

UNIVERZITA JANA AMOSE KOMENSKÉHO PRAHA

**BAKALÁŘSKÉ KOMBINOVANÉ
STUDIUM**

2013 – 2014

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vít Faltejsek

Bezpečnost pracovišť se zdroji ionizujícího záření

Praha 2014

Vedoucí bakalářské práce: Doc. PhDr. Petr Sak, Csc.

JAN AMOS KOMENSKY UNIVERSITY PRAGUE

**BACHELOR COMBINED (PART TIME)
STUDIES**

2013 - 2014

BACHELOR THESIS

Vít Faltejsek

**Safety and Security of workplaces with ionising
radiation**

Prague 2014

The Bachelor Thesis Work Supervisor: Doc. PhDr. Petr Sak, Csc.

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Veškerou literaturu a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpal, v práci řádně cituji a jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v univerzitní knihovně.

V Kralupech nad Vltavou dne 25. 2. 2014 *Vít Faltejsek*

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Doc. PhDr. Petru Sakovi, CSc. za vstřícný přístup a spolupráci.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá problematikou zabezpečení a bezpečnosti pracovišť se zdroji ionizujícího záření. Rozebírá možné hrozby a způsoby zabezpečení proti těmto hrozbám. Porovnává současný způsob zabezpečení těchto pracovišť v České republice s požadavky a doporučeními Mezinárodní agentury pro atomovou energii.

Klíčové pojmy

Bezpečnost, hrozba, jaderné zařízení, pracoviště se zdroji ionizujícího záření, riziko, zabezpečení

Annotation

Bachelor thesis deals with the security and safety of workplaces with ionizing radiation. It analyzes the possible threats and ways to avoid these threats. It compares the current security method such facilities in the Czech Republic with the requirements and recommendations of the International Atomic Energy Agency.

Key words

Nuclear facilities, risk, safety, security, threat, workplaces with ionizing radiation

OBSAH

ÚVOD	10
TEORETICKÁ ČÁST	12
1 BEZPEČNOST A VYUŽÍVÁNÍ ZDROJŮ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ A JADERNÉ ENERGIE	12
1.1 Vymezení pojmů	12
1.1.1 Zabezpečení (Security).....	13
1.1.2 Bezpečnost (Safety)	13
1.1.3 Hrozba.....	14
1.1.4 Riziko.....	14
1.2 Pracoviště se zdroji ionizujícího záření	14
1.2.1 Zdroj ionizujícího záření	15
1.2.2 Technické zařízení pracoviště	16
1.2.3 Obsluhující personál	16
1.2.4 Systém řízení.....	16
1.3 Okolí pracoviště se zdroji ionizujícího záření	17
1.3.1 Životní prostředí	17
1.3.2 Lidská společnost	17
1.4 Hrozby spojené s pracovišti se zdroji ionizujícího záření	20
1.5 Ionizující záření a jeho druhy.....	20
1.5.1 Přímě ionizující záření	21
1.5.2 Nepřímě ionizující záření	21
1.6 Působení ionizujícího záření na lidský organismus.....	23
1.6.1 Působení různých druhů záření	23
1.6.2 Mechanismus působení ionizujícího záření na živý organismus.....	23
1.6.3 Vztah množství záření a účinku.....	25
1.7 Cesty působení ionizujícího záření na lidský organismus.....	26
1.8 Základní způsoby ohrožení různými typy zdrojů.....	27
1.8.1 Neřízená štěpná reakce a mimořádné události v jaderné elektrárně	27
1.8.2 Sklady vyhořelého jaderného paliva	28
1.8.3 Jaderné materiály.....	29
1.8.4 Zdroje neobsahující radioaktivní látky	29

1.8.5	Zdroje obsahující radioaktivní látky	30
1.8.6	Shrnutí potenciálních hrozeb.....	31
1.9	Princip ochrany při manipulaci se zdroji ionizujícího záření ...	32
1.9.1	Technické základy ochrany před ionizujícím zářením	32
1.9.2	Technicko-organizační principy	33
1.10	Zabezpečení pracovišť se zdroji ionizujícího záření	33
2	DOPORUČENÍ MEZINÁRODNÍ AGENTURY PRO ATOMOVOU ENERGIÍ	35
2.1	Základní bezpečnostní principy.....	35
2.2	Doporučení v oblasti zabezpečování.....	37
	Základní prvek 1: Odpovědnost státu.....	37
	Základní prvek 2: Určení a vymezení odpovědnosti za zabezpečování jaderných zařízení.....	37
	Základní prvek 3: Legislativní a dozorový rámec	37
	Základní prvek 4: Mezinárodní přeprava jaderných a radioaktivních materiálů.....	37
	Základní prvek 5: Delikty a sankce včetně kriminalizace.....	38
	Základní prvek 6: Mezinárodní spolupráce a pomoc	38
	Základní prvek 7: Identifikace a hodnocení ohrožení jaderné bezpečnosti	38
	Základní prvek 8: Identifikace a vyhodnocení cílů a možných následků	38
	Základní prvek 9: Přístup na základě znalosti rizika	38
	Základní prvek 10: Zjištění události	38
	Základní prvek 11: Plánování, připravenost a zvládnutí události	38
	Základní prvek 12: Udržování režimu jaderného zabezpečení.....	38
2.2.1	Doporučení pro pracoviště.....	39
3	SOUČASNÉ ŘEŠENÍ BEZPEČNOSTI PRACOVIŠŤ SE ZDROJI IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ V ČESKÉ REPUBLICE	40
3.1	Legislativní rámec	40
3.2	Zabezpečení vybraných pracovišť se zdroji ionizujícího záření.....	41
3.2.1	Zabezpečení pracovišť s ozařovači	41
3.2.2	Zabezpečení úložiště radioaktivního odpadu Richard	44

ZÁVĚR	52
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	54
SEZNAM ZKRATEK	58
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	58
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	58
SEZNAM TABULEK	58
SEZNAM PŘÍLOH.....	58

ÚVOD

Ionizující záření, radioaktivita nebo jaderná energie jsou poměrně nové pojmy. V prosinci 1895 objevil německý fyzik Wilhelm Conrad Rentgen ve Würzburgu zcela nový druh záření, který nazval paprsky X (rentgenové záření). V únoru následujícího roku v Paříži experimentuje Henry Becquerel se solemi uranu a v květnu 1896 potvrzuje objev radioaktivity.

