oblastech např. výzkumu, průmyslu ale třeba i lékařství.

Prvním cílem této práce bylo vypracovat ucelený souhrn současného mírového využívání smolince. Toho jsem docílila díky shromáždění dostupných materiálů, odborné literatury i webových stránek.

Druhým cílem bylo vyhodnotit hrozbu teroristického využití smolince. K tomuto cíli jsem provedla studium a analýzu aktuálních právních norem, vztahujících se k radioaktivním látkám a nakládání s nimi, a také dokumentů a studií zabývajících se problematikou špinavé bomby. Dále jsem na příkladu předvedla, jak by vypadalo možné teroristické zneužití smolince ve formě právě zmíněné špinavé bomby a na základě tohoto příkladu jsem vyhodnotila možné riziko.

ABSTRACT

Peaceful Use and Possible Terroristic Abuse of Uraninite

This thesis is called Peaceful Use and Possible Terroristic Abuse of Uraninite and as the title itself indicates it deals with the issues of uraninite and its practical application. The introduction of the thesis analyses the history of uraninite from its early extraction in the 16th century, via discovery of radioactivity to the present situation, the use of uraninite and its individual elements in various peaceful spheres, e.g. in research, industry, but also in medicine.

The first aim of the thesis was to elaborate a comprehensive summary of present peaceful use of uraninite. I have managed that thanks to collection of available materials, technical literature and websites.

The other aim was to evaluate the threats of terroristic abuse of uraninite. I performed studies and analysis of current legal standards related to radioactive substances and their handling, as well as documents and studies dealing with the dirty bomb issues to reach the goal. I illustrated on an example what possible terroristic abuse of uraninite in the form of the above mentioned dirty bomb might look like, and evaluated the possible risk upon the example.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou 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 bakalářské práce, a to – v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou – elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 4.května 2012

Romana Lošková

Poděkování

Děkuji panu doc. Dr.rer.nat. Friedovi Zölzerovi za čas, rady a odborné vedení a dále děkuji panu Ing. Zdeňku Prouzovi CSc. za pomoc a ochotu při zpracování této bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	8
1 SOUČASNÝ STAV	9
1.1 Smolinec.....	9
1.2 Smolinec a historie.....	10
1.2.1 Manželé Curierovi.....	11
1.2.2 Jaderné zbraně.....	13
1.3 Mírové využití smolince.....	15
1.3.1 Jaderná paliva.....	16
1.3.2 Lékařství.....	20
1.3.2.1 Radiologie.....	20
1.3.3 Průmysl.....	22
1.3.3.1 Výroba chemického koncentrátu uranu.....	22
1.3.3.2 Letecký průmysl.....	24
1.3.3.3 Barvení skla.....	24
1.3.3.4 Radiační defektoskopie.....	26
1.3.4 Věda, výzkum, školství.....	27
1.4 Možné teroristické zneužití smolince.....	29
1.4.1 Pojem terorismus.....	29
1.4.2 Špinavá bomba.....	30
1.4.2.1 Materiály vhodné pro špinavou bombu.....	31
1.4.2.2 Účinky špinavé bomby.....	32
1.4.3 Legislativa ČR z hlediska teroristického útoku.....	34
1.5 Ionizující záření.....	36
1.5.1 Druhy ionizujícího záření.....	37
2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZA	39
2.1 Cíle práce.....	39
2.2 Hypotéza.....	39
3 METODIKA	40

4	VÝSLEDKY	41
4.1	Příklady použití smolince jako špinavé bomby.....	41
4.2	Test špinavé bomby se smolincem – Vnitřní ozáření.....	42
4.3	Test špinavé bomby se smolincem – Zevní ozáření.....	44
5	DISKUZE	46
5.1	Simulovaný útok špinavou bombou.....	46
5.2	Srovnání.....	48
6	ZÁVĚR	51
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	53
8	KLÍČOVÁ SLOVA	61
9	PŘÍLOHY	62

ÚVOD

V současnosti není použití smolince jako takového příliš rozšířené. Avšak v období, kdy Marie Curie Skłodowska spolu s manželem Pierrem Curiem objevili v českém smolinci z Jáchymova radium, chtěl každý vědec zkoumající radioaktivitu prvků, mít alespoň malý kousek „kamene smůly“, jak byla tato hornina horníky v minulosti nazývána.

Hlavním předmětem mé práce, bylo zjistit možné využití smolince a některých jeho základních prvků, pro mírové účely a také míru rizika zneužití tohoto nerostu při teroristických útocích.

Hornina smolincec, neboli uraninit, je jednou z nejdůležitějších rud pro získávání prvků uranu a radia a ve světě nachází uplatnění především skrze tyto prvky. Jeho hlavní předností v dnešní době je využití zejména v oblasti výroby jaderné energie a to ve formě palivových článků pro atomové reaktory. Ve své bakalářské práci bych se ráda tomuto tématu věnovala podrobněji. Další oblast, které budu přikládat větší pozornost, se zabývá lékařstvím, konkrétněji radiologií. Využití smolince v různých odvětvích průmyslu a oblastech vědy, výzkumu a školství budou shrnuty v závěrečných kapitolách mírového použití tohoto nerostu.

Podstatnou kapitolou této práce je možné teroristické zneužití smolince ve formě špinavé bomby. V rámci současné války proti terorismu je jednou z nejrizikovějších zbraní, kterou by mohli teroristé reálně použít, právě špinavá bomba. Důvodem této volby je především její konstrukční jednoduchost, nízké náklady a značná účinnost. Terorismus usiluje o určité politické či náboženské cíle a volí v první řadě násilné metody k jejich dosažení. Patří dnes k pojmům, které se objevují každý den v masmédiích a je hodnocen jako zásadní mezinárodní bezpečnostní problém.

Ráda bych tedy v této práci zhodnotila výši rizika možného sestrojení špinavé bomby za použití smolince, coby radioaktivního materiálu a to teroristickými skupinami.

Toto téma jsem si vybrala především proto, že mě smolincec vždy zajímal. Už jen z toho důvodu, že jako Češka jsem velmi hrdá na to, že zrovna v našem jáchymovském smolinci, bylo objeveno jak radium tak polonium.

1 SOUČASNÝ STAV

1.1 Smolinec

Smolinec jinak zvaný uraninit je svou chemickou podstatou oxid urančitý UO_2 . V přírodě se uraninity téměř vždy nacházejí jako směsi oxidu uranitého UO_2 a oxidu uranového UO_3 , vždy také obsahují příměs thoria, vzácných zemin a díky radioaktivnímu rozpadu bývá přítomno i olovo ^{206}Pb a ^{207}Pb a další produkty rozpadu uranu, mj. radium a polonium. Co se složení týče, je smolinec tvořen dvěma prvky, uranem (86,86%) a kyslíkem (13,14%). Smolinec je rozpustný v HNO_3 a H_2SO_4 , méně pak v HCl . Taví se pouze na okrajích zrn.¹ V České republice se také nazývá smolka, nasturan nebo uranin.

Uraninit je černý až hnědočerný, polokovově až smolně lesklý, neprůhledný, má lasturnatý lom. Tvoří celistvé či zrnité žilky a ledvinovité agregáty, vzácně též dobře omezené krystaly tvaru krychle. Často se vyskytuje v podobě zemitých nesoudržných agregátů (tzv. uranová čern).²

Symetrie krystalu je kubická (oddělení hexaoktaedrické). Struktura uranu s U^{+4} je (na obrázku č. 1, většinou je ale komplikovanější a velmi často postižena metamiktní přeměnou (metamiktní minerály, tj. minerály, u kterých došlo vlivem vlastního radioaktivního záření k rozpadu molekulové mřížky). Mřížové parametry jsou: $a = 5,4682$; $Z = 4$.³

Tvrдость smolince je udávána hodnotou $T = 5-6$ (v závislosti na formě – zemité agregáty kolem 1), hustotou $H = 7,5- 9,7$ (hustota klesá se zvyšujícím se oxidačním stupněm U). Je silně radioaktivní, převládá izotop ^{238}U , zastoupení ^{235}U je asi 0,7%.

Uraninit je typickým minerálem hydrotermálních žilných ložisek. Vyskytuje se v asociaci s karbonáty, tmavým fluoritem, pyritem aj. Tyto ložiska můžeme na území ČR nalézt v Příbrami, Rožínce, Bukově). Jinou formaci s uraninitem jsou hydrotermální žilná ložiska „pětiprvkové fomace“ (Jáchymov, Zálesí u Javorníka). Ložiskový význam

¹ ĎUDA, R., REJL, L., SLIVKA, D. *Minerály*. české vyd. Praha: AVENTINUM, 1997. 520 s. (Velký průvodce.) ISBN 80-7151-030-0.

² VELEBIL, D. *Geologie, mineralogie, historie dolování* [online]. Národní muzeum v Praze, mineralogicko-petrologické oddělení. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://www.velebil.net/minerality/uraninit>>.

³ VÁVRA, V., LOSOS, Z. *Multimediální studijní texty z mineralogie* [online]. Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <<http://is.muni.cz/do/1499/el/estud/prif/ps09/9045979/web/kapitola7/5.html>>.

mají akumulace v permských nebo křídových písčítých sedimentech. Při zvětrávání uraninitu vznikají supergenní fáze – uranové slídy (tobernit, autunit, aj.)⁴

Smolinec můžeme nalézt rovněž na Slovensku (Novoveská Huta, Čučma a jiné) ve Spolkové republice Německo (Wittichen, Wölsendorf, Schneeberg, Annaberg, Aue), ve Francii (La Crouzille), v Norsku (Moss), ve Švédsku (Stackebo), ve Spojených státech amerických (Jižní Dakota), v Tanzanii (Uluguru), v Zairu (Shinkolobwe), v Jihoafrické republice (Witwatersrand), v Kanadě, v Austrálii aj.⁵

1.2 Smolinec a historie

V 16. století se v Jáchymově těžila stříbrná ruda. V hloubkách kolem dvě stě padesáti metrů nacházeli horníci neobyčejný černý kámen. Havíři ho v dobách stříbrné slávy proklínali, protože kdykoliv se dostal nějakým způsobem do stříbrné rudy, zkazil celou tavbu. V té době bylo nepsaným pravidlem, že pokud se tato ruda objevila, stříbronosná žíla se po krátké těžbě vytratila. Tento kámen, který byl označován jako „kámen smůly“, se proto začal nazývat smolinec a používal se k zavážení příkopů nebo se odhazoval na haldy. V roce 1789 se podařilo lékárníkovi a profesorovi chemie Martinu Heinrichu Klaprothovi připravit ze smolince uranovou žluť, tedy první laboratorně izolovanou sloučeninu uranu.⁶

V této době byl smolinec, na který se horníci dlouho dívali jako na obtížnou příměs, těžen jen přidruženě a občas přenecháván chemickým továrnám, sklárnám a porcelánkám. Ty z něho podle návodu M. H. Klaprotha vyráběly barvy pro dražší sklo a porcelán.⁷

V roce 1855 byla v Jáchymově dokončena „továrna“ na výrobu patentovaných uranových barev. Vzniklo tak středisko, které jako jediné na světě tyto barvy vyrábělo nepřetržitě po celou druhou polovinu 19. století.⁸ Sklo, které se barvilo uranem ze

⁴ VÁVRA, V., LOSOS, Z. *Multimediální studijní texty z mineralogie* [online]. Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity. [cit. 2012-04-09]. Dostupné :<<http://is.muni.cz/do/1499/el/estud/prif/ps09/9045979/web/kapitola7/5.html>>.

⁵ ĎUDA, R., REJL, L., SLIVKA, D. *Minerály*. české vyd. Praha: AVENTINUM, 1997. 520 s. (Velký průvodce.) ISBN 80-7151-030-0.

⁶ Čistý uran se podařilo získat až v roce 1841 Francouzi Eugene-Melchior Peligotovi

⁷ SEIDLEROVÁ, I., SEIDLER, J. *Jáchymovská uranová ruda a výzkum radioaktivity na přelomu 19. a 20. století*. Praha: Společnost pro dějiny věd a techniky, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7037-002-5.

⁸ Tamtéž.

smolince, začalo být velmi oblíbené, zejména v Indii a v zemích Dálného východu. Jáchymovské doly dodávaly barvy do mnoha evropských sklářských hutí.

Počáteční stádium zpracování smolince bylo v podstatě jednoduché: po rozdrčení a vytrídění hluché skály se rozpustil v kyselině sírové. Kysličník uranu, v něm obsažený, přešel do roztoku, zatímco všechny přímíšeniny zůstaly jako nerozpustný zbytek na dně nádob. Byl to bezcenný odpad modrošedé barvy.⁹ Vyplňovaly se jím nepotřebné příkopy, spravovaly cesty a jeden čas jej házeli i do městského rybníka. Od této činnosti byli lidé nuceni brzy upustit důsledkem nadměrného úhynu ryb, způsobeným nikoliv ozářením radioaktivními látkami, ale díky samotné chemické podstatě těchto zbytků.

Ve druhé polovině 19. století se poněkud rozšířilo využití uranu. Některé soli uranu byly používány jako katalyzátory při chemických reakcích. Využívání solí uranu v pozitivním fotografickém procesu, k tzv. „barvení na hnědo“, bylo rozšířeno hlavně v 60. letech 19. století¹⁰.

V roce 1896 objevil A. H. Becquerel radioaktivitu uranu. Zjistil, že uranová sůl září, i když není předtím osvětlena a intenzita záření se nezeslabuje. (*Více o radioaktivitě v kapitole 1.5*)

1.2.1 Manželé Curierovi

O dva roky později (v roce 1898) objevila Marie Curie Skłodovská spolu s manželem Pierrem Curie v jáchymovském smolinci nový radioaktivní prvek. Svůj nový objev nazvala tato významná chemička po své vlasti – polonium. Ještě téhož roku objevili manželé Curierovi další prvek, který nazvali radium podle latinského slova radius, tedy paprsek. Marie zkusila proměřit záření různých uranových a thorových rud a srovnat je se zářením čistého kovového uranu. Zdánlivě nesmyslný nápad, jelikož v rudách byl uran vždy sloučen s jinými prvky. Přesto, když měřila vzorek rozpráškované rudy a vzorek čistého práškového uranu, který vážil stejně, ruda zářila silněji než čistý uran. Podle jejích měření byl smolinec čtyřikrát radioaktivnější než čistý kysličník uranu. A to složení tohoto nerostu bylo v té době přesně známo. Slavná

⁹ BĚHOUNEK, F. *Atomy vládnu: člověk v atomovém věku*. 1. vyd. Praha: PRESSFOTO, 1972. 270 s.

¹⁰ Nestalo se však nikdy obecným.

Polka z dané situace usoudila, že smolinec musí obsahovat nový prvek, ale jen ve velice nepatrném množství, když až dosud unikal pozornosti vědců a přesné chemické analýze. Pomocí vlastní metody založené na využití radioaktivity¹¹ postupně zjistila, že se radioaktivita převážně zkoncentrovala do dvou chemických složek smolince. To manželům Curieovým dokázalo, že existují dva různé prvky. Pro potvrzení této teorie usoudili, že bude nezbytná izolace radia. Marie Curie tak strávila 45 měsíců ve své laboratoři, která svým vzhledem připomínala spíše kůlnu a byla i na tehdejší poměry nedostačující. O to obdivuhodnější bylo, že za stávajících podmínek po velmi usilovné práci, připravila z přibližně tuny smolince, jednu osminu gramu radia, ve formě bílého prášku, který se brzy začal barvit účinkem vlastního záření do hněda. Jak se záhy ukázalo, nejednalo se o radium v čisté formě, ale sloučeninu radia s chlórem neboli chlorid radnatý. Přesto optický spektroskop nezvratně dokázal přítomnost nového, dosud neznámého prvku. Z chemické podstaty se podobal barytu, ale jeho radioaktivita byla milionkrát vyšší než radioaktivita uranu. Radium v samostatné čisté podobě se Marii Curie podařilo vyrobit až roku 1910.

O vedlejších účincích radioaktivních paprsků a jejich negativním dopadu na lidský organismus, se manželé Curiovi a jejich spolupracovníci přesvědčili doslova na vlastní kůži. Pierr Curie nosil v kapse u vesty kapsli s koncentrovanou radiovou solí. Po určitém čase zjistil, že má v těchto místech kůži popálenou. Navíc všichni, kteří přicházeli s radiem do styku, měli popálené konečky prstů. Velkým problémem bylo špatné hojení ran, což si vyžádalo pozornost v lékařských kruzích. Začalo probíhat testování v oblasti vlivu radioaktivních paprsků na živé buňky. Vědci záhy zjistili, že buňky rakovinového nádoru jsou senzitivnější než buňky zdravé tkáně. Zjištěním této skutečnosti tak přišly na scénu první radiové zářiče pro léčbu rakoviny. Jejich původní podobu lze přirovnat ke kapslím, avšak později se ujaly platiniridiové jehly nebo trubičky, plněné síranem radnatým.¹²

Samotné tyto objevy vzbudily zájem nejen u veřejnosti, ale především ve vědeckých okruzích. Začala se rozbíhat poptávka po radioaktivních materiálech.

¹¹ Obvyklými pochody chemické analýzy oddělila všechny látky, z nichž se skládá smolinec a pak zkoumala radioaktivitu jednotlivých složek.

¹² BĚHOUNEK, F. *Atomy vládnou: člověk v atomovém věku*. 1. vyd. Praha: PRESSFOTO, 1972. 270 s.

Až do dvacátých let byl znám jen léčivý účinek většího množství radia. Že i poměrně velmi malá množství řádu několika miliontin gramu, uložená po dlouhou dobu v lidských kostech, mohou přivodit smrt člověka, o tom se celý svět dozvěděl až z Belgie. V továrně, kde se „radioaktivní barvou“ malovaly číselníky a ručičky budíků a hodinek, se udělalo pěti ze sedmnácti malířek špatně. „Radioaktivní barvu“ tvořila směs miligramových množství radiové soli se sirníkem zinečnatým. Malířky si pro lepší ostrost upravovaly hrot štětce namočený v této barvě, vlhčením v ústech. Tím pokaždé přicházelo určité nepatrné množství radia do jejich těla. Nakonec zemřelo všech sedmnáct malířek a to za zcela stejných příznaků. Zjistilo se, že v letech 1917 – 1924 onemocnělo jen ve Francii osm set malířek. Obdobnou situaci bychom mohli nalézt i v dalších zemích, zvláště pak v USA. Na základě těchto statistik se chemici a fyzikové rozhodli zjistit, kolik radia v případech smrti v orgánech zůstalo. K jejich velkému překvapení se jednalo pouze o několik mikrogramů. Byl to první důkaz skutečnosti, co dokáží malé dávky těžkého záření alfa, jestliže působí po delší čas.¹³

Za zmínku stojí případ amerického kongresmana M. Byerse. Tento politik, který pravidelně pil radioaktivní vodu, prodávanou jako „kapesní Jáchymov“, zemřel do několika měsíců. Pitva poté prokázala značné množství radia v kostech. Na základě těchto poznatků schválili na nejbližším zasedání Kongresu zákon, jenž zcela „zakazoval prodej léků a léčivých prostředků, obsahující jakékoliv množství radia, nebo jakéhokoliv jiného radioaktivního prvku“.

Za druhé světové války se pro uran, tedy prvek získávaný ze smolince, našlo využití ve vojenském odvětví. Základem všeho bylo vědomí, že každý rozštěpený atom uranu uvolní dva až tři neutrony a tím se vyvolá řetězová štěpná reakce atomových jader uranu, při níž se uvolní obrovské množství energie. Dosáhnout těchto výsledků bylo ale složitější než se čekalo.

1.2.2 Jaderné zbraně

V přírodě se vyskytuje uran 238 spolu s uranem 234 a uranem 235. Pokusy ukázaly, že štěpení uranu a uvolňování energie z jeho atomového jádra za pomoci

¹³ BĚHOUNEK, F. *Atomy vládnu: člověk v atomovém věku*. 1. vyd. Praha: PRESSFOTO, 1972. 270 s.

neutronů, se téměř výhradně odehrává na lehčím uranu 235. Toho je ale v přírodním uranu tak málo, že na 140 atomů těžšího uranu 238 připadá jen jediný atom uranu 235.¹⁴

Pro vědce tedy nastal problém, kde sehnat poměrně velké množství uranu 235. Rovněž došli k poznatku, že z rozštěpeného jádra vyletí uvolněné neutrony s vysokou rychlostí 20 až 30 tisíc kilometrů za vteřinu a energií kolem 200 MeV. Pro další štěpení tak bylo potřeba neutrony zpomalit, jelikož samotné štěpení provádějí téměř výhradně pomalé neutrony, pohybující se rychlostí jen 2280 metrů za vteřinu. Němečtí vědci se zaměřili na tzv. „těžkou vodu“ obsahující místo lehkého vodíku „těžký“ vodík, neboli deuterium.¹⁵

Naopak vědci v USA, kde řídil experimenty tohoto druhu laureát Nobelovy ceny, italský fyzik Enrico Fermi, obrátili svou pozornost ke grafitu. Grafit však musel být neobyčejně čistý, aby nepohlcoval víc neutronů, než bylo pro řetězovou štěpnou reakci únosné. Přimíšené znečištění, které jsou hlavním lapačem neutronů, nesmí váhově přesahovat jednu desetitisícinu z 1 % váhy grafitu. Totéž platí i pro přírodní uran. Jeho jádro, v případě že je tento uran 238 vystaven účinku neutronů všech rychlostí, zachycuje některé z nich a mění se na radioaktivní uran 239. Na rozdíl od uranu 238 se však tento umělý uran velmi rychle mění na dceřinný prvek, tzv. „transuran“ neptunium. Neptunium s atomem těžkým 239 jednotek vyzařuje částice beta a mění se za necelý týden v nový transuran, také radioaktivní, plutonium 239. To ochotně štěpí neutrony všech rychlostí a uvolňuje energii svého atomového jádra. Naskytly se tedy dvě možnosti k získání jaderné výbušniny. Buď použít čistý uran 235, který se z přírodního uranu získával velmi složitým a nákladným způsobem, nebo čisté plutonium 239, které bylo možno vyrobit jen ozařováním uranu neutrony.

Nakonec se v USA vyrobily dva typy jaderných bomb. Bomba „gun-type“ obsahovala dvě na sobě nezávislá podkritická množství obohaceného uranu 235. Detonaci bomby předcházelo vstřelení uranového projektilu do uranového terče, při kterém vzniklo nadkritické množství uranu 235. Druhým typem byla tzv. implozivní bomba, kterou tvořila podkritická plutoniová nálož obsahující plutonium 239, která byla

¹⁴ BĚHOUNEK, F. *Atomy vládnou: člověk v atomovém věku*. 1. vyd. Praha: PRESSFOTO, 1972. 270 s.

¹⁵ Jediná výrobní těžké vody byla v norské osadě Rjukanu, v tehdejší době obsazená Němci.

při výbuchu stlačena takovým způsobem, aby vzniklo nadkritické množství.¹⁶ Jako první byla použita implozivní bomba a to při úplně prvním testu jaderné zbraně nazvaném Trinity, 16. července 1945 v Novém Mexiku. Byl to výsledek vojenského projektu Manhattan, který probíhal v laboratořích v Los Alamos pod vedením Roberta Jakoba Oppenheimera. Exploze Trinity byla ekvivalentní výbuchu 20 kilotun trinitrotoluenu. Plutoniová jaderná zbraň, s pojmenováním Fat Man, byla rovněž použita 9. srpna 1945 při svržení na japonské město Nagasaki. Tato bomba uvolnila při výbuchu energii odpovídající výbuchu 21 kilotun TNT. O tři dny dříve, tedy 6. srpna 1945, svrhli američané na město Hirošima jadernou pumu Little Boy, která obsahovala uran 235 a jejíž uvolněná energie odpovídala 15 kilotunám TNT. Odborníci si dokonce byli natolik jisti svým úspěchem, že tuto zbraň před Hirošimou ani nevyzkoušeli. Těmito dvěma bombami byla nakonec ukončena druhá světová válka.

V Sovětském svazu probíhal vývoj atomové zbraně s několikaletým zpožděním. Nicméně už v průběhu války se jej snažili dohánět za pomoci rozvědky, jejíž agenti dostávali informace od levicově zaměřených lidí z Los Alamos a dalších tajných laboratoří v USA.

Poznání, že štěpení atomového jádra uranu může být prostředkem ničivé síly, vedlo hlavně po druhé světové válce k výrobě obrovského arzenálu jaderných zbraní. Svět se rozdělil na socialistický a kapitalistický tábor. Jedna strana se snažila vyrobit silnější a ničivější pumy než strana druhá. Surovinou se stal i československý uran. První sovětská jaderná bomba byla vyrobena z jáchymovského smolince.

(Další využití smolince, popř. uranu či radia v následujících kapitolách)

1.3 Mírové využití smolince

V této práci uvádím i mírové využívání uranu a radia, jakožto prvků, které se ze smolince získávají. Přesto je zde třeba zmínit fakt, že rudou ze které se dá získat uran a radium může být například i coffinit, takže uraninit není jediným nerostem využívaným v tomto směru.¹⁷

¹⁶ DUŠEK, P., PÍŠALA, J. *Jaderné zbraně*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2006. 88 s. ISBN 80-251-0817-1.

¹⁷ ANTIŠKOLA.EU Dolní Rožínka [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné:< http://www.antiskola.eu/referaty_cz>.

1.3.1 Jaderná paliva

Mezi základní typy jaderných paliv je důležité uvést kovový uran, kterému bychom mohli, co se jaderných paliv týče, určit prioritu. Dále rozeznáváme keramická paliva, mezi jejichž zástupce patří oxidy, karbidy a nitridy. Sloučeniny keramik a kovů se nazývají kermity.¹⁸

Tab. č. 1: Základní typy jaderných paliv

Složení	Geometrický tvar	Typ reaktoru
Kovový uran	proutky, tyče	HWR
Slitiny U + Mo	desky	FBR
Slitiny U + Zr + Nb	desky	LWR
Kermetu U + UO₂	desky	
Kermety U + UC	desky	
UO₂ (přírodní uran)	tablety	HWR
UO₂ (ochuzený uran)	tablety, kuličky	FBR – množivá zóna
UO₂ (3–5 % ²³⁵U)	tablety, kuličky	LWR
UO₂ (20–30 % ²³⁵U)	tablety, kuličky	FBR, MTR
UO₂ + 1–4 % PuO₂	tablety, kuličky	HWR, LWR
UO₂ + 20–30 % PuO₂	tablety, kuličky	HTGR
UC + PuC, UN + PuN	tablety, kuličky	HTGR
ThO₂ + 10–15 % UO₂ (²³³U, ²³⁵U)	povlékané kuličky	HTGR
ThO₂, UO₂ (93 % ²³⁵U)	povlékané kuličky	HTGR
ThO₂, UC₂ (93 % ²³⁵U)	povlékané kuličky	HTGR
71,7 % ⁷LiF + 16 % BeF₂ + 12 % ThF₄ + 0,3 % ²³³UF₄	-	MSBR

¹⁸ ŠTAMBERG, K. *Technologie jaderných paliv I*. Praha: České vysoké učení technické, 1994. 225 s. ISBN 8001011682.

Vysvětlení použitých zkratk: HWR – těžkovodní reaktor (Heavy Water Reactor)

LWR – lehkododní reaktor (Light Water Reactor)

FBR – rychlý množivý reaktor (Fast Breeder Reactor)

HTGR – vysokoteplotní plynem chlazený reaktor (High Temperature Gas-Cooled Reactor)

MTR – materiálový reaktor (Material Testing Reactor)

MSBR – množivý reaktor s palivem ve formě roztavených solí (Molten Salts Breeder Reactor)

Výroba paliva na bázi oxidu uraničitého

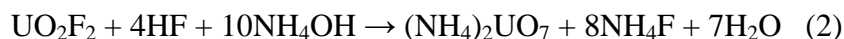
Práškový oxid uraničitý lze vyrábět třemi možnými způsoby, které se od sebe odlišují podle výchozí suroviny. U prvního způsobu je určující surovinou roztok dusičnanu uranulu získaného rafinací žlutého koláče.

Žlutý koláč jehož chemický název je diuranát amonný $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, je uranový koncentrát, vznikající mletím a drcením vytěžené uranové rudy. Uranové sloučeniny se pak vymývají kyselým nebo zásaditým loužením. Žlutý koláč pak vzniká z tohoto roztoku sorpčním zachytáváním na iontových sítích (ionexech), z nichž se chemicky vymývá. Filtrací a sušením se získává konečný produkt. Celý tento proces je vcelku náročný. Na jeden kilogram uranu se spotřebuje přibližně 13 kg Na_2SO_4 , 3,5 kg H_2SO_4 , 2 kg NH_3 a 1 kg mlecích koulí. Tento stupeň úpravy zvyšuje koncentraci uranu z 0,3% (3 kg uranu na 1 t rudy) na 65% (650 kg uranu na 1 t diuranát amonného). V České republice se uran upravuje do této fáze, další procesy se u nás již neprovádějí (*podrobnější popis viz. kapitola 1.3.3.1*).

Ve druhém případě se oxid uraničitý připravuje rekonverzí obohaceného fluoridu uranového¹⁹ (ten vzniká oxidací fluoridu uraničitého UF_4). Pro tento způsob byly vypracovány nebo alespoň v poloprovozním měřítku vyzkoušeny následující metody :

První metoda se zabývá hydrolyzou fluoridu uranového (1), následném vysrážení hydroxidem amonným (2), kalcinací (3) a redukcí (4).

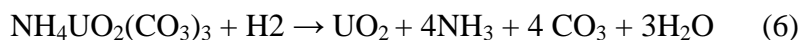
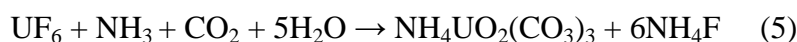
¹⁹ ŠTAMBERG, K. *Technologie jaderných paliv I*. Praha: České vysoké učení technické, 1994. 225 s. ISBN 8001011682.



Při hydrolýze fluoridu uranového se uvolňuje přibližně $200 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ U}$, jedná se tedy exotermní reakci. Navíc při ní vzniká i fluorovodík, z čehož vyplývá, že prostředí v reaktoru, ve kterém reakce probíhá, je značně agresivní. Z tohoto důvodu se stěny chlazených míchaných reaktorů vyrábějí z odolných materiálů, jimiž jsou například platina, stříbro nebo olovo. Při reakci (2) vzniká diuranan amonný, který se po filtraci kalcinuje při teplotě 900°C na uraninit a následně redukuje vodíkem při teplotě $500 - 800^\circ\text{C}$.

Této metody se využívalo především v minulosti. Její velkou nevýhodou je několikastupňovost celého procesu a značné ztráty obohaceného uranu. Také proto je dnes nahrazována dvěma následujícími způsoby.²⁰

Při druhé se dají chemické reakce vyjádřit takto:



Reakce (5) probíhá v demineralizované vodě, do které je zaváděna směs plynného fluoridu uranového, oxidu uhličitého a amoniaku. Produktem tohoto procesu je sraženina uhličitanu uranylo-amonného ($\text{NH}_4\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2$), po odfiltrování vedená na kalcinaci a redukcii. Ty probíhají ve fluidní peci za teploty $500 - 600^\circ\text{C}$ v atmosféře vodíku. Výsledný produkt, oxid uraničitý, je ve formě tzv. tekoucího prášku a je připravený k lisování tablet.

Poslední způsob je charakterizován těmito reakcemi:



²⁰ Tamtéž.



Plynný fluorid uranový je přiváděn do reaktoru (rotační pece). Tam se za teploty 600 – 800°C dostává do kontaktu s vodní parou, z čehož vzniká fluorid uranylu. Fluorid uranylu je redukován na oxid uraničitý díky vodíku, který je dávkován v protiproudu na druhé straně reaktoru. Oxid uraničitý získaný tímto způsobem je velmi jemný, a je tedy důležité ho před operací lisování tablet granulovat.²¹

Poslední část přípravy paliv z oxidu uraničitého je lisování tablet. V případě, že je prášek tekutý, může být tableta lisována bez předchozích úprav. Ovšem pokud prášek vzniká jako produkt prvního nebo třetího způsobu je třeba provést určité úpravy. První z nich je mletí v kulových či tyčových mlýnech. Dochází k namletí prášku, který se smísí s pojivy a mazadly. Pojivo slouží k tvorbě granulátu a mazadla zajišťují snížení tření mezi výliskem a stěnou lisovnice při vlastní operaci lisování tablet. Granulát vzniká v granulátorech (tzv. mísičích), kam přichází prášek po přidání těchto dvou složek. Dalším procesem je proces lisování. Granulát musí být vysušen a proset, aby do tohoto lisování vstupovaly pouze částice o minimální velikosti 0,1mm. Menší částice jsou posílány zpět do předchozí operace mletí. Vylisování jedné tablety trvá přibližně 3 - 4 s. Na tablety působí tlak mezi 100 – 400 MPa, díky čemuž se pórovitost sníží na 40 -50 %. Při lisování tablet z „normálního“ prášku (tzn. produktu prvního nebo třetího způsobu) se musí odstranit organická mazadla a pojiva. Odstranění se docílí žíháním při teplotách 800 – 900°C v atmosféře oxidu uhličitého. Tyto tablety, vzniklé buď z „normálního“ nebo z tekoucího prášku jsou sintrovány při teplotách 1500 – 1700°C. Sintrace je další proces, při kterém dochází k slití jednotlivých částic prášku do sebe, čímž jejich poróznost klesne z 40 - 50% na 4 - 6%. Díky tomu vznikne kompaktní tableta, která je dodávána na broušení. Aby tableta dobře zapadla do povlakové trubky palivového proutku, je nezbytné ji obrousit do vhodného tvaru.²² Schéma obou možností lisování je v přílohách. Pro ilustraci je v přílohách i obrázek používané tablety v JE Temelín.

²¹ ŠTAMBERG, K. *Technologie jaderných paliv I*. Praha: České vysoké učení technické, 1994. 225 s. ISBN 8001011682.

²² ŠTAMBERG, K. *Technologie jaderných paliv I*. Praha: České vysoké učení technické, 1994. 225 s. ISBN 8001011682.

1.3.2 Lékařství

1.3.2.1 Radiologie

Radiologie je lékařský obor využívající ionizujícího záření k určení diagnózy nebo k léčbě nemocného pacienta. Při radiologii se využívá rentgenového záření a nebo ionizujícího záření z uzavřených zářičů.

Uzavřený radionuklidový zářič je takový zářič, jehož úprava, například zapouzdřením nebo ochranným překryvem, zabezpečuje zkouškami ověřenou těsnost. To vylučuje, za předvídatelných podmínek, použití, opotřebování a únik radionuklidů ze zářiče.²³

Do radiologie postupem času přibýly i další metody, které již k diagnostice nevyužívají ionizující záření.²⁴ Rovněž se tento obor začal více rozdělovat na radiodiagnostiku a radioterapii a samotná radioterapie se obecně dělí podle polohy zdroje záření na zevní (externí) radioterapii (teleterapie, TRT, ERT) a brachyterapii (brachyterapie, BRT).²⁵

Brachyterapie

Jedná se o vnitřní radioterapii²⁶, kdy zdroj ionizujícího záření je umístěn uvnitř těla pacienta, buďto v bezprostřední blízkosti cílovému objemu nebo přímo v něm. Charakteristikou pro tuto metodu je koncentrace vysoké dávky záření v místě aplikace s prudkým poklesem do jeho okolí.²⁷ Tento fakt umožňuje lokálně aplikovat větší dávku v kratším čase, proto je tato léčba vhodná pro malé, dobře přístupné a ohraničené nádory.²⁸ Pro brachyterapii se používají různé radionuklidové zdroje, což mohou být

²³ Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z:<www.sujb.cz>.