Tyto poznatky odstartovaly rozvoj nového odvětví jaderné fyziky. Ve 30. letech 20. století už fyzikové tušili ohromné síly, které je možné uvolnit při jaderných reakcích, přesto pokračovali ve svých výzkumech. Pokusy prováděné v Německu v letech 1935 - 38 prokázaly štěpení atomů uranu neutrony. Během 2. světové války se v USA plně rozběhl projekt na výrobu jaderné pumy (projekt Manhattan). V jeho rámci byl v prosinci 1942 v Chicagu uveden do provozu první jaderný reaktor¹.

Využití zmíněných objevů bylo poměrně rychlé. Rentgenovo záření bylo záhy (1896)² využito v lékařství. Zajímavé je, že v Praze nebyl první rentgen instalován v nemocnici, ale byl pořízen pro obveselení hostů v restauraci³, z dnešního pohledu šokující, ale tehdy normální.

Radioaktivní látky byly záhy využívány pro lékařské účely (Institut du Radium, Paříž 1914, M. Sklodowska).⁴

Zavádění výsledků výzkumu využití jaderné energie do praxe je ukázkou toho, že lidstvo preferuje vojenské použití před civilním. První jaderné zbraně byly připraveny a použity na konci 2. světové války (pokusný výbuch na střelnici Alamogorgo v Novém Mexiku v červenci 1945 a následné svržení pum na Hirošimu (6. 8. 1945) a Nagasaki (9. 8. 1945)). To kontrastuje s faktem, že první elektřina byla pomocí jaderné energie vyrobena reaktorem EBR-I až v roce 1951(USA)⁵, tady však nešlo o připojení do sítě.

¹ MACOUN, J. *Atomový věk začal přesně před 70 roky reaktorem ze dřeva* [online], 2.12. 2012, [cit. 25.12.2013] Dostupné z: technet.idnes.cz/fermi-a-prvni-jaderny-reaktor-d21-veda.aspx?c=A121130_170709_veda_mla

² *Wilhelm Conrad Röntgen*, [online], [cit. 25.12.2013] Dostupné z: www.rentgen.eu/prilohy/4/uvod_princip_001.pdf

³ BAKALA, J. *LÉKAŘSTVÍ: Z historie RTG* [online], 4.4. 2007, [cit. 25.12.2013] Dostupné z: neviditelnypes.lidovky.cz/lekarstvi-z-historie-rtg-0hf-/p_veda.aspx?c=A070402_113424_p_veda_wag

⁴ *Maria Curie-Sklodowska* [online], 23.12.2013, [cit. 25.12.2013] Dostupné z: cs.wikipedia.org/wiki/Maria_Curie-Sk%C5%82odowska

⁵ *An Energy Landmark*, [online], [cit. 25.12.2013] Dostupné z: [//www.inl.gov/ebr/](http://www.inl.gov/ebr/)

Za první jadernou elektrárnu tak je označována elektrárna v Obninsku (Sovětský svaz, 1954)⁶ . V současné době je provozováno 435 energetických reaktorů s instalovaným výkonem 371 989 MW elektrického výkonu⁷.

⁶ *Jaderná elektrárna*, [online], 20.12.2013, [cit. 25.12.2013] Dostupné z: cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1_elektr%C3%A1rna

⁷ IAEA, *Power Reactors Information System*, 14. 2.2014, [cit. 18.2.2014] www.iaea.org/pris/.

TEORETICKÁ ČÁST

1 BEZPEČNOST A VYUŽÍVÁNÍ ZDROJŮ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ A JADERNÉ ENERGIE

1.1 Vymezení pojmů

Ve své práci se chci zabývat bezpečnostními aspekty pracovišť se zdroji ionizujícího záření. V první řadě je potřeba rozebrat a jasně definovat použití jednotlivých pojmů. I základní pojmy jsou často chápány intuitivně, což má však značná úskalí, a často vede k nedorozuměním. Intuitivní chápání důležitých obecných pojmů (a jejich nepřesné používání) méně vadí tehdy, když se jejich významy v různých disciplínách liší jen málo; když jsou sice „rozmazané“, ale přece jen dostatečně soustředěné kolem společného významového jádra. Předpokladem pro takové vnímání je obvyklost, zažitost v obecném jazyce. Tyto termíny jsou obvykle českého nebo slovanského původu (například právě „bezpečnost“).

Ve Slovníku spisovné češtiny pro školu a veřejnost⁸ je bezpečnost vymezena u přídavného jména „bezpečný“; jako synonymum se uvádí slovo jistota (resp. jistý). Bezpečný je ten, kdo není vystaven nebezpečí („před zloději, před bleskem“⁹), popř. poskytuje ochranu před nebezpečím („bezpečný úkryt“¹⁰) nebo je nepochybný, zaručený, důvěryhodný („bezpečný pramen informací“¹¹).

Skutečnost, že ani výkladový slovník nedefinuje podstatné jméno bezpečnost, ale přídavné jméno bezpečný ilustruje fakt, že bezpečnost je třeba vždy k něčemu vztáhnout. I zde je třeba vzít v úvahu dva možné směry: „být chráněn před nebezpečím“ a „neohrožovat jiné entity“.

V odborných textech a slovnících vycházejí definice pojmu bezpečnost z jeho obecného používání a v různých vědních a technických oborech se vztahují především k absenci určitých hrozeb. V tomto smyslu je bezpečnost chápána jako ideální stav, protože většinou je možné dosáhnout pouze určitého rozsahu eliminace hrozeb či ochrany před nimi.

⁸ HAVRÁNEK, B. (ed.), *Slovník spisovné češtiny* [online], [cit. 25.12.2013] Dostupné z: ssjc.ujc.cas.cz/search.php?db=ssjc

⁹ Tamtéž

¹⁰ Tamtéž

¹¹ Tamtéž

Stejně tak je třeba si uvědomit, že k bezpečnosti přispívá celá řada oborů a je tak možné vymezovat dílčí bezpečnost. Potom je možno hovořit o bezpečnosti biologické, ekonomické, technické, pracovní, bezpečnosti životního prostředí a podobně. Tyto dílčí úseky se mohou často překrývat.

Velice složitá situace je u překladu různých termínů, které jsou překládány stejným slovem.

Angličtina rozlišuje security a safety; tento rozdíl se v ostatních důležitých jazycích (kromě francouzštiny) nevyskytuje. Rovněž v češtině nemá ekvivalent. K jejich rozlišení obecné slovníky mnoho nepomohou, protože tyto termíny jsou v nich definovány jeden druhým. K rozlišení nám může být nápomocen zpřesňující výklad, který podává například Mezinárodní agentura pro atomovou energii¹² ve svém Safety Glossary.

1.1.1 Zabezpečení (Security)

Vydeme-li z toho, co je uvedeno v Safety Glossary¹³, pak je možným překladem slovo „zabezpečení“. Tento pojem je chápán v souvislosti s ochranou subjektu (v našem případě pracoviště se zdrojem ionizujícího záření) proti úmyslnému nebo nedbalostnímu jednání, které může ohrozit nebo způsobit poškození lidského zdraví nebo životů.

1.1.2 Bezpečnost (Safety)

Pokud budeme **bezpečnost** chápat jako **stav** entity, v němž není narušena či ohrožena její struktura, funkce a existence¹⁴, musíme identifikovat i entitu (a její prvky), která je zdrojem potenciálního ohrožení (v našem případě pracoviště se zdroji ionizujícího záření) a entity (a jejich prvky), jejichž bezpečnost první entita ovlivňuje.

Bezpečnost, jak je uváděna v Safety Glossary, tedy ve smyslu jaderná bezpečnost pak definuje tento pojem jako dosažení vhodných provozních podmínek, prevenci nehod a zmírňování následků nehod, založenou na ochraně obsluhy, veřejnosti a životního prostředí před neopodstatněným rizikem. Atomový zákon jadernou bezpečnost definuje jako „stav a schopnost jaderného zařízení a osob obsluhujících jaderné zařízení zabránit nekontrolovatelnému rozvoji štěpné řetězové

¹² IAEA, *Safety Glossary*, IAEA, Vienna, 2007, s. 133, ISBN 92-0-100707-8

¹³ Tamtéž, heslo (nuclear) security

¹⁴ *Studijní opora pro kombinované studium*, UJAK, Praha, 2013, s. 16

reakce nebo nedovolenému úniku radioaktivních látek nebo ionizujícího záření do životního prostředí a omezovat následky nehod“¹⁵.

1.1.3 Hrozba

Bezpečnost je úzce svázána s pojmem rizika a hrozby. Pro vymezení pojmu hrozby můžeme použít definice tak, jak jsou uvedené v České bezpečnostní terminologii.: „**Hrozba** je primární, mimo nás nezávisle existující, vnější fenomén, který může nebo chce poškodit nějakou konkrétní hodnotu. Závažnost hrozby je úměrná povaze hodnoty a toho, jak si danou hodnotu ceníme. Hrozba může být jevem přírodním, definovaným fyzikálně – takovou hrozbu nazýváme hrozbou **neintencionální**. Realizace neintencionální hrozby je stochastické povahy. Zcela jiného původu je hrozba působená či zamýšlená činitelem nadaným vůlí, úmyslem (hrozba **intencionální**) – zamýšlí ji, připravuje, spouští či realizuje lidský jedinec nebo kolektivní aktér. Termín ohrožení je synonymem termínu hrozba.“¹⁶

1.1.4 Riziko

Naopak tamtéž uváděnou definici rizika („Riziko je pravděpodobnost, že dojde ke škodlivé události, jež postihne danou hodnotu. Jinak je riziko možnost, že s určitou pravděpodobností vznikne událost, jež se liší od toho, co si přejeme. Riziko je odvozená závisle proměnná a dá určit nebo odhadnout tzv. analýzou rizik. Riziko je reakcí na hrozbu, též na stav naší připravenosti (zranitelnosti) a je spojeno s rozhodováním.“¹⁷) doplníme o hodnocení možných důsledků vzniku dané události. **Riziko** pak můžeme chápat nikoli jako pouhou pravděpodobnost vzniku dané události, ale jako součin této pravděpodobnosti a velikosti jejích důsledků. To nám umožní hodnotit možné důsledky a náklady na předcházení těmto událostem.

1.2 Pracoviště se zdroji ionizujícího záření

Abychom se mohli zabývat tím, jak může pracoviště se zdroji ionizujícího záření ovlivnit bezpečnost svého okolí a naopak, jak okolí může ovlivnit bezpečnost tohoto zařízení, musíme identifikovat jeho základní prvky, což lze zhruba takto:

¹⁵ ZÁKON č. 18/1997 Sb. ze dne 24. ledna 1997 o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů §2 d), In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1997, částka 5, s. 82-106, ISSN 1211-1244, v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z: www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Atomovy_zakon_20120103.pdf

¹⁶ ZEMAN, P et.al: *Česká bezpečnostní terminologie*, Ústav strategických studií vojenské akademie v Brně, Brno 2002 s.58 [online] [cit. 26.12.2013] Dostupné z: www.defenceandstrategy.eu/filemanager/files/file.php?file=16048

¹⁷ Tamtéž

- vlastní zdroj (zdroje) ionizujícího záření;
- technické zařízení pracoviště;
- obsluhující personál;
- systém řízení.

1.2.1 Zdroj ionizujícího záření

Při popisu vlastního zdroje ionizujícího záření můžeme vyjít z jeho definice v Atomovém zákoně: „zdrojem ionizujícího záření je látka, přístroj nebo zařízení, které může vysílat ionizující záření nebo uvolňovat radioaktivní látky“¹⁸. Pro potřeby klasifikace možného ohrožení je vhodné si jednotlivé zdroje ionizujícího záření dále rozdělit na:

- zdroje ionizujícího záření neobsahující radioaktivní látky a
- zdroje ionizujícího záření obsahující radioaktivní látky.