²⁴ Jedná se o sonografii, využívající ultrazvukové vlnění a magnetickou rezonanci, která užívá elektromagnetického záření v pásmu rozhlasových vln.

²⁵ HYNKOVÁ, L., DOLEŽALOVÁ, H., ŠLAMPA, P. *Radioterapie – učební texty pro studenty 5. roč. LF MU Brno* [online]. Klinika radiační onkologie, LF MU [cit. 2012-04-09]. Dostupné z:<<http://www.mou.cz/radioterapie>>.

²⁶ ROZMAN, J., a kolektiv. *Elektronické přístroje v lékařství*. 1.vyd. Praha: Academia, 2006. 432 s. ISBN 80-200-1308-3.

²⁷ Intenzita záření klesá se čtvercem vzdálenosti.

²⁸ HYNKOVÁ, L., DOLEŽALOVÁ, H., ŠLAMPA, P. *Radioterapie – učební texty pro studenty 5. roč. LF MU Brno* [online]. Klinika radiační onkologie, LF MU [cit. 2012-04-09]. Dostupné z:<<http://www.mou.cz/radioterapie>>.

roztoky či suspenze, tedy zdroje otevřené, nebo zdroje uzavřené, tedy pevné, které se aplikují pomocí k tomu určených přístrojů – postupem zvaným afterloading.²⁹

Do těla pacienta je aplikován uzavřený zdroj záření, který je hermeticky uzavřen v pouzdru. Dříve se do pacienta vkládaly ručně, poté se ale musely zase ručně vyjmout, takže docházelo k značné zátěži ionizujícím zářením personálu.

Hlavním zdrojem se mnoho desetiletí universálně používalo ²²⁶Ra. Díky jeho dlouhému poločasu rozpadu (1620 let) nebylo nutné měnit zdroje, což snižovalo provozní náklady. Radium se rozpadá na radon a je zářičem alfa. Tento rozpad alfa je provázen slabým zářením gama. Při léčbách se využívá záření gama rozpadových produktů radia, především radia B a radia C.

Efektivní energie produkovaného fotonového záření je 0,83 MeV, což odpovídá polovrstvě 14 mm Pb. Používalo se ve formě nerozpustného síranu radnatého, kterým se plnila zvláštní pouzdra, zvaná zářiče nebo radiofory.

Radiofory byly ve třech základních typech:

- 1) radioaktivní jehly³⁰ – s obvyklou délkou od 10 – 60 mm, průměrem 1,5 – 2 mm. Obsahovaly 1, 2, 3 až 5 mg ²²⁶Ra v 1 - 4 celulkách.³¹
- 2) radioaktivní tuby – měly zaoblené konce, délku 12 – 40 mm, průměr 1,5 – 3 mm. Obsahovaly jednu celulku s 5 – 20 mg ²²⁶Ra.
- 3) radioaktivní celulky

Radium ale mělo rovněž své nevýhody, díky nimž se začalo postupně nahrazovat jinými radionuklidy. Protože se pracovalo přímo s aktivními zdroji, docházelo k ozáření zdravotnického týmu. Navíc při jeho použití ve formě síranu radnatého mohlo dojít k poškození pouzdra a do těla pacienta pak vnikal toxický radon.

²⁹ Do předem manuálně zavedených aplikátorů se následně automaticky zavedou zdroje záření.²⁹ HYNKOVÁ, L., DOLEŽALOVÁ, H., ŠLAMPA, P. *Radioterapie – učební texty pro studenty 5. roč. LF MU Brno* [online]. Klinika radiační onkologie, LF MU [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://www.mou.cz/radioterapie>>.

³⁰ 28.9. 2011 se v Praze 4 Sinkulově ulici na dětském hřišti našel radioaktivní váleček, který měl dávkový příkon 150 m Sv/h a odhad aktivity byl asi 9,75 GBq. Jednalo se pravděpodobně o radioaktivní jehlu se zářičem ²²⁶Ra. (STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Záchyt v Praze – Podolí, ze dne 28.9.2011* [online]. Článek [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://www.sujb.cz/aktualne/detail/clanek/zachyt-v-praze-podoli-ze-dne-2892011/>>).

³¹ Celulky byly duté válečky jejichž síla stěny byla většinou 0,2 mm Pt.

V současnosti se v brachyterapii používá především ^{192}Ir , který má poločas rozpadu 74,34 dne s průměrnou energií gama 0,34 MeV, ale třeba také umělý radioizotop kalifornium Cf emitující neutrony vysokých energií, který je používán jen v několika pracovištích na světě, z nichž jedno je Masarykův onkologický ústav v Brně.

1.3.3 Průmysl

Ze smolince vytěžený uran je díky své vysoké hustotě využíván všude tam, kde je potřebná jeho vysoká hmotnost. A to jak z hlediska vyvážení, tak při nutnosti dosáhnout vysoké kinetické energie při malém objemu. Z tohoto důvodu se používá třeba ve zbrojním průmyslu, v letectví, v plachetnicích, ropných vrtech, ve zdravotnictví jako vhodná ochrana před rentgenovým zářením, nebo také na výrobu kontejnerů k transportu radioaktivních zdrojů.

1.3.3.1 Výroba chemického koncentráту uranu

Po vytěžení z dolu je ruda automobily převezena na chemickou úpravnu. Pomocí buldozeru je ruda nahrnována do přijímacího zásobníku a odtud jí šikmý pás transportuje do zásobníku mlýnů. Tady dochází k mletí. V rámci předúpravy uranové rudy se používají dva stupně mletí a dva stupně třídění. Výsledná velikost částic je pak 0,150 mm – max. 5 % a 0,074 mm – min. 70 %.³²

V další části procesu přichází zahušťování vzniklé drtě z původních 1100 g/dm³ na požadovanou hustotu 1500 g/dm³. K zahušťování se používá 5 sedimentačních nádrží typu Dorr s průměrem 24 metrů a objemem 1200 m³. Vyčeřená voda je použita při mletí rudy. Zahušťování probíhá ve dvou stupních. První stupeň probíhá v sedimentačních nádržích Z3 a Z4 a to za přídavku flokulantu a CuSO₄. Druhý stupeň pak probíhá v sedimentační nádrži Z5 po promytí rmutu po alkalickém loužení, kde dochází i k ochlazení tohoto rmutu před sorpcí. Při alkalickém loužení dochází k vyloužení uranu z pevné do kapalné fáze působením sody Na₂CO₃ (koncentrace sody, jako loužícího činidla je 10 g/l) ve formě uranylkarbonátu. Linka alkalického loužení je

³² VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *Výroba chemického koncentráту uranu* [online]. Ostrava: 2008 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/Chemproc/text_2.htm>.

složená z 8 kónických kolon vysokých 21 metrů, které jsou navzájem propojeny kaskádovitými přepady. V těchto kolonách je rmut promícháván vzduchem při teplotě 8 °C po dobu pěti dnů. Výťažnost tohoto procesu dosahuje 90 %.³³

Poté přichází výluh spolu s rmutem na linku alkalické sorpce, kde dochází k sorbci vylouženého uranu z kapalně fáze na ionex³⁴ při protiproudém dávkování ionexu a rmutu. Tato linka se také skládá z 8 kónických kolon o výšce 15 metrů a kaskádovitými přepady. K oddělení kapalně a pevně fáze pak dochází na bubnových sítěch. Míchání se zajišťuje vzduchem při teplotě nepřekračující 45 °C.³⁵

V další fázi nastupuje promytí ionexu na rotačních sítěch, v nichž se odděluje rmut od ionexu. Tento ionex je během eluce (vylouhování) promýván elučním roztokem o teplotě 45 °C, čímž dochází k desorpci uranu. Linka eluce je tvořena dvěma předřadnými kolonami, které slouží jako zásobní kolony pro ionex a dvěma pulzačními kolonami, ve kterých jsou tlakovým vzduchem vytvářeny pulzy.

Nyní přichází na řadu tzv. společné procesy, mezi které patří rozkyselení, vysrážení a promytí uranového koncentrátu. Linka společných procesů obsahuje 4 kónické kolony a zahušťovače. K odstranění karbonátů z eluátu dochází rozkyselením při pH 3 – 4 pomocí H₂SO₄ v první koloně (2 SPK). V dalších dvou kolonách (3 SPK, 4 SPK) se uranový koncentrát předsráží díky zbytkovému čpavku z absorbéru. Ve čtvrté koloně (5 SPK) probíhá při pH 7 – 8 srážení eluátu čpavkem. K sedimentaci sraženého (NH₄)₂U₂O₇ dochází pomocí flokulantu v zhušťovači s tím, že tento sediment (diuranát amonný) je následně čerpán na promytí a pročištění.³⁶

Rafinace, neboli čištění uranového koncentrátu obsahuje tři stupně:³⁷

1. Čpavková rafinace – pomocí čpavku vysrážený U-koncentrát se filtruje na kalolis.³⁸ Zde se také odstraňuje molybden vytvořením komplexu Mo s NH₃.

³³ Tamtéž.

³⁴ Ionex je měnič iontů, je to vysokomolekulární látka s dostatečnou pórovitostí, jejíž základní skelet nese na povrchu náboj.

³⁵ VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *Výroba chemického koncentrátu uranu* [online]. Ostrava: 2008 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/Chemproc/text_2.htm>.

³⁶ Tamtéž.

³⁷ Následující popis je převzat z: VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *Výroba chemického koncentrátu uranu* [online]. Ostrava: 2008 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/Chemproc/text_2.htm>.

³⁸ Kalolis je filtrační lis.

2. Speciální rafinace – U-koncentrát je rozpuštěn díky HNO_3 při pH 2 a nerozpustné látky jsou pak filtrovány na kalolisu. Roztok U-koncentrátu je pak opětovně vysrážen pomocí NH_3 při pH 7.

3. Vodní rafinace – je tvořena filtrací kalolisu a dvěma stupni promytí vysráženého U-koncentrátu důlní vodou. Poté je koncentrát připraven na sušení.

Poslední technologická fáze chemické úpravy uranu obsahuje sušení, odstranění hrubších frakcí a homogenizaci.³⁹ Diuranát amonný je poté vzorkován, vážen a balen. Je skladován a expandován ve 200 litrových ocelových sudech.

1.3.3.2 Letecký průmysl

Právě ze zvýše jmenovaných důvodů jako je vysoká hmotnost a malý objem, našel ochuzený uran⁴⁰ v leteckém průmyslu využití například u letounů Boeing 747, kde je používán jako vyrovnávací závaží na zádi. Každý letoun mající tento typ závaží má na své zádi 400 – 600 kilogramů ochuzeného uranu. Bylo vyrobeno přibližně 600 kusů takovýchto Boeingů.⁴¹ Není to ale jediný typ letadla, kde se ochuzený uran takto využívá. Dalšími letadly jsou i americké letouny McDonnell Douglas DC – 10.

1.3.3.3 Barvení skla

Dříve než došlo k objevu radioaktivity, se uran používal k výrobě barev do skla, keramických glazur a porcelánu. Již od roku 1852 se začalo v Jáchymově s výrobou uranové žluti, tedy diurananu sodného $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$ ve větším měřítku. Od roku 1855 byla pak z důvodu velkého zájmu zbudována továrna na výrobu uranových barviv k. k. Urangelbfabrik, později k. k. Uranfarbenfabrik. Původní produkce 84,6 kg barev v roce 1853 rychle rostla a v roce 1886 dosáhla maxima, což bylo 12 776 kg. Původně se vyráběla pouze uranová žluť, postupně se začala produkovat i pomerančová žluť, amoniaková žluť (diuranan amonný), zlatožluto-červená žluť (diuranan draselný), žlutozelený uranový nitrát a světlá uranová žluť.

³⁹ Homogenizace je postup, jímž se z nestejnorodé látky dosáhne dokonalým promícháním jednotná a stejnorodá látka.

⁴⁰ Ochuzený uran je uran, v němž je podíl ^{235}U snížen na 0,23%.

⁴¹ AEROSPACEWEB. *Boeing 747 Long – Range Jetliner* [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://www.aerospaceweb.org/aircraft/jetliner/b747/>>.

Uranové sklo je typické díky svým sytým barvám, ale i díky fluorescenci a tím i různé barvě v dopadajícím a procházejícím světle. V 90. letech 19. století přišel útlum výroby, protože uranové sklo vyšlo z módy a jáchymovská produkce se stala pouze vedlejší činností při získávání radioaktivních preparátů.⁴²

Postoj SÚJB⁴³ k výrobě, distribuci a využívání uranového skla

V červnu roku 2004 obdržel Státní úřad pro jadernou bezpečnost od Generálního ředitelství cel podnět k prošetření výroby skla barveného uranem. Přidávané sloučeniny uranu do skla patří do kategorie jaderných materiálů a nakládání s ním je činností povolovanou SÚJB⁴⁴ a podléhající i přísné evidenci a kontrole a to i v rámci Mezinárodní agentury pro atomovou energii sídlící ve Vídni. SÚJB provedl rovněž rozsáhlou analýzu rizika ozáření při používání všech výrobků zhotovených z uranového skla. Byla provedena řada výpočtů doplněných experimentálním měřením emise různých druhů záření, které by mohlo emitovat uranové sklo vyráběné v České republice.⁴⁵

Důležité bylo zjistit, zda výroba předmětů z tohoto skla je či není „přidáváním radioaktivních látek do spotřebních výrobků“.⁴⁶ „Radioaktivní látka je jakákoliv látka, která obsahuje jeden nebo více radionuklidů a jejíž aktivita nebo hmotnostní aktivita je z hledisek radiační ochrany nezanedbatelná.“⁴⁷ Kritéria pro „ozáření zanedbatelné z hlediska radiační ochrany“ stanovuje vyhláška č. 307/2002 Sb, o radiační ochraně, která byla spolu s atomovým zákonem harmonizována s legislativou Evropské unie v roce 2002. Tato kritéria zahrnují jak ochranu jednotlivce, tak ochranu společnosti a jsou kvantitativně vyjádřena hodnotami efektivní⁴⁸ a kolektivní efektivní dávky.⁴⁹

⁴² JIRÁSEK, J., VAVRO, M. *Využití radioaktivních surovin, Nejaderné využití* [online]. Institut geologického inženýrství Hornicko-geologická fakulta, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství Fakulta stavební, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyuziti_radioaktivnich.html>.

⁴³ Státní úřad pro jadernou bezpečnost.

⁴⁴ Zákon č. 18/1997 o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <www.sujb.cz>.

⁴⁵ STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Problematika uranem barveného skla* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <<http://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/zajimavosti-z-praxe-radiacni-ochrany/problematika-uranem-barveneho-skla/>>.

⁴⁶ Ve smyslu zákona č. 18/1997 o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <www.sujb.cz>.

⁴⁷ Tamtéž.

⁴⁸ Efektivní dávka E je součtem vážených středních hodnot ekvivalentních dávek v různých tkáních lidského těla, tedy $E = \sum w_T \cdot H_T$, kde H_T je ekvivalentní dávka tkáně a w_T je tkáňový váhový faktor vyjadřující relativní příspěvek dané tkáně k celkové zdravotní újmě způsobené při rovnoměrném ozáření celého těla. Jednotkou je Sv (REICHL, J., VŠETIČKA, M. Encyklopedie fyziky –

Analýza rizika provedená Státním úřadem pro jadernou bezpečnost zahrnovala všechny možné výrobky a všechny existující cesty ozáření při distribuci těchto výrobků. V úvahu bylo bráno jak vnitřní ozáření ze sklenic nebo pohárů, v případě vylouhování uranu do přijímané tekutiny, tak vnější ozáření při jejich mytí, popřípadě z neosobních ozdobných předmětů jako popelníky či ozdobné sklo. Velká pozornost byla věnovaná vnějšímu ozáření od osobních zdobných předmětů z oblasti bižuterie, při kterém ozáření kůže závisí na obsahu uranu ve skle, na době kontaktu tohoto skla s kůží a na ploše kůže v kontaktu s takovým předmětem.⁵⁰

Odborná analýza prokázala, že kritérium pro efektivní dávku bude splněno, pokud k výrobě bižuterie nebude použito sklo s hmotnostním obsahem uranu větším než 1%. Kolektivní efektivní dávka přímo závisí na množství vyrobených osobních zdobných předmětů, proto lze toto kritérium splnit pouze omezením produkce uranového skla.⁵¹

Ze získaných údajů a výrobě uranového skla a z provedených šetření SÚJB vyplynulo, že legislativní kritéria ochrany jednotlivce i společnosti před škodlivými účinky používání skla barveného uranem nejsou v České republice překračována.⁵²

1.3.3.4 Radiační defektoskopie

Jedná se o metodu založenou na rozdílech v absorpci pronikavého záření v látkách. Při různém zpracování výrobků (při odlévání, chladnutí, svařování apod.) může docházet ke vzniku dutin nebo prasklin. Defektoskopie je metoda, jež umožňuje nedestruktivní analýzou nehomogenit v konstrukčních materiálech a výrobcích odhalit tyto praskliny a jiné anomálie. Analyzovaný předmět se ozáří svazkem pronikavého záření X nebo gama, které je zobrazováno na fluorescenčním stínítku či elektronickém detektoru do počítače (radioskopie) nebo se zobrazuje na fotografickém filmu (radiografie). Absorpce ionizujícího záření je přímo závislá na tloušťce a hustotě

Radioaktivní záření v organismu a veličiny s tím související [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/843-radioaktivni-zareni-v-organismu-a-veliciny-s-tim-souvisejici>.

⁴⁹ Kolektivní efektivní dávka S je součet efektivních dávek všech jednotlivců v určité skupině. Jednotkou je SV.

⁵⁰ STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Problematika uranem barveného skla* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <http://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/zajimavosti-z-praxe-radiacni-ochrany/problematika-uranem-barveneho-skla/>.

⁵¹ Tamtéž.

⁵² Tamtéž.

materiálu, takže slabší místa se projeví zčernáním filmu. V současné době dochází k výměně filmu za citlivý elektronický detektor.⁵³

Především v počátcích rozvoje radiační defektoskopie se jako zdroj gama paprsků využívaly přirozené radioizotopy, převážně rádium radium. Dnes je ale čím dál více nahrazováno radioizotopy umělými.