1.2.1.1 Zdroje ionizujícího záření neobsahující radioaktivní látky

Do této skupiny patří zejména rentgeny a urychlovače. Podstatnou vlastností těchto zdrojů je, že po jejich vypnutí dále nevysílají ionizující záření. Nejčastěji nalezneme tento typ zdrojů ionizujícího záření v lékařských zařízeních.

1.2.1.2 Zdroje ionizujícího záření obsahující radioaktivní látky

Toto je podstatně širší skupina zdrojů ionizujícího záření. Při klasifikaci těchto zdrojů můžeme hodnotit:

- množství radioaktivních látek (aktivita),
- schopnost zabránit uvolnění radioaktivních látek (otevřené a uzavřené zářiče) a
- schopnost vytvářet další radioaktivní látky (aktivace, jaderné štěpení).

Množství radioaktivních látek ve zdroji ovlivňuje jak intenzitu vysílaného záření ze zdroje, tak i možné následky v případě uvolnění těchto látek ze zdroje. Pro radioaktivní látky je typické, že jejich množství se mění na základě jejich přeměny. Obecně jde o snižování množství podle poločasu přeměny. Výjimečně je tento proces komplikován existencí takzvané rozpadové řady, kdy se původní radionuklid přemění na jiný nuklid, který je také radioaktivní.

¹⁸ Zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, §2 c), In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1997, částka 5, s. 82-106, ISSN 1211-1244, v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z: www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Atomovy_zakon_20120103.pdf

Radioaktivní látky mohou být používány v nejrůznějších formách, nemusí být nijak opatřeny proti jejich rozptýlení (to je typické pro práci v laboratořích) nebo jsou tyto látky opatřeny proti rozptýlení vhodnou úpravou (to je typické pro uzavřené zářiče, které jsou používány v takzvaných ozařovačích). Opatření proti rozptylu mají časově omezenou trvanlivost.

Existují i takové zdroje ionizujícího záření, v nichž vznikají nové radioaktivní látky. To je možné dvěma hlavními způsoby: jak aktivací, tak rozvojem štěpné reakce.

Aktivace je poměrně specifický proces založený na ostřelování terče vhodnými aktivačními částicemi, nejčastěji neutrony¹⁹.

Rozvoj štěpné reakce je událost, která má za následek zvýšení množství radioaktivních látek oproti předchozímu stavu. Zároveň dochází k uvolnění množství jaderné energie. Způsob řízení štěpné reakce (jaderný reaktor, jaderná zbraň) nebo prevence rozvoje štěpné reakce (při skladování a ukládání) je důležitou charakteristikou daného zdroje.

1.2.2 Technické zařízení pracoviště

Technické zařízení pracoviště se zdroji ionizujícího záření umožňuje vlastní používání zdroje ionizujícího záření. Obecně lze identifikovat ochranné, řídicí a podpůrné prvky (součásti, systémy) vlastního zařízení. Ochranné prvky jsou jak ve vztahu k vlastnímu pracovišti (ochrana obsluhy, ochrana (údržba) zdroje a ochranných a řídicích prvků), tak i v ochraně okolí.

1.2.3 Obsluhující personál

Obsluhující personál je důležitým prvkem pracovišť se zdroji ionizujícího záření. U složitějších pracovišť je možné identifikovat různé skupiny podle jejich funkcí. V případě jednodušších pracovišť může jít o jedince, případně některé funkce mohou být kumulované. Z technologického pohledu lze identifikovat pracovníky přímo pracující se zdroji ionizujícího záření, pracovníky přímo řídicí práce se zdroji ionizujícího záření, podpůrné a servisní pracovníky a nakonec management a vlastníky. Důležitou skutečností je, že všichni jedinci obsluhujícího personálu jsou zároveň prvky společnosti, v níž toto pracoviště pracuje.

1.2.4 Systém řízení

Systém řízení umožňuje, aby pracoviště se zdroji ionizujícího záření pracovalo takovým způsobem, jak je od něho očekáváno (zpravidla efektivně a bezpečně). Jde o systém pravidel, která mají zajistit splnění požadavků, které okolí klade na dané

¹⁹ MAJER, Vladimír et al. *Základy jaderné chemie*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1981, s. 400.

zařízení. Systém řízení se uplatňuje jak prostřednictvím obsluhujícího personálu, tak i technickými prostředky. Dále bude ukázáno, jak jsou aplikovány požadavky na zajištění bezpečného provozu.

1.3 Okolí pracoviště se zdroji ionizujícího záření

V okolí pracoviště se zdroji ionizujícího záření můžeme vyčlenit několik více méně provázaných prvků. Vzhledem k mocnosti jaderných sil musíme vycházet z globálního pohledu a to jak na lidstvo, tak i na životní prostředí.

1.3.1 Životní prostředí

V oblasti životního prostředí je nutno uvažovat o těch jeho prvcích, které se mohou uplatnit při přenosu radioaktivních látek. Půjde tady o geologickou stavbu, vodstvo a jeho pohyby (včetně podzemních vod), ovzduší a jeho pohyby, rostlinstvo a živočichy, zejména se zaměřením na potravinový cyklus.

1.3.2 Lidská společnost

V lidské společnosti můžeme identifikovat několik různých kategorií prvků, které mohou být různě ovlivněny nebo naopak ovlivnit pracoviště se zdroji ionizujícího záření.

Jedinec

Člověk je základním prvkem lidské společnosti. Ve vztahu k pracovištím se zdroji ionizujícího záření lze najít tři skupiny, které mají různé zájmy.

Konzument

Do této skupiny zařadíme ty jedince, kteří využívají účelu, pro který je pracoviště se zdroji ionizujícího záření provozováno. Sem patří například rentgenovaní nebo ozařovaní pacienti. Je možné sem zařadit i ty, kteří využívají elektrickou energii vyrobenou v jaderných elektrárnách a v blízké budoucnosti i ty, kteří budou pít vodu odsolenou při provozu jaderné elektrárny (první taková elektrárna se staví ve Spojených arabských emirátech).

Obsluhující personál

Pro obsluhující personál je provoz pracoviště se zdrojem ionizujícího záření zdrojem příjmů.

Nezúčastněná veřejnost

Ostatní lidé nejsou ve vztahu k pracovišti se zdroji ionizujícího záření, přesto mohou být jeho provozem nebo následky nehody či havárie ovlivněni.

Zájmové skupiny

Ve společnosti se vytvářejí skupiny osob, které mají ve vztahu k pracovištím se zdroji ionizujícího záření specifické zájmy.

Specifickou skupinou jsou vlastníci a provozovatelé pracovišť se zdroji ionizujícího záření. Základním rysem této skupiny je, že se snaží mít z provozu maximální profit. K vynakládání prostředků na bezpečný provoz musí být dovedena tlakem jiných prvků (zejména státu) tak, aby nebyla ohrožena její vlastní existence.

Další zájmové skupiny mohou vznikat na dílčích zájmech (na příklad z obav před dopady na ekonomiku oblasti nebo zdraví určité skupiny). Pro tyto skupiny se v anglické literatuře používá termín stakeholder²⁰.

1.3.2.1 Stát

Stát je takový prvek lidské společnosti, který disponuje mocí vládnout, vytvářet zákony (pravidla) a soudit. Tím se stává důležitým prvkem, který je schopen stanovit podmínky, jež umožní bezpečný provoz pracovišť se zdroji ionizujícího záření, a zároveň je schopen vymoci naplnění těchto podmínek.

1.3.2.2 Mezinárodní společenství

Státy se mohou sdružovat do mezinárodních organizací určených ke spolupráci v konkrétních oblastech. Po druhé světové válce vznikla Organizace spojených národů (OSN). Globální význam dokazuje i to, že v současné době má OSN 193 členských zemí²¹. OSN tak představuje určitou organizační strukturu, které může napomáhat řešení globálních i regionálních problémů. V rámci OSN je v současné době řada agentur a programů. Jednou z těchto agentur je i Mezinárodní agentura pro atomovou energii (International Atomic Energy Agency – IAEA).

Jiným příkladem sdružení států je Evropská unie a její orgány a agentury. Oproti OSN představuje Evropská unie těsnější spolupráci sdružených států. Tam, kde na ni přenesly jednotlivé státy některé pravomoci, je Evropská unie svými nařízeními nadřazena jednotlivým členským zemím a ty jsou povinny implementovat unijní nařízení do vlastní legislativy. Obdobně jako v případě OSN i Evropská unie má celou řadu agentur a programů. Na rozdíl od Mezinárodní agentury pro atomovou energii má

²⁰ IAEA, *Stakeholder involvement in nuclear issues*, INSAG-20, IAEA, Vídeň, 2006, s. 1, ISBN 92-0-111206-8

²¹ Informační centrum OSN v Praze, *Otázky a odpovědi*, [online], [cit. 20.2.2014], Dostupné z www.osn.cz/otazky-a-odpovedi/?id=3

Evropské společenství pro atomovou energii (EURATOM) zaměřením více orientované na přímou podporu jaderné energetiky a výzkumu v této oblasti.

Mezinárodní agentura pro atomovou energii je světovým centrem spolupráce v oblasti jaderné energie. Byla zřízena pod heslem "Atomy pro mír" v roce 1957 v rámci systému OSN. Agentura spolupracuje se svými členskými státy a dalšími partnery po celém světě v oblasti mírového využití jaderných technologií²².

Činnost Mezinárodní agentury pro atomovou energii je zaměřena do tří hlavních směrů:

- Bezpečnost (v originále Safety and Security);
- Podpora a rozvoj vědy a technologií
- Zárukový systém (Safeguards and Verification)

Dnes má Mezinárodní agentura pro atomovou energii 161 členských států (leden 2014)²³.

Základním smyslem zárukového systému Mezinárodní agentury pro atomovou energii je implementace mezinárodního režimu nešíření jaderných zbraní²⁴ a ověření, že mírové využívání jaderné energie není převáděno na vývoj a výrobu jaderných výbušných zařízení²⁵. Zárukový systém Mezinárodní agentury pro atomovou energii je vůči členským státům Evropské unie uplatňován na základě třístranné Dohody o uplatňování záruk mezi Mezinárodní agenturou pro atomovou energii²⁶, Euratomem a jednotlivými členskými státy Evropské unie, které nevlastní jaderné zbraně (tzv. Trojstranná dohoda o uplatňování záruk - netýká se Velké Británie a Francie).

²² IAEA, *About IAEA*, [online], [cit. 4.2.2014], Dostupné z iaea.org/About/about-iaea.html

²³ IAEA, *Memberstates of the IAEA*, [online], [cit. 4.2.2014], Dostupné z www.iaea.org/About/Policy/MemberStates/

²⁴ *Smlouva o nešíření jaderných zbraní*. In: Sbirka zákonů Československá socialistická republika, 1974, částka 10, 61/1974 Sb, ISSN 0322-8037, s. 194 -196. Dostupné z: aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=1764

²⁵ *The Convention on the Physical Protection of Nuclear Material*, Vídeň 1980, Dostupné z: www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/Others/infcirc274r1.pdf

²⁶ *Agreement between the Kingdom of Belgium, the Kingdom of Denmark, the Federal Republic of Germany, Ireland, the Italian Republic, the Grand Duchy of Luxembourg, the Kingdom of the Netherlands, the European Atomic Energy Community and the International Atomic Energy Agency in implementation of Article III (1) and (4) of the Treaty on the non-proliferation of nuclear weapons - Protocol (78/164/Euratom)*, Official Journal of the European Communities L051, ISSN 0378-6978 s. 1-26

V současné době je rámec bezpečnosti jaderných zařízení definován ve směrnici Rady 2009/71/EURATOM²⁷.

Mezinárodní agentura pro atomovou energii kromě administrace a kontroly zárukového systému je oprávněna formulovat a přijímat standardy (normy) pro ochranu zdraví, minimalizaci ohrožení životů a majetku. Na rozdíl od zárukového systému, kde Mezinárodní agentura pro atomovou energii svá zjištění reportuje výkonným orgánům OSN, je aplikace agenturních norem formálně vyžadována pouze při vlastní činnosti agentury. Ačkoli se toto zdá značným omezením působnosti, ve skutečnosti jsou tyto standardy vyžadovány i v případě spolupráce s agenturou, a tady jde už o podstatně širší záběr. V běžné praxi jsou tak agenturní standardy chápány jako doporučení, je pak na členských státech, zda je včlenění do vlastního systému.