1.3.4 Věda, výzkum, školství

Po celém světě jsou v provozu výzkumné reaktory využívané pro materiálový výzkum a lékařství. Všechna tato zařízení a jaderné materiály v nich jsou pod přísnou kontrolou mezinárodní agentury pro atomovou energii ve Vídni (IAEA). U nás je od roku 1983 v areálu ÚJV Řež a.s. v provozu výzkumný reaktor s označením LR - 0, ke kterému později přibyl další s označením LVR - 15. Od roku 1990 je pak v provozu školní lehkovodní reaktor VR – 1 Vrabec v areálu FJFI ČVUT v Praze.

Reaktor LR - 0

Reaktor LR – 0 je lehkovodní reaktor nulového výkonu. Používá se jako experimentální reaktor pro měření neutronově fyzikálních charakteristik reaktorů typu WER a PWR (vodní energetický reaktor a Pressurized Water Reactor). Slouží jako vědeckotechnická základna pro experimenty v oblasti fyziky aktivní zóny a stínění lehkovodních reaktorů typu WER (Temelín, Dukovany a další reaktory ruské konstrukce), PWR („západní“ konstrukce) a experimenty se skladováním vyhořelého paliva z jaderných elektráren. V současné době se připravují pokusy s tzv. vložitelnými zónami pro experimenty v rámci vývoje reaktoru čtvrté generace.⁵⁴ Maximální tepelný výkon je 1 kW a palivové články v kazetě jsou naplněny tabletami z oxidu uraničitého.⁵⁵

⁵³ ULLMANN, V., *Aplikace ionizujícího záření – jaderné a radiační metody* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <<http://astronuklfyzika.cz/JadRadMetody.htm#Defektoskopie>>.

⁵⁴ Plán jejich využití je rozvržen až do roku 2030, kdy bude životnost mnoha dnešních reaktorů u konce. Místo vody se budou k chlazení využívat látky, které umožní provoz s mnohem vyšší teplotou, a tím i účinností.

⁵⁵ ÚSTAV JADERNÉHO VÝZKUMU ŘEŽ, a.s., *Reaktor LR – 0* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <<http://www.nri.cz/web/ujv-800/reaktor-lr-0>>.

Reaktor LVR – 15

Tento reaktor je tankového typu, s nuceným chlazením a maximálním tepelným výkonem do 10MW. Využívá se především k materiálovému a fyzikálně metalurgickému výzkumu např. korozní zkoušky materiálů primárního okruhu a vnitřních vestaveb jaderných elektráren, a rovněž k neutronové aktivační analýze⁵⁶, k výrobě nových radiofarmak⁵⁷ a k výrobě křemíku neutronovým legováním⁵⁸. Jeho další možné využití spočívá ve výrobě radioizotopů⁵⁹, k neutronové radiografii⁶⁰ a k neutronové záchytové terapii (ozařování pacientů s mozkovým nádorem typu glioblastoma⁶¹). Svazky neutronů vyváděné z reaktoru horizontálními kanály využívají vědečtí pracovníci k neutronovému měření struktur a textur a další.⁶²

V roce 2002 skončila platnost povolení provozu reaktoru, nicméně v dubnu 2003 byl provoz od Státního úřadu pro jadernou bezpečnost prodloužen do roku 2014 s tím, že reaktor má životnost až do roku 2028.⁶³

Reaktor VR – 1

Jaderný reaktor VR – 1, je školní lehkovodní reaktor bazénového typu s obohaceným uranem. Jako moderátor neutronů se zde využívá demineralizovaná voda sloužící i jako reflektor, chladiivo a biologické stínění. Jeho jmenovitý výkon je 1kW tepelný, krátkodobě 5kW tepelných.

Jaderné palivo je typu ITR – 4M obsahující palivovou vrstvu tvořenou disperzí hliníku a oxidu uraničitého, obohaceného uranu 235, která je po obou stranách pokryta vrstvou čistého hliníku o tloušťce 0,31 mm. V reaktoru vyhoří za jeden rok méně než 0,01 g uranu 235. V roce 2005 došlo u jaderného reaktoru VR – 1 k výměně paliva

⁵⁶ Používá se ke stanovení složení látek.

⁵⁷ ¹⁵³Sm, ¹⁶¹Tb, ¹⁶⁵Dy, ¹⁶⁶Hop, ¹⁶⁹Er, ⁶⁰Co, ¹⁹²Ir, ¹⁸²Ta, ¹⁹⁸Au.

⁵⁸ Dopování křemíku fosforem s využitím ozařování neutrony značně zlepšuje homogenitu měrného odporu (ÚSTAV JADERNÉHO VÝZKUMU ŘEŽ, a.s., *Reaktor LVR – 15* [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.nri.cz/web/ujv-800/reaktor-lvr-15>).

⁵⁹ ⁹⁹Mo-^{99m}Tc, ¹¹³Sn-^{113m}In, ¹⁸⁸W-¹⁸⁸Re.

⁶⁰ Aplikace využívající toku neutronů. Objekt se prozáří tokem neutronů a stínový obraz se objeví na fotografickém materiálu. Vzhledem k tomu, že neutrony jsou více pohlcovány lehkými chemickými prvky a méně těžkými chemickými prvky, vzniká „obrácený“ stínový obraz než u rentgenového nebo gama záření.

⁶¹ Glioblastoma je nejběžnější a nejmalignější gliom mozku. Nachází se většinou v mozkových hemisférách a postihuje převážně dospělé. (BRUCE, J., HARRIS, J. *Glioblastoma Multiforme* [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://emedicine.medscape.com/article/283252-overview#a0101>).

⁶² ÚSTAV JADERNÉHO VÝZKUMU ŘEŽ, a.s., *Reaktor LVR – 15* [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.nri.cz/web/ujv-800/reaktor-lvr-15>.

⁶³ Tamtéž.

ze staršího typu IRT – 3M s obohacením 36 % uranu 235 na právě již zmiňovaný typ IRT – 4M s obohacením 19,7 % uranu 235. Tato výměna proběhla v rámci mezinárodního programu pro snižování obohaceného paliva pro výzkumné reaktory RERTR (Reduced Enrichment for Research and Test Reactors).⁶⁴

Jaderný reaktor VR – 1 slouží především k výzkumu a výuce. Výzkumné práce jsou limitovány jeho malým výkonem, proto jsou zaměřeny na srovnávání výpočtů různých reaktorových parametrů s experimentálními výsledky, na vývoj řídicích systémů, kalibrace detektorů, ověřování netronických parametrů, ale třeba i testování detektorů a reaktimetrů pro jadernou elektrárnu Temelín.⁶⁵ Co se výuky týče, jedná se hlavně o oblasti dozimetrie, neutronové a reaktorové fyziky, jaderné bezpečnosti a systémů řízení jaderných zařízení.⁶⁶

1.4 Možné teroristické zneužití smolince

1.4.1 Pojem terorismus

Terorismus je propočítané použití násilí nebo hrozby násilí, obvykle zaměřené proti nezúčastněným osobám, s cílem vyvolat strach, jehož prostřednictvím jsou dosahovány politické, náboženské či ideologické cíle. Terorismus zahrnuje i kriminální zločiny, které jsou ve své podstatě symbolické a jsou jen cestou k dosažení jiných cílů, než na které je kriminální čin zaměřen.⁶⁷ Toto je jedna z mnohých definic, vysvětlující pojem terorismus. Přestože by se mohlo zdát, že terorismus je výtobytkem poslední doby, není tomu tak. Už staré čínské přísloví říká: „Zabij jednoho a postrašíš deset tisíc.“ A podle některých autorů můžeme teroristické činy rozpoznat již v dobách antického Říma, kdy byl skryt za pojem „trestná válka“. Také se tento pojem objevuje v Akademickém slovníku francouzského jazyka vydaného v roce 1694, kde se slovo „terreur“ objasňuje jako „velký strach, násilné pobouření lidské duše způsobené

⁶⁴ KATEDRA JADERNÝCH REAKTORŮ, ČVUT. *Školní reaktor VR – 1, Jaderné palivo reaktoru* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <http://reaktorvr1.eu/popis_jp.htm>.

⁶⁵ KATEDRA JADERNÝCH REAKTORŮ, ČVUT. *Školní reaktor VR – 1, Výzkum a vývoj na reaktoru* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <<http://reaktorvr1.eu/vyzkum.htm>>.

⁶⁶ KATEDRA JADERNÝCH REAKTORŮ, ČVUT. *Školní reaktor VR – 1, Výuka na reaktoru*, [online]. [cit. 2012-04-09].

⁶⁷ ČEJKA, M. *Encyklopedie blízkovýchodního terorismu*. 1.vyd. Brno: Barrister a Principál, 2007. 223 s. ISBN 978-80-87029-19-0.

předvedením obrazů bolesti“. Koncem 19. století přestali být jako teroristé označováni exekutoři ve státních službách, naopak začali tak být nazýváni jednotlivci, kteří použili násilí proti státu.⁶⁸

Terorismus se tedy pomalu přetvářel do podoby, v jaké ho známe dnes. Jako počátek moderního terorismu se někdy uvádí útok na izraelské atlety v roce 1972 na olympijských hrách konaných v Mnichově. Terorismus a boj s ním tedy nejsou novým jevem. To čeho se ale v dnešní době začínají mnohé státy obávat, je značný posun v jeho kvalitě a rozměrech. Formy teroristických útoků jsou čím dál sofistikovanější. Ve většině případů se již nejedná o „pouhý“ pumový útok, ale o stále častější sebevražedné útoky, které jsou charakteristické vysokými počty obětí. Informační sítě jsou na velice vysoké úrovni, takže media můžou o provedeném činu přinést zprávy téměř okamžitě, čímž se zvedá informovanost obyvatel a s ní především vyvolaný pocit strachu. Jsou zaznamenány stále častější a nebezpečnější projevy terorismu, mířící k samotné podstatě demokratického zřízení jednotlivých států i mezinárodních organizací.⁶⁹

1.4.2 Špinavá bomba

Vědecké označení této bomby je Radiological Dispersion Device (RDD), neboli Radiologické Rozptylující Zařízení.⁷⁰ Jedním z použitelných typů špinavé bomby je kombinace konvenční trhavy a radioaktivní látky. Ta se díky explozi rozptýlí do okolí a její částičky kontaminují vše, s čím přijdou do styku. Vzniká tak zamořená oblast, která je nebezpečná zvýšeným výskytem dávkových příkonů⁷¹ ionizujícího záření.

Radioaktivní látka může být v různých formách, např. ve formě tekutiny, prášku nebo může být navázána na částičky jiného nosiče. Po výbuchu dochází k vytvoření aerosolu, který se roznese do okolí. U špinavé bomby kombinace radioaktivní látky a výbušniny záleží nejen na druhu a množství použité výbušniny, ale i na velikosti částic této radioaktivní látky. Hlavním důvodem je to, že pokud má být částice respirabilní⁷² a

⁶⁸ Především díky fanatickým ruským a francouzským anarchistům z 80. a 90. let 19. století.

⁶⁹ SPURNÁ, L. *Právní aspekty boje s mezinárodním terorismem* [online]. Rigorózní práce, Právnická fakulta Masarykovy univerzity, Katedra trestního práva, Brno: 2006 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/53737/pravf_r/>.

⁷⁰ ALANI, M. *Nuclear Terrorism in the Gulf: Myt hor Reality?* Security and Terrorism, Research Bulletin. Issue No.7, December 2007. str. 12- 16.

⁷¹ Dávkový příkon je přírůstek dávky za časový interval. Jednotkou je Gy.^{s⁻¹}. Dříve se používal pojem dávková rychlost.

⁷² Vnitřní ozáření bezprostředně po výbuchu.

měla by se dostat do plicních sklípků musí mít maximální velikost 8µm. Při samotném rozptýlu po výbuchu pak budou hrát určitou roli i povětrnostní podmínky, ale i třeba výškový profil terénu, protože při výbuchu je radioaktivní látka vynesena někdy i desítky metrů nad úroveň terénu⁷³, čímž může způsobit rozšíření aerosolu do vzdálenějších míst od epicentra výbuchu po směru větru.

Nicméně odborníci se domnívají, že v případě použití špinavé bomby, půjde spíš o vyvolání paniky nebo psychické újmy než skutečné radiologické ohrožení většího počtu osob.⁷⁴

1.4.2.1 *Materiály vhodné pro špinavou bombu*

Jako výbušninu lze použít např. Semtex, Perunit 28, Trinitrotoluen a jiné výbušniny a to jak průmyslové, tak vojenské nebo i amatérské.

Radioaktivních látek vhodných k výrobě „dirty bomb“ je velké množství. Tím že dlouhodobě docházelo k mezinárodní kontrole jaderných materiálů vhodných k výrobě jaderné bomby, se značně snížilo riziko zneužití těchto materiálů teroristy. Problémem však zůstávají radioaktivní látky používané v průmyslu, v medicíně nebo ve výzkumu, které jsou sice v evidenci, nicméně nejsou vždy dostatečně hlídány.

Tab. č. 2: *Některé radioaktivní prvky vhodné pro výrobu špinavé bomby*⁷⁵

Izotop	Obvyklé použití
Plutonium 244	univerzity, nukleární inženýrství, nukleární fyzika
Americium 243	univerzity, požární hlásiče, naftové vrty
Cesium 137	ozařovače potravin, sterilizace zdrav. vybavení, léčba rakoviny
Kobalt 60	desinfekce potravin, sterilizace zdrav. vybavení, léčba rakoviny
Stroncium 90	termoelektrické generátory
Uran	jaderné elektrárny, reaktory ponorek

⁷³ Samozřejmě závisí na síle výbuchu.

⁷⁴ PROUZA, Z., ŠVEC, J. *Zásahy při radiační mimořádné události*. Ostrava: Edice Sibi Spektrum, 2008. 125 s. ISBN 978-80-7385-046-3.

⁷⁵ KAŇKOVÁ, J., *Špinavá bomba* [online]. Jihočeská univerzita České Budějovice, Zdravotně sociální fakulta, 2006. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://www.toxicology.cz/modules.php?name=News&file=article&sid=31>>.

Teoreticky může být špinavá bomba sestavená dvěma způsoby:⁷⁶

1. Nálož odpalovaná ze země (Surface or off- the-ground blast device), která je složena ze tří základních částí:

a) Konvenční výbušnina jako je C4 nebo Trinitrotoluen, která působí jako šířitel radiace. Tento typ bomby může být odpálen kdykoliv pomocí časoměřiče nebo ovladače.

b) Určité množství radioaktivního materiálu, které je obaleno kolem trhaviny. Příklady viz tabulka č. 2.

c) Pouzdro nebo externí odpálení (outer shell or casing), které obsahuje výbušninu a radioaktivní látku. Toto pouzdro je vyrobené tak, aby se během výbuchu snadno rozložilo a tím umožnilo rozprášení radioaktivní látky. Přesto musí poskytnout dostatečnou ochranu pro osoby, které s tímto zařízením manipulují, z důvodu vysoké radiace.

Dalším problémem by mohla být i přeprava bomby do místa určení. Měla by být přepravována ve speciálním kontejneru, vyrobeném ze speciálního kovu, který by nepropouštěl radiaci ven. Takovýto kontejner bude pravděpodobně veliký a těžký.⁷⁷

2. Špinavá bomba nacházející se na sebevražedné vestě nebo v sebevražedném opasku.⁷⁸

Tento typ útoku je zdá se méně efektivní i méně praktický. Už jen proto, že vesta nebo opasek jsou celkem malé a tedy nejsou schopné poskytnout dost prostoru pro umístění dostatečného množství radioaktivní látky. Také nejsou svou konstrukcí zaměřeny nebo navrženy k účinnému rozšíření radioaktivní látky a zároveň radiace.

1.4.2.2 Účinky špinavé bomby

Primárním účelem špinavé bomby není zabít. Ovšem že již během výbuchu může dojít k obětem na lidských životech, ale hlavním účelem je zamořit vybraný

⁷⁶ Následující popis je převzat z ALANI, M. *Nuclear Terrorism in the Gulf: Myt hor Reality?* Security and Terrorism, Research Bulletin. Issue No.7, December 2007. str. 12- 16.

⁷⁷ Alani, M. *Nuclear Terrorism in the Gulf: Myt hor Reality?* Security and Terrorism, Research Bulletin. Issue No.7, December 2007.

⁷⁸ Tamtéž.

prostor radioaktivní látkou a především vyvolat paniku a strach. Prvním účinkem je tedy samotný výbuch, následuje nebezpečí vnitřního ozáření v důsledku buďto inhalace radioaktivních částic, které jsou těsně po výbuchu v ovzduší, nebo kontaminací otevřené rány radioaktivní látkou a nebo ingescí.⁷⁹ Další účinek je zevní ozáření, které bude způsobené rozprášeným radioaktivním materiálem, s tím že místa v těsné blízkosti epicentra budou mít největší plošnou aktivitu⁸⁰ a s rostoucí vzdáleností bude tato aktivita klesat.

Kromě lidských obětí, psychické újmy a zdravotních potíží může způsobit tato bomba i značné ekonomické škody⁸¹ zejména s ohledem na proces likvidace následků použití špinavé bomby.

Zdravotní rizika pro obyvatelstvo při požití špinavé bomby

Zdravotní rizika pro obyvatele vyplývají z výbuchu špinavé bomby, vnitřního a vnějšího ozáření. U výbuchu jde především o odhození tlakovou vlnou, zásah střepin či sekundární následky (např. rozdrčení předměty uvedenými do pohybu výbuchem). Počet osob s deterministickými účinky ozáření bude limitován faktory např. typ radionuklidu použitého v bombě, meteorologické podmínky, ale i lokalita (nádraží, město, metro, venkov). Asi největší bude počet osob, u nichž mohou nastat stochastické účinky, takže nezemřou na akutní nemoc z ozáření, ale zvýší se jim pravděpodobnost vzniku nádorového onemocnění v důsledku ozáření.