1.4 Hrozby spojené s pracovišti se zdroji ionizujícího záření

Hrozby spojené s využíváním ionizujícího záření, radioaktivity i jaderné energie nebyly zprvu příliš brány v úvahu, jak ukazuje i v úvodu zmíněný příklad instalace prvního pražského rentgenu jako restaurační atrakce. Situace se postupně měnila tak, jak se získávaly znalosti o působení ionizujícího záření na lidský organismus, a průlom přineslo použití jaderných zbraní.

Základní hrozbou v souvislosti s ionizujícím zářením je přímé ohrožení člověka působením ionizujícího záření. Další hrozbou je ohrožení společnosti v důsledku ohrožení jejích členů nebo důležitých zdrojů. Zcela specifickou hrozbou je potom možnost globální katastrofy způsobené použitím jaderných zbraní. Paradoxně právě hrozba globální katastrofy přiměla mezinárodní společenství k přijetí takových opatření, která by měla maximálně snížit možnost jejího vzniku. Tato opatření jsou dnes vzorem pro opatření přijímaná i v souvislosti s problematikou ochrany zdrojů ionizujícího záření.

1.5 Ionizující záření a jeho druhy

Ionizující záření je typické tím, že je schopno při průchodu hmotou tuto hmotu ionizovat, to znamená vytvořit v ní ionty tím, že předají do látky tolik energie, že se některé elektrony z atomového obalu odtrhnou. Tak v látce vzniknou kladně nabitě ionty a určité množství vyražených elektronů, které mohou být přijaty okolními atomy a vytvořit tak ionty záporné. Ionizující záření lze podle mechanismu, kterým dochází k ionizaci, rozdělit na přímo a nepřímo ionizující záření.

²⁷ Směrnice Rady 2009/71/EURATOM ze dne 25. června 2009, kterou se stanoví rámec Společenství pro jadernou bezpečnost jaderných zařízení, Úřední věstník Evropské unie, L171, ISSN 1725-5074 s. 18-22

1.5.1 Přímio ionizující záření

Přímio ionizující záření je tvořeno nabitými částicemi, které mají dostatečnou kinetickou energii k tomu, aby mohly vyvolat ionizaci. Patří sem:

- **Záření alfa**, což je proud jader helia. Tato jádra vznikají při přeměně alfa, kdy jsou vystřelena z jader těžkých radionuklidů (například ^{226}Ra , ^{238}U nebo ^{232}Th), případně jsou připravené heliové ionty urychleny v urychlovačích. Jedná se o těžké ionty (hmotnost 4 elementární hmotnostní jednotky (m_u)) s vysokým nábojem (dva kladné elementární náboje)²⁸.
- **Záření beta**. Jedná se o proud elektronů vzniklých při jaderné přeměně v jádrech těžkých radionuklidů. Elektrony mají hmotnost na úrovni zhruba $1/2000 m_u$ jsou nositeli elementárního náboje. Je možné se setkat jak s klasickým beta zářením, kdy se jedná o elektrony s jedním záporným elementárním nábojem, tak i s beta+ (pozitronovým) zářením, které je tvořeno pozitrony (elektrony s jedním kladným elementárním nábojem). Obdobné vlastnosti jako klasické beta záření mají i elektrony urychlené v urychlovačích na dostatečnou energii²⁹.
- **Ostatní urychlené ionty**. Jde o proudy částic urychlovaných v urychlovačích. Nejčastěji se jedná o elektrony, které pak mají stejné vlastnosti jako beta záření. Ve výzkumu se používají i další částice jako jsou protony (ionizované atomy vodíku), s hmotností jedné elementární hmotnostní jednotky a nábojem jednoho kladného elementárního náboje. Méně často jsou urychlovány těžší ionty.³⁰

Typickou vlastností přímio ionizujícího záření je relativně intenzivní předání energie do hmoty a zároveň existence maximálního možného doletu (vzdálenosti, kam až mohou tyto částice v daném prostředí proniknout).

Je třeba si uvědomit, že při interakci nabitých částic s hmotou dochází ke vzniku brzdného záření (to je princip rentgenové lampy), proto je potřeba i v případě přímio ionizujícího záření uvažovat o určitém podílu nepřímio ionizujícího záření (intenzita a množství tohoto záření nezávisí na zdroji, ale na ozařovaném materiálu).

1.5.2 Nepřímio ionizující záření

Nepřímio ionizující záření zahrnuje nenabité částice (fotony, neutrony ap.), které samy prostředí neionizují, ale při interakcích s prostředím uvolňují sekundární, přímio

²⁸ MAJER, Vladimír et al. *Základy jaderné chemie*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1981, s.74

²⁹ Tamtéž

³⁰ Tamtéž, s. 77-84

ionizující nabité částice. Ionizace prostředí je pak způsobena těmito sekundárními částicemi. Tyto interakce mají náhodný charakter, proto není možné určit hraniční vzdálenost působení jako v případě nabitých částic, místo toho je možné definovat polotloušťku jako sílu materiálu, která zeslabí tok tohoto záření na polovinu.

1.5.2.1 Fotonové záření

Fotony jsou částice elektromagnetického záření. Jejich základní vlastností je to, že mají nulovou klidovou hmotnost a v dané látce se pohybují vždy rychlostí světla. Jejich korpuskulární (částicové) chování se výrazněji projevuje u vyšších energií tohoto záření. U nižších energií hovoříme o Rentgenovém záření, u vyšších energií pak o gama záření.

Pravděpodobnost interakce fotonového záření s hmotou stoupá s hmotnostním číslem dané látky. Proto rentgenové záření snadněji projde měkkými tkáněmi než kostmi.