Deterministické účinky: jsou takové účinky, jejichž míra roste s růstem obdržené dávky záření. Nebude-li u ozářeného organismu překročena určitá prahová dávka, tyto účinky se neprojeví. Patří sem například radiační dermatitida (Po jednorázovém lokálním i celotělovém ozáření, nebo kontaminaci kůže beta zářiči. Velikost dávky je asi 3–9 Gy.) nebo akutní nemoc z ozáření (vzniká po celotělovém, jednorázovém ozáření dávkou více jak 1 Gy).⁸²

⁷⁹ Např. olíznutí rtů.

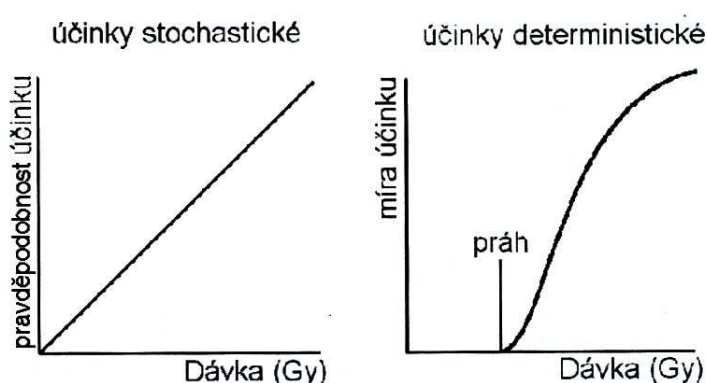
⁸⁰ Plošná aktivita je aktivita vztahovaná na jednotku plochy. Jednotkou je Bq.m⁻².

⁸¹ Např. kontaminace národního parku.

⁸² ZÖLZER, F., KUNA, P., NAVRÁTIL, L. *Mechanismy účinků ionizujícího záření*, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, České Budějovice, 2007. 21 s.

Stochastické účinky: jsou takové účinky, u kterých s dávkou roste míra účinku. Jsou náhodné, nepředvídatelné a mají pravděpodobnostní charakter. Závažnost poškození a průběh onemocnění nejsou závislé na velikosti dávky, na té závisí pouze pravděpodobnost poškození. Tyto účinky jsou důsledkem změn v buňkách, které přežily ozáření (riziko nádorového onemocnění je 10 % při dávce 1 Sv). Příkladem jsou nádory indukované ozářením u ozářených jedinců.⁸³

Graf č. 1: Grafické vyjádření stochastických a deterministických účinků⁸⁴



1.4.3 Legislativa ČR z hlediska teroristického útoku

Nejdůležitějším zákonem v této oblasti je zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon). Krizovým řízením se podle tohoto zákona rozumí souhrn řídicích činností věcně příslušných orgánů zaměřených na analýzu a vyhodnocení bezpečnostních rizik, plánování, organizování, realizaci a kontrolu činností prováděných v souvislosti s řešením krizové situace. Krizová situace je v tomto zákoně definována jako mimořádná událost, při níž je vyhlášen stav nebezpečí, nouzový stav nebo stav ohrožení státu. Ke krizovému zákonu byly mimo jiné vydány následující prováděcí předpisy :

- NV č. 462/2000 Sb., k provedení § 27 odst. 8 a § 28 odst. 5 zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon) ve znění pozdějších předpisů.

⁸³ Tamtéž.

⁸⁴ Tamtéž.

- Vyhláška č. 281/2001 Sb., kterou se provádí § 9 odst. 3 písm. a) zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon) ve znění pozdějších předpisů.

Součástí systému krizového řízení je i zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, neboť je to právě integrovaný záchranný systém, který provádí prvotní záchranné a likvidační práce při mimořádné události. Integrovaný záchranný systém, je dle tohoto zákona, koordinovaný postup jeho složek při přípravě na mimořádné události a při provádění záchranných a likvidačních prací. Mimořádná událost je specifikována jako škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činnostmi člověka, přírodními vlivy, a také havárie, které ohrožují život, zdraví, majetek nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací. K tomuto zákonu byly mimo jiné vydány provádějící předpisy:

- Vyhláška MV č. 328/2001 Sb., o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému.
- Vyhláška MV č. 380/2002 Sb., k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva.

Dalším zákonem, který s tímto tématem souvisí je zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, přičemž mimo jiné upravuje povinnosti při přípravě a provádění zásahů vedoucích ke snížení přírodního ozáření a ozáření v důsledku radiačních nehod.

„K zajištění svých bezpečnostních zájmů ČR vytváří a rozvíjí komplexní hierarchicky uspořádaný bezpečnostní systém, který je propojením roviny politické (vnitřní i vnější), vojenské, vnitřní bezpečnosti a ochrany obyvatel, hospodářské, finanční, legislativní, právní a sociální. Základ tohoto systému je především v legislativním vyjádření působností a vzájemných vazeb jednotlivých složek (zákonodárné, výkonné, soudní moci, územní samosprávy a právnických a fyzických osob) a jejich vazeb mimo bezpečnostní systém a ve stanovení jejich povinnosti.

Bezpečnostní systém ČR plní funkci institucionálního rámce/nástroje při tvorbě a realizaci bezpečnostní politiky.“⁸⁵

1.5 Ionizující záření

Ionizujícím zářením nazýváme takové záření, jehož kvanta mají natolik vysokou energii, že jsou schopna vyrážet elektrony z atomového obalu a tím látku ionizovat. Jedná se o tok fotonů elektromagnetického záření nebo hmotných částic, které mají schopnost ionizovat atomy prostředí nebo excitovat jejich jádra. Vzniká jako průvodní jev jaderných procesů při nichž se dostává atom do excitovaného stavu a stává se energeticky nestabilním. Do stabilního stavu se dostane tím, že uvolní ionizující záření. Nicméně většina radioaktivních látek je radioaktivní přirozeně, bez aktivace.

Všechny radioaktivní látky mají charakteristickou vlastnost a to klesající aktivitu v závislosti na čase. Čas potřebný k tomu, aby se přeměnila polovina jader přítomných na počátku, se nazývá poločas rozpadu. Po dvou poločasech klesne aktivita na čtvrtinu. Poločasy jsou různé a pohybují se od setin do milionu let. Poločas rozpadu uranu ²³⁸U je 4,5 miliardy let a poločas je konstantní bez ohledu na vnější vlivy.

Zdroj záření se popisuje pomocí veličiny zvané aktivita. Jedná se o počet radioaktivních přeměn probíhajících v látce za jednotku času. Jednotkou této aktivity je becquerel (Bq). Jedná se ovšem o jednotku velmi malou. V samotném lidském těle probíhá na tisíc radioaktivních přeměn, jelikož tělo obsahuje několik tisíc radioaktivních látek. Veličina, která popisuje účinek, se nazývá efektivní dávkový ekvivalent. Jednotkou této veličiny představuje sievert (Sv).⁸⁶

Konverzní faktory udávají vztahy mezi příjmem radioaktivní látky požitím (h_{iing}), popřípadě vdechnutím (h_{iinh}) a úvazkem efektivní dávky v těle.⁸⁷ Jednotkou konverzního faktoru je Sv.Bq⁻¹. Jsou vypočítané na základě standardních modelů a

⁸⁵ KOLEKTIV AUTORŮ POD VEDENÍM MINISTERSTVA ZAHRANIČNÍCH VĚCÍ ČR *Bezpečnostní strategie České republiky 2011*. Praha 2011. 21 s. ISBN 978-80-7441-005-5.

⁸⁶ AUGUSTA a spol. *Velká kniha o energii*. Praha: L.A. Consulting Agency spol. s.r.o., 2001. 383 s. ISBN 80-238-6578-1.

⁸⁷ Číselně jsou rovny efektivní dávce připadající na příjem 1 Bq daného radionuklidu.

nachází se v tabulkách Přílohy č. 3 vyhlášky 307/2002 Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně.⁸⁸

1.5.1 Druhy ionizujícího záření

Ionizační účinky jsou společnou vlastností všech druhů ionizujícího záření. Podle interakcí záření s hmotou jej můžeme dělit na záření přímo ionizující a záření nepřímo ionizující. Rovněž rozpoznáváme záření korpuskulární a vlnové. Posledním důležitým rozlišením je záření alfa, beta, gama záření X (rentgenové) a záření neutronové, které si zaslouží podrobnější analýzu.

Záření alfa

Je vyzařováno většinou jádru těžkých prvků jako je např. uran, thorium, radium a jádru transuranů. Při rozpadu jsou uvolňovány částice α , což jsou vlastně jádra helia skládající se každé ze dvou protonů a neutronů. Má krátký dolet, díky němuž je tuto částici schopen odstínit i list papíru či neporušená pokožka. Jestliže se ale materiály, emitující záření alfa, dostanou nějakým způsobem do našeho těla, např. vdechnutím, jídlom nebo pitím, je zde vysoké riziko, že přímo ozáří nechráněné vnitřní tkáň a způsobí biologické poškození.

Záření beta

Je tvořeno elektrony nebo pozitrony⁸⁹. Podle toho se tento typ záření dělí na β^- a β^+ . Při záření β^- vylétá z jádra elektron, který vznikl v jádře, přeměnou neutronu na proton, elektron a neutrino. Toto záření svými elektrickými účinky ionizuje látku, čímž se brzdí a má tak v látkovém prostředí poměrně krátký dolet, ve tkáni je to přibližně 3-4 mm. Při záření β^+ vylétá z jádra pozitron, což je antičástice elektronu. Pozitron vznikl v jádře při přeměně protonu na neutron, pozitron a neutrino. Ionizační účinky i dolet této částice jsou podobné jako u záření β^- . Beta zářičem je například izotop draslíku ^{40}K nebo thoria ^{234}Th .

⁸⁸ PROUZA, Z., ŠVEC, J. *Zásahy při radiační mimořádné události*. Ostrava: Edice Sibi Spektrum, 2008. 125 s. ISBN 978-80-7385-046-3.

⁸⁹ Což jsou elektrony s kladným nábojem.

Záření gama

Je fotonové vysokoenergetické, krátkovlnné elektromagnetické záření, které je vysíláno při přeměnách a dalších procesech většinou nestabilních atomových jader. Fotony záření gama nemají žádný elektrický náboj, což znamená, že se jedná o nepřímo ionizující záření. Díky interakci kvanta gama s látkou (fotoefekt, Comptonův rozptyl nebo vznik elektron – pozitronových párů) vznikají rychlé elektrony, které již ionizují přímo. Většina radionuklidů jsou smíšené zářiče, buď $\alpha + \gamma$ nebo $\beta + \gamma$. Jen některé zářiče jsou čisté α nebo čisté β . Čisté γ v přírodě neexistují. V závislosti na své energii mohou paprsky gama proniknout lidským tělem, nicméně mohou být snadno pohlceny tlustou stěnou betonu nebo olova.

Záření X (rentgenové)

Je také fotonové záření. Zahrnuje brzdné záření, které vzniká zabrzděním nabitých částic v elektrických polích v rentgence a charakteristické záření, vysílané při přechodu elektronu v atomu na nižší energetickou hladinu v atomovém obalu. Rentgenovo záření se využívá hlavně v radiodiagnostice a v radioterapii.

Neutronové záření

Neutrony jsou nenabité elementární částice, jejichž zdrojem může být například štěpení jader uranu. Při jejich interakci s jinými atomy může vzniknout záření alfa nebo beta, které způsobí ionizaci. Z toho nám tedy vyplývá, že neutronové záření je tedy nepřímo ionizující. Dá se odstínit vrstvou vody nebo jiného materiálu bohatého na vodík, neboť se účinně zpomalují srážkami s protony.⁹⁰

⁹⁰ AUGUSTA a spol. *Velká kniha o energii*. Praha: L.A. Consulting Agency spol. s.r.o., 2001. 383 s. ISBN 80-238-6578-1.

2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZA

2.1 Cíle práce

Cílem této práce bylo vypracovat souhrn současného mírového využívání smolince a to jak v oblastech průmyslu, lékařství, tak i jaderných zařízení. K dosažení tohoto cíle, byl shromážděn materiál týkající se smolince jako rudy, ale i prvků, které se ze smolince získávají.

Dalším cílem bylo vyhodnotit hrozbu možného teroristického zneužití smolince a to především jako radioaktivní látky v případě použití špinavé bomby.

2.2 Hypotéza

Smolincem je možné využít při teroristickém útoku.

3 METODIKA

Metodika teoretické části mé bakalářské práce spočívala ve shromáždění dostupných materiálů, odborné literatury i webových stránek, pro načerpání informací o dané problematice. Přehledným uspořádáním získaných informací, bych chtěla čtenáře srozumitelně seznámit s problematikou smolince a jeho využíváním jak v mírové tak v teroristické oblasti.

Rovněž bylo provedeno studium a analýza aktuálních právních norem vztahujících se k radioaktivním látkám a nakládání s nimi, dokumentů a studií zabývajících se problematikou špinavé bomby.

K dosažení druhého cíle, jímž bylo vyhodnotit hrozbu možného teroristického zneužití smolince v případě použití špinavé bomby, byly provedeny výpočty dávek při použití smolince jako radioaktivní látky. Tyto výpočty byly následně použity ke komparaci s cesiovým zářičem. V práci byla vytvořena též simulace teroristického útoku s použitím smolince jako zdroje ionizujícího záření. Pro srovnání byla pak použita událost, při níž došlo k rozptylu cesia. Také byla zmíněn článek, v němž se autor zabývá teroristickým útokem za použití špinavé bomby, kde je radioaktivním materiálem cesium. Na základě těchto údajů byla vyhodnocena hrozba zneužití smolince při teroristickém útoku.

4 VÝSLEDKY

4.1 Příklady použití smolince jako špinavé bomby

Smolince UO_2 (oxid uraničitý), je tvořen dvěma prvky, uranem (86,86%) a kyslíkem (13,14%). Ve 100 kg je tedy 86,86 kg U a 13,14 kg O (měrná hmotnost 10,6 g/cm³).

Měrná aktivita ^{238}U je $A = 1,24 \cdot 10^4 \text{ Bq/g}^{91}$, takže 100 kg smolince, bude mít aktivita přibližně 1 GBq.

Z hlediska zneužití této přírodního k teroristickému útoku formou „špinavé“ bomby – tzn. zpravidla rozptylem dané látky klasickou výbušninou, je třeba zmínit tři expoziční cesty:

- vnitřní ozáření inhalací od radioaktivní látky (díle RaL) rozptýlené do ovzduší;
- zevní ozáření osoby od RaL v důsledku jejího rozptýlu explozí do vzduchu;
- zevní ozáření osoby od RaL usazené na zemském povrchu.⁹²

V daném případě však, jak dále ukáží, má význam uvažovat (jelikož uran emituje alfa záření) především možnou inhalaci

Pozn.

Dále uvedené výpočty byly provedeny za řady zjednodušujících předpokladů. V reálném případě bude velikost ozáření dané osoby záležet na typu a množství výbušniny, charakteristice místa, kdy k rozptýlu radioaktivní látky došlo, na aktuálních meteorologických podmínkách, atd. Pro odhad některých veličin jsem vycházela z práce⁹³, kde autoři prováděli terénní testy, při nichž na volném prostranství explozí výbušniny rozptylovali RaL o aktivitě cca 1 GBq. Tato práce shrnuje výsledky čtyř testů, při kterých bylo rozptýleno technecium pomocí průmyslové trhavin v určité oblasti. Hodnoty charakterizující rozptýl RaL, tzn. dávky, povrchové aktivity (v horizontálním i vertikálním směru), objemové aktivity, jejich prostorové a časové

⁹¹ DELACROIX, D. a kol.: *Radionuclide and radiation protection data handbook 1998*, Radiation Protection Dosimetry, Nuclear technology publishing, 1998. vol.76, ISBN 1870965515.

⁹² PROUZA, Z. a kol.: *Metody a opatření k omezení vzniku a k likvidaci následků teroristického zneužití radioaktivních látek*, Výzkumná zpráva veřejné zakázky SÚJB VaV č.2/2008,SÚRO, Praha, 2010.

⁹³ PROUZA, Z. a kol. *Field tests using radioactive matter*. Časopis „Radiation protection dosimetry“ Nuclear technology publishing, 2010; doi: 10.1093/rpd/ncp299.

rozložení a hmotnostní koncentrace aerosolů produkovaných po výbuchu, jsou v této práci prezentovány a porovnávány. Na základě výsledků měření, byly odhadnuty průměrné hodnoty plošných i objemových aktivit v různých časech od exploze.

Dávky a dávkové příkony v zamořené oblasti byly měřeny přenosnými přístroji se scintilační detektory (GR135 miniSpec spektrometr, Exploranium) a dávkové příkony (NB 3201, Tesla) na úrovni 1 m nad místy, kde byly situovány sběrné filtry. Hodnoty pozadí byly odečteny, naměřené hodnoty byly korigovány s uvážením doby odběru a měření filtrů a vlivu poločasu radioaktivní přeměny radionuklidu. Aktivity RaL byly měřeny polovodičovými spektrometry.

4.2 *Test špinavé bomby se smolincem – Vnitřní ozáření*

V případě, že by se osoba nacházela v otevřeném prostoru ve vzdálenosti menší než 50 m od místa rozptylu 100 kg smolince (aktivita cca 1 GBq) explozí, lze za zjednodušujících předpokladů ocenit dávku E (mSv) vyvolanou inhalací ve vzduchu rozptýleného radionuklidu pomocí vztahu⁹⁴:

$$E = C_{f1} \cdot A_v \cdot T$$

kde:

C_{f1} – převodní faktor mezi dávkovým příkonem a objemovou aktivitou uranu ve vzduchu - pro ^{238}U - $C_{f1} = 12 \text{ mSv/hod/kBq/m}^3$

Za předpokladu, že:

A_v – objemová aktivita uranu ve vzduchu v daném místě je 10 kBq/m^3 (byla odhadnuta na základě výsledků zmíněných terénních testů⁹⁵),

T – doba pobytu (inhalace) v daném místě předpokládám 1 minutu (z výše uvedených výsledků terénních testů vyplývá, že v důsledku energie exploze a vzdušné konvekce objemová aktivita vzduchu v daném místě s časem velmi rychle klesá).

Dosazením do vzorce byla odhadnuta dávka E:

$$E = 12 \text{ mSv/hod/kBq/m}^3 \cdot 10 \text{ kBq/m}^3 \cdot 1/60 \text{ hod} = 2 \text{ mSv.}$$

⁹⁴ *Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency*. IAEA-TECDOC-1162, Vienna, 2000.

⁹⁵ PROUZA, Z. a kol. *Field tests using radioactive matter*. Časopis „Radiation protection dosimetry“ Nuklear technology publishing, 2010; doi: 10.1093/rpd/ncp299.

Při odhadu dávky je třeba zdůraznit rychlý pokles objemové aktivity vzduch s časem (graf 2). Měření hmotnostní koncentrace vzdušných aerosolů autoři ukázali, že tato koncentrace klesá v průběhu 1 až 2 minut prakticky na hodnotu před rozptylem RaL. Zvolená hodnota 10 kBq/m^3 je však **průměrná** hodnota objemové aktivity **v intervalu 0 až 8 minut po rozptyle RaL**. Nelze tedy vyloučit, že v první minutě (byla zvolena jako příklad nezraněné osoby rychle opouštějící daný prostor) by hodnota objemové aktivity a tedy i dávka z inhalace mohla být výrazně několikanásobně vyšší než 10 kBq/m^3 .

Lze proto provést i jinou úvahu – představme si, že osoba je zraněna a zůstává ležet v daném prostoru po dobu např. 8 minut (při průměrné aktivitě ve vzdálenosti cca 11 m od místa rozptylu 10 kBq/m^3 -graf 2) - pak by obdržela by dávku E:

$$E = 12 \text{ mSv/hod/kBq/m}^3 \cdot 10 \text{ kBq/m}^3 \cdot 8/60 \text{ hod} = 16 \text{ mSv.}$$

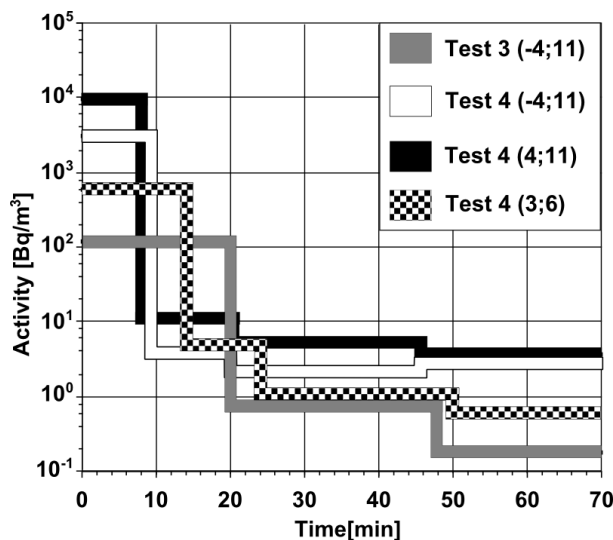
Pokud by se daná osoba v daném místě nacházela delší dobu, např. až 20 minut, byl by příspěvek k dávce inhalací v době od 8 do 20 min výrazně nižší, než v prvních minutách (v důsledku energie výbuchu a konvekce vzduchu objemová aktivita klesá, za jinak stejných podmínek až o 2 až 3 řády).

Vezmeme-li tedy dobu inhalace 8 - 20 minut po rozptyle průměrnou aktivitu 10 Bq/m^3 obdržíme dávku E:

$$E = 12 \text{ mSv/hod/kBq/m}^3 \cdot 0,01 \text{ kBq/m}^3 \cdot 12/60 \text{ hod} = 0,024 \text{ mSv}$$

Celkově by osoba obdržela dávku od inhalace $E=16,024 \text{ mSv}$

Graf č. 2: Časové rozložení objemových aktivit [Bq/m^3]⁹⁶



4.3 Test špinavé bomby se smolincem – Zevní ozáření

RaL rozptýlenou v ovzduší

Podobně lze ocenit dávku E (mSv) od zevního ozáření radionuklidu rozptýlenými explozí do vzduchu vztahem:

$$E = Cf_2 \cdot A_v \cdot T$$

kde:

Cf_2 – převodní faktor mezi dávkovým příkonem a objemovou aktivitou obsaženou ve vzduchu pro ^{238}U $Cf_2 = 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ mSv/hod/kBq}/\text{m}^3$

Za předpokladu, že:

A_v - průměrná objemová aktivita uranu ve vzduchu v daném místě⁹⁷ opět $10 \text{ kBq}/\text{m}^3$,

T – doba pobytu v daném místě při dané aktivitě 8 minut,⁹⁸

Dosazením do vzorce odhadneme dávku E :

$E = 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ mSv/hod/kBq}/\text{m}^3 \cdot 10 \text{ kBq}/\text{m}^3 \cdot 8/60 \text{ hod} = 2,9 \cdot 10^{-8} \text{ mSv}$ – podíl zevního ozáření z radionuklidu uranu rozptýleného ve vzduchu je zanedbatelný.

⁹⁶ PROUZA, Z. a kol. *Field tests using radioactive matter*. Časopis „Radiation protection dosimetry“ Nuklear technology publishing, 2010; doi: 10.1093/rpd/ncp299.

⁹⁷ Tamtéž.

⁹⁸ Tamtéž.

RaL deponovanou na zemském povrchu

Podobně lze ocenit dávku E (mSv) od zevního ozáření radionuklidem usazeným po rozptýlu RaL explozí na zemském povrchu vztahem:

$$E = Cf_3 \cdot A_s \cdot T$$

kde:

Cf_3 – převodní faktor mezi dávkovým příkonem a plošnou aktivitou na zemském povrchu, pro ^{238}U $Cf_3 = 1,9 \cdot 10^{-9}$ mSv/hod/ kBq/m²

Za předpokladu, že:

A_v - aktivita uranu na zemském povrchu v daném místě je až 10³ kBq/m²,

T – doba pobytu v daném místě při dané aktivitě 0,5 hodin,

Dosažením do vzorce odhadneme dávku E:

$E = 1,9 \cdot 10^{-9}$ mSv/h/kBq/m² · 10³ kBq/m² · 0,5 h = 1,0 · 10⁻⁶ mSv – podíl zevního ozáření od kontaminace zemského povrchu radionuklidem uranu rozptýleným ve vzduchu je zanedbatelný

Na rozdíl od dávky od zevního ozáření RaL rozptýlenou ve vzduchu (rychle klesá s časem), v případě zevního ozáření od radionuklidu deponovaného na zemském povrchu dávek s časem v daném případě (uran – dlouhý poločas radioaktivní přeměny) lineárně (po dobu než dojde k průniku do spodních vrstev půdy) roste s časem, tzn. při pobytu po dobu 10-krát delší bude E 10-krát vyšší, apod.

Podíl zevního ozáření od kontaminace zemského povrchu radionuklidem uranu rozptýleným ve vzduchu je zanedbatelný, protože se jedná o zářič emitující zejména alfa záření, které (jak již bylo vysvětleno v kapitole 1.5 Ionizující záření) v důsledku silné ionizace má v látkovém prostředí velmi krátký dolet a absorbuje jej již tenká vrstva látky. Jeho biologický účinek je dán především vnitřním ozáření (zejména inhalací).

V případě, že by došlo k rozptýlu radionuklidu ^{137}Cs o stejné aktivitě a za jinak stejných podmínek, inhalační dávka v případě Cs-137 by byla cca 200-krát nižší, naopak dávka od zevního ozáření

5 DISKUZE

5.1 *Simulovaný útok špinavou bombou*

Abychom mohli odhadnout riziko teroristického zneužití radioaktivních látek, je třeba vyhodnotit scénáře takového útoku na pokud možno reálných příkladech. Jako simulaci radiologického teroristického útoku jsem zvolila použití smolince obsahujícího uran.

V Českých Budějovicích došlo dne 16. dubna 2012 v 16:00 hodin na náměstí Přemysla Otakara II. k teroristickému útoku špinavou bombou. Došlo k výbuchu dodávky, ve které bylo umístěno přibližně 100 kg smolince ve formě prášku a úměrné množství konvenční nálože, potřebné k rozprášení radioaktivního materiálu. V době výbuchu i po něm foukal slabý jihozápadní vítr, bylo 15°C a polojasno.

Výbuch byl silný, a proto při něm došlo ke ztrátám na životech a několik lidí bylo zraněno, škody na majetku v přímé souvislosti s explozí byly minimální. V okolí místa výbuchu panovala bezprostředně po něm velká panika. Nad náměstím se vytvořil mrak výbuchem uvolněných látek, který dosahoval výšky přibližně 50 m nad úroveň terénu.

Na místo přijely 3 vozy Hasičské záchranné služby Jihočeského kraje v 16:12 až 16:14 hodin 3 vozy Zdravotnické záchranné služby. V 16:15 dorazila na místo 2 vozidla Policie České republiky, takže v prvních minutách po detonaci byl pohyb osob v tomto prostoru nekontrolován.

V první fázi po útoku, tedy v několika minutách po explozi, lze konzervativně provést odhad zevního ozáření od radionuklidů rozptýlených do ovzduší. Vezme-li v úvahu přírodní smolinec UO_2 s počáteční měrnou aktivitou 1 GBq rozptýlený do ovzduší, pak průměrná aktivita v poloprostoru o poloměru do 50 m po jedné minutě dosáhne hodnoty až 10 kBq/m³.⁹⁹ Průměrná aktivita i při malé rychlosti větru (2m/s), by v tomto prostoru klesla za cca 1 min. v blízkosti epicentra až 2 řády více. V případě tohoto zevního ozáření obdrží osoba, která se bude nacházet v prostoru o aktivitě 10 kBq po dobu jedné minuty v době výbuchu nebo bezprostředně po něm, dávku $3,6 \cdot 10^{-9}$

⁹⁹ PROUZA, Z. a kol. *Field tests using radioactive matter*. Časopis „Radiation protection dosimetry“ Nuklear technology publishing, vol. 0 No. 0.

mSv. Tato dávka poroste s časem, který by daná osoba v kontaminovaném prostoru strávila. Přesto je třeba zdůraznit, že se jedná o konzervativní (nadhodnocený) odhad. Problémem je dosažení vysokých objemových aktivit i u silných zářičů ve velkých objemech vzduchu a po určitou dobu, což může vést k nezanedbatelnému vnitřnímu ozáření inhalací kontaminovaného vzduchu.¹⁰⁰

Riziko, které by dále mohlo ohrožovat, by bylo zevní ozáření od radioaktivní látky rozptýlené na zemském povrchu. Dávky tohoto ozáření můžeme rovněž konzervativně odhadnout. Když uvážíme, že po výbuchu zůstane až několik desítek procent rozptýlené aktivity v okolí epicentra výbuchu, pak v 1 m nad zemí v prostoru o poloměru do 50 m může dávka, kterou by člověk obdržel po půl hodině strávené v této oblasti, dosáhnout hodnoty $1,0 \cdot 10^{-6}$ mSv. Ani v případě užití silnějších zdrojů ionizujícího záření, které by mohly být zneužity k teroristickému útoku, by zevní ozáření plošně rozptýleným radionuklidem nebylo příliš významné a to také s ohledem na to, že aktivita radionuklidu bude klesat se vzdáleností od epicentra. Vážné ohrožení je tedy možno vyvolat pouze zářiči o velmi vysokých aktivitách a na menší vzdálenosti.¹⁰¹

Další možné ozáření by pak hrozilo v podobě vnitřní kontaminace. V tomto případě existují dvě možné cesty jak by se radioaktivní látka dostala do těla.¹⁰² První možnost je inhalace a druhá je vniknutí radionuklidu do otevřené rány (zranění vzniklé v důsledku exploze) organismu. Pokud budeme provádět konzervativní odhad vnitřního ozáření osoby nacházející se v témže prostoru, tedy do 50 m od epicentra, která tam stráví taktéž jednu minutu, vyjde nám dávka způsobená inhalací až 2 mSv. Je třeba zdůraznit, že zasahující jednotky, pokud by používaly dýchací přístroje, poskytnou jim tyto účinnou ochranu před inhalací.

¹⁰⁰ PROUZA, Z. *Problémy stanovení bezpečnostních/ochranných zón*. SÚRO. Praha: 2008.

¹⁰¹ PROUZA, Z. *Problémy stanovení bezpečnostních/ochranných zón*. SÚRO. Praha: 2008.

¹⁰² Vnitřní kontaminaci ingescí můžeme v tomto případě zanedbat.

5.2 Srovnání

Nyní je třeba porovnat riziko použití smolince jako radioaktivní náplně do špinavé bomby s jiným relativně snadno dostupným zdrojem, avšak zejména z hlediska vnějšího ozáření osob nebezpečnějším radionuklidem. Pro ilustraci jsem si zvolila již zmiňované cesium, a to jak pro jeho dostupnost, tak pro výrazně vyšší dávku zevního ozáření osoby při použití stejné aktivity radionuklidu.

V případě zevního ozáření od radionuklidu ^{137}Cs rozptýleného do ovzduší o stejné aktivitě jaká byla uvažována u smolince (1GBq), ve stejné vzdálenosti (do 50 m) a po stejnou dobu strávenou v kontaminovaném prostoru (1 minuta), by byla dávka získaná od cesiového zářiče přibližně 6000 krát větší než dávka získaná od smolince.

V případě zevního ozáření od radionuklidu ^{137}Cs deponovaného po rozptylu na zemském povrchu a opět stejné aktivitě jako u smolince, ve stejné vzdálenosti a po stejnou dobu, by byla dávka přibližně 1000 krát větší.

Pouze ve třetím případě a to při inhalaci, by dávka od smolince, který, jak již bylo zmíněno, je z velké části tvořen uranem - tedy alfa zářičem, byla vyšší cca 200 krát než dávka z cesiového zářiče (opět o stejné aktivitě jako u smolince, ve stejné vzdálenosti a po stejnou dobu).

Ze scénářů různých typů teroristických útoků např. – z *Homeland security planning Scenarios, Radiological attack – Radiological dispersal devices*¹⁰³, kde autoři provedli simulaci tří teroristických útoků za použití špinavé bomby s ^{137}Cs jako radioaktivní látky - vyplývá, a platilo by to zejména v daném případě (rozptyl smolince), že počet obětí takového útoku by byl dán především v důsledku samotné exploze, nikoliv působením rozptýleného radionuklidu. Podle jejich odhadů, by žádný člověk ne onemocněl akutní nemocí z ozáření¹⁰⁴, ale stochastické účinky by se samozřejmě za čas projevyly. Závažné by byly „neradiační“ – ekonomické, sociální a psychologické ztráty související zejména s likvidací následků útoku.

Abychom upřesnili představu, jak malá by byla obdržená dávka od smolince, můžeme ji porovnat např. i s roční dávkou z přírodního pozadí. Tato dávka je v České

¹⁰³ *Homeland security planning Scenarios, Radiological attack – Radiological dispersal device*. [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://www.globalsecurity.org/security/ops/hsc-scen-11.htm>>.

¹⁰⁴ Každý člověk, který by dostal potřebnou dávku, k propuknutí této nemoci, by dříve zemřel na následky použití trhaviny.

republiky přibližně 3,5 mSv. Jak již je z uvedených výsledků vidět, smolinec by jakožto radioaktivní látka, nezpůsobil významné radioaktivní zamoření.

K dalšímu srovnání můžeme použít radiační nehodu, která se stala v brazilské Goianě v roce 1987. Jedná se sice o radiační nehodu, přesto je v konečných důsledcích podobná situaci, která by nastala při likvidaci následků špinavé bomby.

Několik osob odcizilo lékařské radiologické zařízení, které obsahovalo radioaktivní cesium ve formě prášku – CsCl (chlorid cesný – v podobě prášku). o aktivitě 50,9 TBq (k roku 1987), dávkový příkon ve vzdálenosti od zdroje byl 4,56 Gy/h.¹⁰⁵Tento prášek vydával modré Čerenkovovo záření. Při neodborné demontáži, došlo k porušení kapsle s tímto cesiem. V Goianě probíhal tehdy karneval a někteří lidé si toto cesium pro jeho modré (Čerenkovovo) záření dali do vlasů. Několik osob tedy přišlo do bezprostředního kontaktu s radionuklidem a jiné se pohybovaly v přímé blízkosti tohoto zdroje. Pár dní po té se u několika z nich začaly projevovat příznaky nemoci z ozáření, např. zvracení, nauzea, průjem a tak vyhledali lékaře. Ten z počátku tyto příznaky jako důsledek ozáření nedignostikoval. Pozdní diagnózy a tím i pozdní zahájení záchranných a likvidačních prací měly za následek katastrofální škody.

Od 30. září do 22. prosince 1987 bylo celkem monitorováno 112 000 osob, z toho u 249 osob byla zjištěná vnitřní nebo vnější kontaminace a z toho 129 osob bylo ozářeno oběma způsoby naráz. 49 lidí bylo hospitalizováno a 20 z nich potřebovalo intenzivní lékařskou pomoc. Během této nehody zemřeli 4 lidé¹⁰⁶ a jednomu pacientovi bylo amputováno předloktí.¹⁰⁷

Vezmeme-li v potaz ekonomické důsledky této události, musíme do nákladů započítat nejen léčbu samotných ozářených osob a nasazení značných zdravotnických kapacit, ale především likvidaci následků této nehody. Když vezmeme v úvahu např. dekontaminaci zamořené oblasti, která představovala odbagrování dekontaminované půdy, demolici několika domů a likvidaci vzniklého kontaminovaného odpadu¹⁰⁸, která si vyžádala výstavbu speciálního dlouhodobého skladu, kdy asi 3000 m³ odpadů bude

¹⁰⁵ 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 – ¹³⁷Cs má poločas rozpadu 30 let).

¹⁰⁶ Obdrželi dávky 4,5 až 6 Gy.