1.5.2.2 Neutronové záření

Interakce neutronů s hmotou má úplně odlišný charakter než interakce s fotonovým zářením. Neutrony jsou hmotné částice (mají hmotnost jedné elementární jednotky). Podle své energie se pohybují různou rychlostí. Typickou interakcí jsou srážky s ostatními jádry. Nejčastěji dojde k pružné srážce³¹, kdy se mechanická energie rozdělí v opačném poměru k poměru hmotností (pokud tedy neutron narazí do těžkého jádra, předá jen neparnou část své energie, pokud se však srazí se stejně těžkým jádrem (jádem vodíku), může mu předat až polovinu své energie). Pro neutrony je však charakteristické, že s některými nuklidy mohou proběhnout jaderné reakce. Těmito reakcemi může být jaderné štěpení nebo aktivace. Pro štěpnou reakci je typické uvolnění dalších neutronů, proto za určitých podmínek může dojít k řetězové štěpné reakci (dosažení kritického stavu). Při aktivaci vzniká nový radionuklid, který se stává sekundárním zdrojem ionizujícího záření. Aktivaci lze využít jako konkurenční reakci se štěpnou reakcí a odebrat tak určitou část neutronů ze systému. Toho se užívá k řízení štěpné reakce (kadmiové řídicí tyče v reaktorech pohlcují část neutronů) nebo ke stínění neutronů takzvaným neutronstopem, kdy je lehký materiál (parafín, polyetylen) dopován borem (kyselinou boritou, boraxem), který reaguje s pomalými neutrony. Aktivací vzniklá jádra izotopu Li mají přebytek energie, která se projeví

³¹ FJFI, *Reaktorová fyzika I., 5. Zpomalování neutronů*, [online], [cit. 5.2.2014], Dostupné z www.fjfi.cvut.cz/reaktorova_fyzika1/

vyzářením fotonu gama o energii 0,5 MeV, kterou lze snáze odstínit. Příkladem může být český výrobek NEUTROSTOP³²).

1.6 Působení ionizujícího záření na lidský organismus

1.6.1 Působení různých druhů záření

Působení záření na živou hmotu se nejprve řídí obecnými zákony, které platí jak pro živé organismy, tak i neživé látky. Dochází k absorbování energie a k ionizaci. Na tento fyzikální proces navazuje řada dějů, podmíněných složitou organizací živé hmoty.

Různé druhy ionizujícího záření mají různé biologické účinky. Účinnost jednotlivých druhů záření na různé tkáně je vyjadřována jakostním činitelem (Q). Fyzikální projev záření je vyjádřen veličinou dávka (D), která vyjadřuje množství energie absorbované v určité hmotnosti látky, jejíž jednotkou je Gray (Gy). Biologický účinek záření je charakterizován veličinou dávkový ekvivalent (H)³³, jednotkou je Sievert (Sv). Jejich vzájemný vztah je definován:

$$H=Q.D$$

Typické hodnoty používané v praxi jsou v následující tabulce 1:

Typ záření	Používaná hodnota jakostního činitele, na základě radiačního váhového faktoru
Fotony (rentgenové a gama záření)	1
Elektrony (beta záření)	1
Protonové záření	5
Neutronové záření	5-20 podle energie
Alfa záření a těžké ionty	20

Tabulka 1: Používané hodnoty jakostního činitele

1.6.2 Mechanismus působení ionizujícího záření na živý organismus

Účinky záření na buňku můžeme rozdělit do dvou skupin:

- **Buněčná smrt:** Buňka může být usmrcena již v klidovém období, interfázi (což je interval mezi dvěma buněčnými děleními, mitózami). Tento účinek však předpokládá povšechnou denaturaci buněčných složek, tedy *relativně*

³² KOPOS, *Stínící tvarovky NEUTROSTOP*, [online], [cit 4.2.2014], Dostupné z: www.kopos.cz/soubory/katalogy/neu_cz_stinici_tvarovky_neutrostop.pdf

³³ Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně, §3 e), In: *Sbírka zákonů České republiky*, 2002, částka 113, s6362-6544, ISSN 1211-1244 v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z: www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/8_317_2002_Sb.pdf

vysokou dávku záření. Významnějším typem buněčné smrti je zánik vázaný na mitózu. Poškození buňky se neprojeví okamžitě, ale tím, že buňka není schopna se dále dělit. Tato tzv. **mitotická smrt buňky** se pozoruje při *menších dávkách*, které nestačí na vyvolání smrti v interfázi. Odtud lze odvodit, že smrtící účinek záření na buňky se nejnáze projeví ve tkáních, ve kterých probíhá rychlé buněčné dělení (krvetvorné orgány, výstelka střeva, vyvíjející se zárodek).

- **Změna tzv. cytogenetické informace:** Druhým typem buněčných poruch jsou změny, které bezprostředně nenarušují průběh buněčného dělení. Jedná se o změny v genetické informaci buňky. Nositelem těchto informací jsou chromozomy nesoucí zakódované vlastnosti (geny). Záření vyvolává změny – mutace. Je možno odlišit:
 - mutace gametické (týkající se zárodečných žláz, kdy se účinky přenášejí i do dalších generací), které jsou odpovědné za genetické účinky záření a
 - mutace somatické, které se týkají ostatních orgánů a tkání a důsledky se projevují u jejich nositele, v ozářené tkáni. Mají vztah ke vzniku rakoviny.

Lidský organismus je funkční systém jednotlivých tkání a orgánů, které nemají stejnou citlivost k ozáření, tzv. radiosensitivitu. Při stejné absorbované dávce se v různých tkáních projeví rozdílné biologické účinky. Obecně platí, že zvláště vysokou radiosensitivitu vykazují tkáně, v nichž probíhá rychlé buněčné dělení. Vysvětluje se to tím, že mitotická smrt buňky je převládajícím typem buněčné smrti v důsledku ionizujícího záření.

Konečný výsledek působení ionizujícího záření na buňku a tkáň není určen pouze uvedenými mechanismy, ale je spoluurčován uplatněním obnovných opravných mechanismů. Lze odlišit tzv. časnou reparaci, to znamená obnovu schopnosti dalšího dělení na úrovni postižené buňky (trvá několik hodin) a proliferaci, která vychází ze zachovalé dělivé schopnosti přeživších buněk (trvá dny až týdny). Účinky záření budou po stejné dávce, rozdělené do několika frakcí nebo realizované v delším časovém období, menší, než účinky téže dávky, aplikované jednorázově. Pro ty účinky záření, které jsou vázány na změnu cytogenetické informace (nádory, genetické změny), výše popsaný vliv rozdělené dávky na celkový účinek neplatí.