¹⁰⁷ IAEA. *The Radiological Accident in Goiânia*. IAEA. Vienna. 1988. STI/PUB/815. ISBN 92-0-129088-8.

¹⁰⁸ Bylo kontaminováno až 35 tisíc m³ odpadu.

skladováno až 300 let, dostaneme se k částce převyšující několik desítek milionů amerických dolarů.¹⁰⁹

Na tyto primární náklady samozřejmě navazují tzv. sekundární náklady, které souvisejí třeba s poklesem turistického ruchu, nezájem o výrobky pocházející z této oblasti a podobné aspekty, na něž navazuje celá řada ekonomických fenoménů, které v konečném důsledku celkové náklady zvyšují.

Je třeba zdůraznit, že v tomto případě se jednalo „pouze“ o nehodu, při které neměl nikdo v úmyslu cesium rozptýlit. A i přesto došlo ke 4 úmrtím a 249 osob bylo kontaminováno. Nastala také ale panika, sto tisíc obyvatel města požadovalo okamžité lékařské testy, zda nejsou kontaminováni. Nemocnice byly zahlcené a lidé demonstrovali v ulicích.

Tuto kapitolu jsem sem zařadila z důvodu, aby bylo zřejmé, že riziko použití špinavé bomby je sice poměrně velké (pokud vezmeme v potaz náklady a účinky bomby) nicméně pravděpodobnost, že by si někdo vybral smolinec jako radioaktivní látku do této bomby je dost nízká.

¹⁰⁹ PROUZA, Z., ŠVEC, J. *Zásahy při radiční mimořádné události*. Ostrava: Edice Sibi Spektrum, 2008. 125 s. ISBN 978-80-7385-046-3.

6 ZÁVĚR

Jedním z cílů mé bakalářské práce bylo přinést ucelený přehled o současném mírovém využívání smolince v různých oblastech.

V první kapitole jsem se zmínila o smolinci jako rudě, jeho fyzikálních a chemických vlastnostech a také místech těžby. Dále jsem se zabývala historií, která je již od prvních zmínek velmi zajímavá. Je třeba si uvědomit, že právě díky smolinci a samozřejmě manželům Curierovým, byly objeveny dva nové prvky – polonium a radium. Do této doby byl smolince těžen jen přidruženě a občas přenecháván chemickým továrnám, sklárnám a porcelánkám, které z něj vyráběly barvy pro sklo a porcelán. V pozdější době byl tento nerost využíván hlavně pro válečné účely z důvodu získávání uranu pro výrobu jadernou bombu.

V následujících kapitolách jsem nastínila mírové využívání smolince a to jak v jaderných zařízeních, kde se užívá jako jaderné palivo, tak v oblastech lékařství, např. v brachyterapii, kde je použito již zmíněné radium, tak v různých odvětvích průmyslu z nichž zde můžu zmínit např. radiační defektoskopii nebo výrobu chemického koncentrátu uranu. Rovněž charakterizují užívání smolince v oblasti vědy a školství v experimentálních školních reaktorech. K tomuto mohu dodat, že tento cíl mé práce byl splněn.

Další kapitoly jsem věnovala radioaktivitě a objasnění významu slova terorismus. Pokusila jsem se o stručné shrnutí těchto pojmů, s vyjmenováním i popsáním různých typů ionizujících záření. K výsledkům mé práce se jedná o stěžejní pojmy.

Následující kapitoly se již věnují teroristickému zneužití smolince a to z hlediska použití špinavé bomby. Mým druhým cílem bylo totiž vyhodnotit riziko možného teroristického zneužití této rudy. V kapitole Výsledky jsem vypočítala přibližné dávky, které by osoby za určitých podmínek obdržely. Musím říci, že tyto dávky by nebyly nijak velké v poměru např. s cesiem, se kterým jsem prováděla komparaci. Výsledky naznačují, že pravděpodobnost použití smolince jako radioaktivní náplně do špinavé bomby není příliš velká.

Pro srovnání jsem v kapitole Diskuze popsala radiační nehodu, která se stala v brazilské Goianě. Jednalo se mi především o poukázání na fakt, že postižené osoby

přišly do přímého kontaktu s cesiovým zářičem, který je mnohem silnějším zářičem než smolinec. Zmíněné osoby kontaminovaly sebe i své okolí, a jelikož důvod jejich potíží nebyl ihned odhalen, nebyly léčeny v prvotních fázích. Přesto zemřeli „pouze“ 4 lidé a 249 osob bylo kontaminováno. Tímto, a především zjištěnými výsledky, jsem chtěla poukázat na fakt, že kdyby někdo pomýšlel na teroristický útok špinavou bombou, zvolil by si zřejmě jiný radioaktivní materiál než právě smolinec.

Na základě analýzy výše uvedených faktů musím konstatovat potvrzení hypotézy, že smolinec je možné využít při teroristickém útoku. Je však nutné podotknout, vzhledem k jeho nízké měrné aktivitě, jak výsledky naznačují, následky tohoto zneužití by nebyly příliš významné. Ovšem v případě použití některých prvků, které smolinec obsahuje, např. radium, polonium, bismut, ale i uran aj., při určitém množství a především za určitých koncentrací, by riziko zneužití značně stoupl. Přestože zatím nedošlo k teroristickému použití špinavé bomby se smolincem, nelze tuto možnost, i přes nízké riziko, zcela vyloučit.

Myslím, že má práce může sloužit jako základní shrnutí současných poznatků o smolinci a některých jeho prvků. Vzhledem k tomu, že jsem nikde žádný podobný souhrn nenašla, pokusila jsem se svým zpracováním zpřístupnit tuto problematiku laické veřejnosti. Navíc doufám, že jsem svou prací částečně přispěla k vyvrácení některých mýtů obklopující radioaktivitu smolince a uranem barveného skla.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Seznam literatury:

- 1) ALANI, M. *Nuclear Terrorism in the Gulf: Myt hor Reality?* Security and Terrorism, Research Bulletin. Issue No.7, December 2007. str. 12- 16.
- 2) AUGUSTA a spol. *Velká kniha o energii*. Praha: L.A. Consulting Agency spol. s.r.o., 2001. 383 s. ISBN 80-238-6578-1.
- 3) BĚHOUNEK, F. *Atomy vládnou: člověk v atomovém věku*. 1. vyd. Praha: PRESSFOTO, 1972. 270 s.
- 4) ČEJKA, M. *Encyklopedie blízkovýchodního terorismu*. 1.vyd. Brno: Barrister a Principál, 2007. 223 s. ISBN 978-80-87029-19-0.
- 5) DELACROIX, D. a kol. *Radionuclide and radiation protection data handbook 1998*. Časopis „Radiation protection dosimetry“ Nuklear technology publishing, 1998. vol.76 ISBN 1870965515.
- 6) DUŠEK, P., PÍŠALA, J. *Jaderné zbraně*. 1.vyd. Brno: Computer Press, 2006. 88 s. ISBN 80-251-0817-1.
- 7) ĎUDA, R., REJL, L., SLIVKA, D. *Minerály*. české vyd. Praha: AVENTINUM, 1997. 520 s. (Velký průvodce.) ISBN 80-7151-030-0.
- 8) *Generic proceduers for assessment and response during a radiological emergency*. IAEA-TECDOC-1162, Vienna, 2000.
- 9) IAEA. *The Radiological Accident in Goiânia*. IAEA. Vienna. 1988. STI/PUB/815. ISBN 92-0-129088-8.

- 10) KOLEKTIV AUTORŮ POD VEDENÍM MINISTERSTVA ZAHRANIČNÍCH VĚCÍ ČR. *Bezpečnostní strategie České republiky 2011*. Praha 2011. 21 s. ISBN 978-80-7441-005-5.
- 11) PROUZA, Z. a kol. *Field tests using radioactive matter*. Časopis „Radiation Protection Dosimetry“ Nuklear technology publishing, 2010; doi: 10.1093/rpd/ncp299.
- 12) PROUZA, Z. a kol. *Metody a opatření k omezení vzniku a k likvidaci následků teroristického zneužití radioaktivních látek*. Praha: SÚRO, 2010. Výzkumná zpráva veřejné zakázky SÚJB VaV č.2/2008.
- 13) PROUZA, Z. *Problémy stanovení bezpečnostních/ochranných zón*. SÚRO. Praha: 2008.
- 14) PROUZA, Z., ŠVEC, J. *Zásahy při radiální mimořádné události*. Ostrava: Edice Sibi Spektrum, 2008. 125 s. ISBN 978-80-7385-046-3.
- 15) ROZMAN, J., a kolektiv. *Elektronické přístroje v lékařství*. 1.vyd. Praha: Acadamia, 2006. 432 s. ISBN 80-200-1308-3.
- 16) SEIDLEROVÁ, I., SEIDLER, J. *Jáchymovská uranová ruda a výzkum radioaktivity na přelomu 19. a 20. století*. Praha: Společnost pro dějiny věd a techniky, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7037-002-5.
- 17) ŠTAMBERG, K. *Technologie jaderných paliv I*. Praha: České vysoké učení technické, 1994. 225 s. ISBN 8001011682.
- 18) ZÖLZER, F., KUNA, P., NAVRÁTIL, L. *Mechanismy účinků ionizujícího záření*, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, České Budějovice, 2007. 21 s.

Seznam internetových zdrojů:

- 19) AEROSPACEWEB. *Boeing 747 Long – Range Jetliner* [online]. [cit. 2012-04-09].
Dostupné z: <<http://www.aerospaceweb.org/aircraft/jetliner/b747/>>.
- 20) ANTIŠKOLA.EU Dolní Rožínka [online]. [cit. 2012-04-09].
Dostupné z: <http://www.antiskola.eu/referaty_cz>.
- 21) BRUCE, J., HARRIS, J. *Glioblastoma Multiforme* [online]. [cit. 2012-04-09].
Dostupné z: <<http://emedicine.medscape.com/article/283252-overview#a0101>>.
- 22) CENTRUM VÝZKUMU ŘEŽ s.r.o. *LVR-15 detaily a historie* [online].
[cit. 2012-04-09].
Dostupné z: <<http://www.cvrez.cz/web/lvr-15-detaily-historie>>.
- 23) CENTRUM VÝZKUMU ŘEŽ s.r.o. *Výzkumný reaktor LR-0* [online]. [cit. 2012-04-09].
Dostupné z: <<http://www.cvrez.cz/web/vyzkumny-reaktor-lr-0>>.
- 24) HOFMANN, Z. *Uran ve světě* [online]. [cit. 2012-04-09].
Dostupné z: <<http://www.hofmann.estranky.cz/fotoalbum/uran/uran-ve-svete/uran-zluty-kolac-4815f7f624ed5.jpg.html>>.
- 25) *Homeland security planning Scenarios, Radiological attack – Radiological dispersal device*. [online]. [cit. 2012-04-09].
Dostupné z: <<http://www.globalsecurity.org/security/ops/hsc-scen-11.htm>>.
- 26) HYNKOVÁ, L., DOLEŽALOVÁ, H., ŠLAMPA, P. *Radioterapie – učební texty pro studenty 5. roč. LF MU Brno* [online]. Klinika radiační onkologie, LF MU [cit. 2012-04-09].
Dostupné z: <<http://www.mou.cz/radioterapie>>.

27) JIRÁSEK, J., VAVRO, M. *Využití radioaktivních surovin, Nejaderné využití* [online]. Institut geologického inženýrství Hornicko-geologická fakulta, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství Fakulta stavební, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyuziti_radioaktivnich.html>.

28) KATEDRA JADERNÝCH REAKTORŮ, ČVUT. *Školní reaktor VR – 1, Jaderné palivo reaktoru* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <http://reaktorvr1.eu/popis_jp.htm>.

29) KATEDRA JADERNÝCH REAKTORŮ, ČVUT. *Školní reaktor Vr – 1, Popis reaktoru* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <<http://reaktorvr1.eu/popis.htm>>.

30) KATEDRA JADERNÝCH REAKTORŮ, ČVUT. *Školní reaktor VR – 1, Výuka na reaktoru*, [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <<http://reaktorvr1.eu/vyuka.htm>>.

31) KATEDRA JADERNÝCH REAKTORŮ, ČVUT. *Školní reaktor VR – 1, Výzkum a vývoj na reaktoru* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <<http://reaktorvr1.eu/vyzkum.htm>>.

32) KAŇKOVÁ, J. *Špinavá bomba* [online]. Jihočeská univerzita České Budějovice, Zdravotně sociální fakulta, 2006. [cit. 2012-04-09].

Dostupné : <<http://www.toxicology.cz/modules.php?name=News&file=article&sid=31>>.

33) REICHL, J., VŠETIČKA, M. *Encyklopedie fyziky – Radioaktivní záření v organismu a veličiny s tím související* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/843-radioaktivni-zareni-v-organismu-a-veliciny-s-tim-souvisejici>>.

34) SKUPINA ČEZ. *Světová výroba elektřiny v jaderných elektrárnách* [online]. 2012 [cit. 2012-04-09].

Dostupné :<<http://www.cez.cz/cs/pro-media/cisla-a-statistiky/energetika-ve-svete.html>>.

35) SKUPINA ČEZ. *Temelín* [online]. 2012 [cit. 2012-04-09].

Dostupné:<<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrany-cez/ete.html>>.

36) SPURNÁ, L. *Právní aspekty boje s mezinárodním terorismem* [online]. Rigorózní práce, Právnická fakulta Masarykovy univerzity, Katedra trestního práva, Brno: 2006 [cit. 2012-04-09].

Dostupné z:<http://is.muni.cz/th/53737/pravf_r/>.

37) STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Problematika uranem barveného skla* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné:<<http://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/zajimavosti-z-praxe-radiacni-ochrany/problematika-uranem-barveneho-skla/>>.

38) STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Registrační karta zdroje ionizujícího záření – uzavřený radionuklidový zářič* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <http://www.sujb.cz/ireg/RegKartaLoader?soubor_id=5&revize=1>.

39) STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Vznik a vývoj havárie na jaderné elektrárně Fukushima Dai-ichi* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné :<<http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/aktualne/Fukushima/Vznikhavarie.pdf>>.

40) STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Záchyt v Praze – Podolí, ze dne 28.9.2011* [online]. Článek [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <<http://www.sujb.cz/aktualne/detail/clanek/zachyt-v-praze-podoli-ze-dne-2892011/>>.

41) ULLMANN, V. *Aplikace ionizujícího záření – jaderné a radiační metody* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z:<<http://astronuklfyzika.cz/JadRadMetody.htm#Defektoskopie>>.

42) ULLMAN, V., a spol. *Radiační ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření v nukleární medicíně* [online]. FNŠP Ostrava [cit. 2012-04-09].

Dostupné z:<<http://astronuklfyzika.cz/RadOchrana.htm>>.

43) ÚSTAV JADERNÉHO VÝZKUMU ŘEŽ, a.s. *Reaktor LR – 0* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z:<<http://www.nri.cz/web/ujv-800/reaktor-lr-0>>.

44) ÚSTAV JADERNÉHO VÝZKUMU ŘEŽ, a.s. *Reaktor LVR – 15* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z:<<http://www.nri.cz/web/ujv-800/reaktor-lvr-15>>.

45) VÁVRA, V., LOSOS, Z. *Multimediální studijní texty z mineralogie* [online]. Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity. [cit. 2012-04-09].

Dostupné :<<http://is.muni.cz/do/1499/el/estud/prif/ps09/9045979/web/kapitola7/5.html>>.

46) VELEBIL, D. *Geologie, mineralogie, historie dolování* [online]. Národní muzeum v Praze, mineralogicko-petrologické oddělení. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z:<<http://www.velebil.net/mineraly/uraninit>>.

47) VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *Výroba chemického koncentráту uranu* [online]. Ostrava: 2008 [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/Chemproc/text_2.htm>.

48) VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *Výroba chemického koncentráту uranu* [online]. Ostrava: 2008 [cit. 2012-04-09].

Dostupné z:< http://hgf10.vsb.cz/546/Chemproc/odkazy/chemicka_uprava_uranu.htm >.

49) *Vyhláška č. 281/2001 Sb., kterou se provádí § 9 odst. 3 písm. a) zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon) ve znění pozdějších předpisů* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z:< <http://www.msmt.cz>>.

50) *Vyhláška MV č. 328/2001 Sb., o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z:<www.hzscr.cz/soubor/vy328-2001-pdf.aspx>.

51) *Vyhláška MV č. 380/2002 Sb., k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z:< www.hzscr.cz/soubor/vy-380-2002-pdf.aspx>.

52) *Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně* [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z:<www.sujb.cz>.

53) *Zákon č. 18/1997 o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění* [online].

Státní úřad pro jadernou bezpečnost, [cit. 2012-04-09].

Dostupné z:<www.sujb.cz>.

54) *Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <aplikace.mvcr.cz/archiv2008/sbirka/2000/sb073-00.pdf>.

55) *Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon)* [online]. [cit. 2012-04-09].

Dostupné z: <aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=5925>.

8 KLÍČOVÁ SLOVA

Ionizující záření

Smolinec

Špinavá bomba

Terorismus

Uran

9 PŘÍLOHY

Seznam příloh:

Příloha 1 - Struktura uraninitu – uspořádání v základní buňce

Příloha 2 – Schématické uspořádání koordinačních oktaedrů uranu ve struktuře uraninitu, řez

Příloha 3 – Diuranát amonný (žlutý koláč)

Příloha 4 - Schéma úpravny uranu v Dolní Rožínce

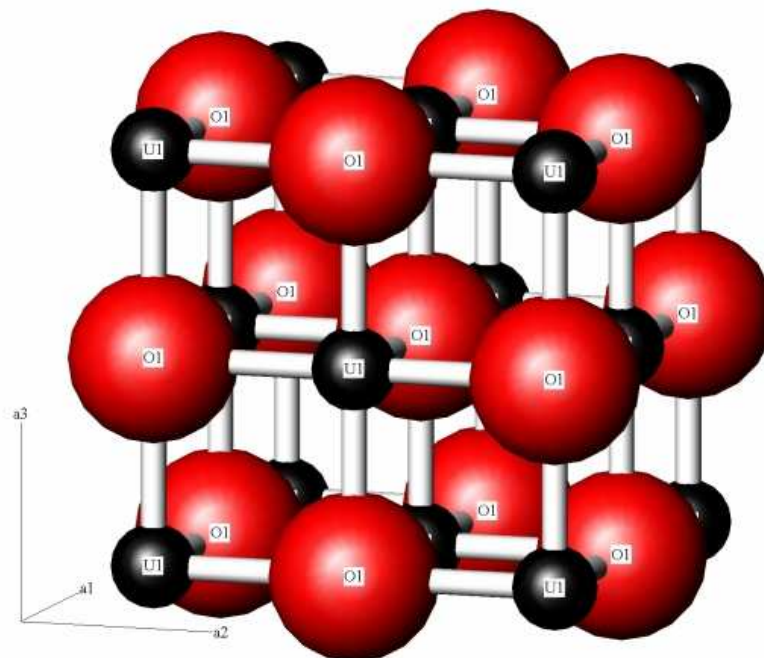
Příloha 5 - Schéma výroby palivových tablet na bázi oxidu uraničitého

Příloha 6 - Palivová tableta reaktoru VVER – 1000 JE Temelín

Příloha 7 – Registrační karta zdroje ionizujícího záření – uzavřený radionuklidový zářič

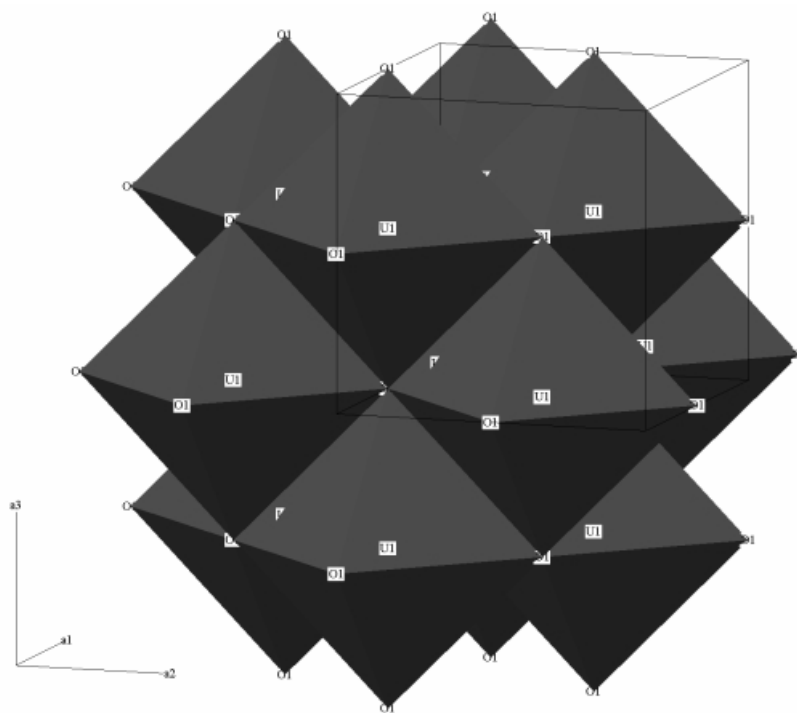
Příloha 8 - Skleněná váza „Velké vinobraní“ barvená uranovou žlutí

Příloha 1 – Struktura uraninitu – uspořádání v základní buňce¹¹⁰



¹¹⁰ Vytvořeno programem ATOMS (Shape Software). ¹¹⁰ VÁVRA, V., LOSOS, Z. *Multimediální studijní texty z mineralogie* [online]. Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity. [cit. 2012-04-09]. Dostupné : <<http://is.muni.cz/do/1499/el/estud/prif/ps09/9045979/web/kapitola7/5.html>>.

Příloha 2 – Schématické uspořádání koordinačních oktaedrů uranu ve struktuře uraninitu, řez¹¹¹



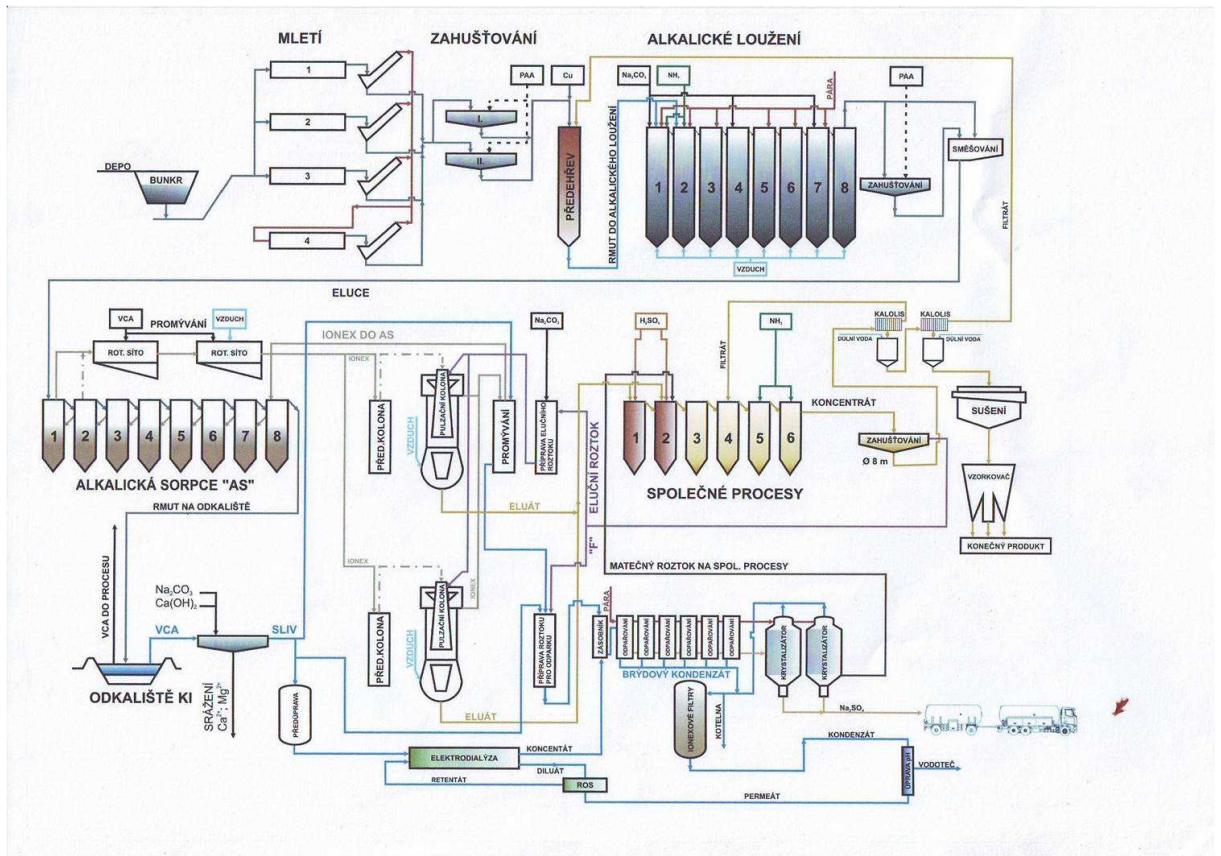
¹¹¹ VÁVRA, V., LOSOS, Z. *Multimediální studijní texty z mineralogie* [online]. Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity. [cit. 2012-04-09]. Dostupné :<<http://is.muni.cz/do/1499/el/estud/prif/ps09/9045979/web/kapitola7/5.html>>.

Příloha 3 – Diuranát amonný (žlutý koláč)¹¹²



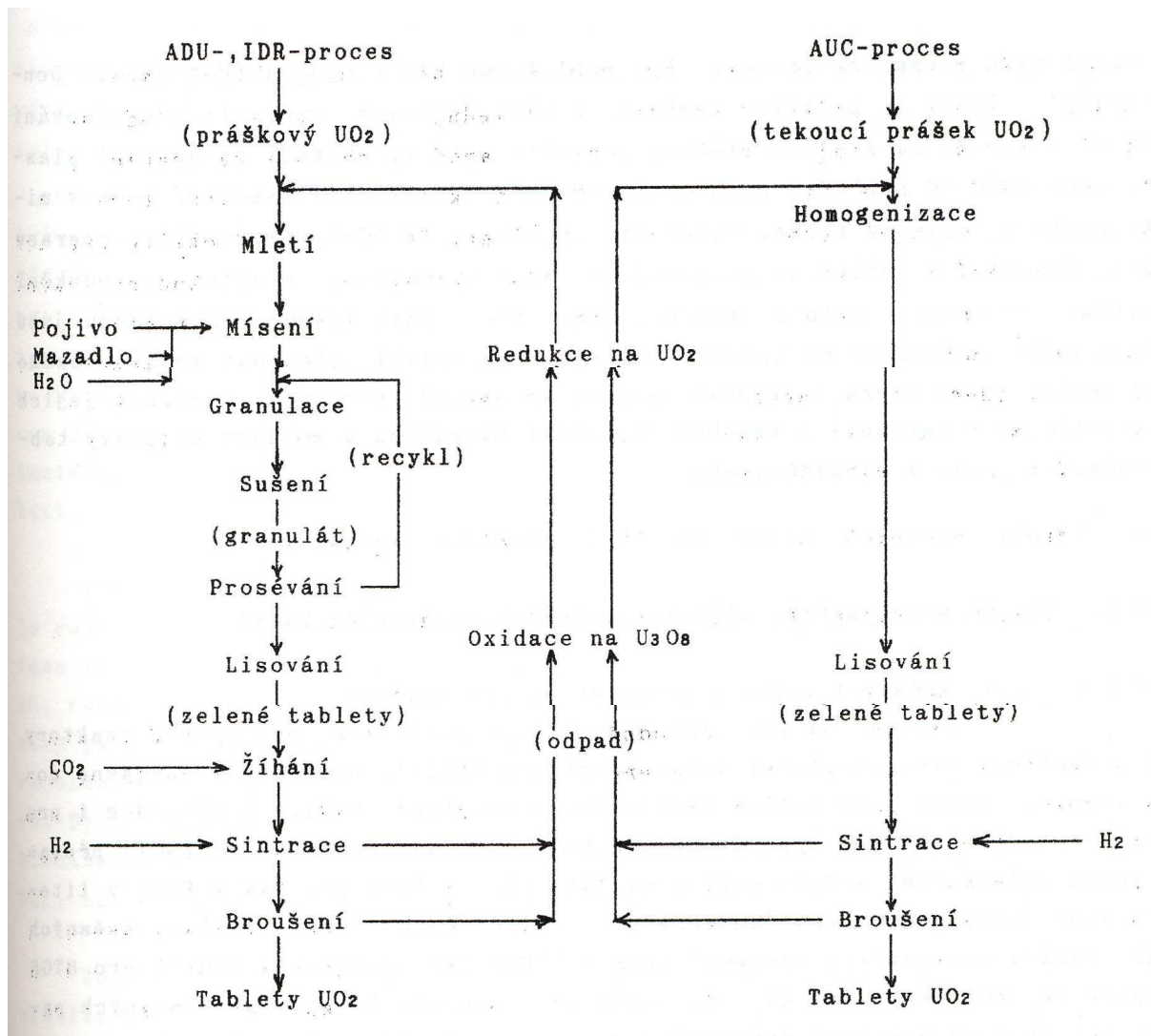
¹¹² HOFMANN, Z. *Uran ve světě* [online]. [cit. 2012-04-09].
Dostupné z: <<http://www.hofmann.estranky.cz/fotoalbum/uran/uran-ve-svete/uran-zluty-kolac-4815f7f624ed5.jpg.html>>.

Příloha 4 – Schéma úpravny uranu v Dolní Rožince¹¹³



¹¹³ VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. Výroba chemického koncentrátu uranu [online]. Ostrava: 2008 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: < http://hgf10.vsb.cz/546/Chemproc/odkazy/chemicka_uprava_uranu.htm >.

Příloha 5 – Schéma výroby palivových tablet na bázi oxidu uraničitého¹¹⁴



¹¹⁴ ŠTAMBERG, K. *Technologie jaderných paliv I*. Praha: České vysoké učení technické, 1994. 225 s. ISBN 8001011682.

Příloha 6 – Palivová tableta reaktoru VVER – 1000 JE Temelín¹¹⁵



¹¹⁵ SKUPINA ČEZ, *Temelín* [online]. 2012 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z:<<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderna-elektrarny-cez/ete.html>>.

Příloha 7 – Registrační karta zdroje ionizujícího záření – uzavřený radionuklidový zářič¹¹⁶

STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST, Senovážné náměstí 9, 110 00 PRAHA 1 tel. 221624556, 221624748

REGISTRAČNÍ KARTA ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ – UZAVŘENÝ RADIONUKLIDOVÝ ZÁŘIČ (URZ)

A.

1. Evidenční číslo SÚJB (uveďte, bylo-li přiděleno) Číslo listu (nevyplníte)

2. Typ hlášení (zaškrtněte)

200 o stávajícím zářiči (příp. změně^{b)} 210 o odběru zářiče 220 o předání zářiče 230 o likvidaci zářiče

Zvýrazněná pole je nutné vyplnit

3. Držitel povolení k používání uzavřeného radionuklidového zářiče Trvalý pobyt FO, sídlo PO Kontaktní spojení	Fyzická osoba (FO) Příjmení: _____ Právnícká osoba (PO) Název a právní forma: _____ město: _____ telefon: _____	jméno: _____ ulice/číslo: _____ fax: _____ ulice/číslo: _____	titul: _____	RČ: _____ IČO: _____ PSC: _____
Místo provozované činnosti ^{c)}	Název pracoviště: _____	Pracovní místo: _____		PSC: _____
Dohlížející osoba	Příjmení: _____	Jméno: _____		
4. Vlastník uzavřeného radionuklidového zářiče ^{d)} Trvalý pobyt FO, sídlo PO Kontaktní spojení	Fyzická osoba Příjmení: _____ Právnícká osoba Název a právní forma: _____ město: _____ telefon: _____	jméno: _____ ulice/číslo: _____ e-mail: _____ fax: _____	titul: _____	RČ: _____ IČO: _____ PSC: _____
5. Přijímací zkouška/č. protokolu: _____	ze dne: _____	6. Zkouška dlouhodobé stability / č. protokolu: _____	ze dne: _____	
7. INFORMACE O UZAVŘENÉM RADIONUKLIDOVÉM ZÁŘIČI - URZ				
Typové označení: _____	Datum převzeti zářiče: _____			
Typové schválení (rozhodnutí SÚJB čís./ze dne): _____	Datum uvedení do provozu: _____			
Katalogový kód typu: _____	Odolnost URZ (ISO): _____			
Vyplnil (datum, jméno a podpis): _____	Datum začátku platnosti: _____			

^{b)} v případě hlášení změny u zdroje vyplňte povinně pouze řádek 1. a dále pouze řádky, kterých se změna týká

^{c)} vyplňte, pokud neodpovídá trvalému pobytu

^{d)} vyplňte, pokud je odlišný od uvedeného držitele povolení (může se jednat např. o pronajímatele zdroje)

10 04 03

Uvedená data slouží k vedení systému státní evidence zdrojů ionizujícího záření v souladu s § 3 písmeno o) zákona č. 18/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů a § 80 odst. 4 písm. a) vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb. Vedená evidence splňuje požadavky zákona č. 101/2000 Sb. o ochraně osobních údajů.

1

STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST, Senovážné náměstí 9, 110 00 PRAHA 1 tel. 221624556, 221624748

REGISTRAČNÍ KARTA ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ – UZAVŘENÝ RADIONUKLIDOVÝ ZÁŘIČ (URZ)

B. IDENTIFIKACE UZAVŘENÉHO RADIONUKLIDOVÉHO ZÁŘIČE

STATUS ZDROJE	OBLAST UŽITÍ		TECHNICKÁ ÚPRAVA ZDROJE	
10 aktivně používán na území republiky			401000	URZ nespécifikovaný
20 aktivně používán mimo republiku	100	průmysl	402000	URZ kalibrační
30 v pracovním skladu	200	lékařství	403200	URZ karotážní
40 dlouhodobě uskladněn před likvidací	300	veterinární lékařství	ZPŮSOB LIKVIDACE ZDROJE	
	400	školařství, výzkum	30	předán k uložení
	500	ostatní	40	přeměna v jiný zdroj
	600	armáda	50	likvidován mimo republiku

C.

Při hlášení likvidace již evidovaného zářiče vyplňte pouze C1, C2, C3 a C11

1. DRUH RADIONUKLIDU (SPECIFIKACE)	
2. ČÍSLO OSVĚDČENÍ: _____	3. VÝROBNÍ ČÍSLO: _____
4. ÚDANÁ AKTIVITA ZÁŘIČE	Bq k datu
5. Údaná kermová vydatnost	Gy.m ⁻² .s ⁻¹ k datu
6. Datum výroby: _____	8. Doporučená doba používání: _____
7. Výrobce: _____	
9. Zářič předán (název, IČO/RČ a adresa)	
10. Datum předání: _____	11. Datum likvidace _____

Uvedená data slouží k vedení systému státní evidence zdrojů ionizujícího záření v souladu s § 3 písmeno o) zákona č. 18/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů a § 80 odst. 4 písm. a) vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb. Vedená evidence splňuje požadavky zákona č. 101/2000 Sb. o ochraně osobních údajů.

2

¹¹⁶ STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. Registrační karta zdroje ionizujícího záření – uzavřený radionuklidový zářič [online]. [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.sujb.cz/ireg/RegKartaLoader?soubor_id=5&revize=1>.

Příloha 8 – Skleněná váza „Velké vinobraní“ barvená uranovou žlutí¹¹⁷



¹¹⁷ JIRÁSEK, J., VAVRO, M. *Využití radioaktivních surovin, Nejaderné využití* [online]. Institut geologického inženýrství Hornicko-geologická fakulta, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství Fakulta stavební, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyuziti_radioaktivnich.html>.