Další charakteristikou, určující celkový účinek záření, je prostorové rozložení dávky. Zcela rozdílnou biologickou odezvou má ozáření lokální, kdy jsou postiženy jen

určité tkáně. Stíněním částí těla se uchová určitá část buněk, ze kterých může tkáň regenerovat.

1.6.3 Vztah množství záření a účinku

Z hlediska vztahu dávky (dávkového ekvivalentu) a účinku je třeba rozlišovat dva základní typy účinků:

- **Deterministické účinky:** Jde o účinky, k nimž dochází v důsledku smrti části ozářené buněčné populace, jejich závažnost vzrůstá s dávkou od určitého dávkového prahu (pod ním se účinek neprojeví) a mají charakteristický klinický obraz. Do této skupiny patří např. akutní nemoc z ozáření nebo radiační zánět kůže. Bývají označovány též jako účinky nestochastické³⁴.
- **Stochastické účinky:** Jsou účinky vyvolané mutacemi (změnami v genetické informaci buňky) a předpokládá se pro ně bezprahový, lineární vztah mezi dávkou (dávkovým ekvivalentem) a účinkem. Závislost těchto účinků na dávce má statistický charakter, a proto pro ně bylo zavedeno označení účinky stochastické (pravděpodobné, náhodné). Velikost dávky záření nemění závažnost projevu u jednotlivce, ale v populaci zvyšuje frekvenci zhoubných novotvarů a dědičných poškození. S dávkou tedy vzrůstá pro jednotlivce pravděpodobnost poškození. Klinický obraz těchto účinků není typický, neodlišuje se od "spontánně" vzniklých případů.³⁵

Účinky záření na lidský organismus tedy jsou:

- akutní nemoc z ozáření
- akutní lokální změny
- poškození vyvíjejícího se plodu v těle matky
- nenádorová pozdní poškození
- zhoubné nádory
- genetické změny

³⁴ SÚJB, *Stručný přehled biologických účinků záření*, [online] [cit. 28.12.2013], Dostupné z: www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologickyh-ucinku-zareni/

³⁵ Tamtéž

Časné	Pozdní		
	Somatické		Genetické
akutní nemoc z ozáření	nenádorová pozdní poškození	Zhoubné nádory	genetické účinky u potomstva
akutní lokální změny	chronická radiodermatitis		
akutní radiodermatitis (radiační popáleniny)	zákal oční čočky		
Poškození plodnosti			
poškození vývoje plodu			
Deterministické		Stochastické	

Tabulka 2: Přehled hlavních typů účinků záření u člověka³⁶

První dvě skupiny představují účinky časné, které se klinicky projeví v krátkém čase po ozáření většími jednorázovými dávkami, třetí skupina - poškození vyvíjejícího se plodu - je z hlediska matky také časným účinkem, z hlediska plodu již může jít i o účinek pozdní.

O pozdní účinky se jedná i u dalších třech skupin poškození. Podle vztahu dávky a účinku jsou pak první čtyři skupiny zahrnovány mezi účinky deterministické (nestochastické), zhoubné nádory a genetické změny mezi účinky stochastické. (Pokud jde o poškození vyvíjejícího se plodu, jde o kombinaci obou typů).

1.7 Cesty působení ionizujícího záření na lidský organismus

Jsou dva základní způsoby, jak může dojít k nežádoucímu působení zdrojů ionizujícího záření na životní prostředí, obyvatelstvo a obsluhu:

- **zevní ozáření**, kdy je organismus nebo jeho část vystavena účinkům ionizujícího záření, které je mimo tento organismus,
- **vnitřní ozáření**, kdy se radionuklid dostal do organismu a tam přímo působí na tkáň. Vnitřní ozáření je způsobeno vniknutím radioaktivních látek do organismu (tj. vdechnutím (inhalací), požitím (ingescí) či poraněnou kůží).

³⁶ SÚJB, *Stručný přehled biologických účinků záření*, [online] [cit. 28.12.2013], Dostupné z: www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologicky-ucinku-zareni/

1.8 Základní způsoby ohrožení různými typy zdrojů

1.8.1 Neřízená štěpná reakce a mimořádné události v jaderné elektrárně

Jedná se ohrožení způsobené nejsilnějšími zdroji. Pomineme-li použití jaderných zbraní, je jaderný reaktor nejvýznamnějším zdrojem ionizujícího záření. Zároveň se jedná o komplexní zařízení, které může ohrozit jedince, okolí i společnost.

Ztráta kontroly nad průběhem řetězové štěpné reakce je považována veřejností za největší hrozbu. V tuto chvíli se neřízený jaderný reaktor přibližuje jaderné zbraně. Důsledkem ztráty kontroly může být:

- poškození systémů jaderné elektrárny (až po její vyřazení z provozu)
- ozáření nebo kontaminace obsluhy
- kontaminace zařízení elektrárny
- únik radioaktivních látek do okolí elektrárny
- ozáření obyvatel v okolí elektrárny
- kontaminace v okolí elektrárny

Iniciační událostí pro tato ohrožení nemusí být jen ztráta kontroly nad řetězovou reakcí, ale i další poruchy (například prasknutí součástí primárního okruhu, požár či výbuch, výpadek chlazení (i v případě odstaveného reaktoru – produkce zbytkového tepla je tak vysoká, že bez dochlazování by došlo k poškození reaktoru), porucha řídicího systému, chyba nebo úmysl obsluhy. Na iniciační událost mohou navazovat další a řetězit se.

Ve výčtu ohrožení se uplatňuje odlišení prvků společnosti, které jsou ohroženy. Z časového hlediska jde v případech ozáření nebo kontaminace osob (ať obsluhy tak i obyvatelstva) o časově omezenou hrozbu (z pohledu trvání) na několik minut až dní (v případech rozsáhlejší vnitřní kontaminace), jejíž následky se mohou projevit v dlouhém časovém rozmezí, dokonce i u následujících generací.

Kontaminace má za následek omezení činnosti v dané oblasti, zároveň může vést k sekundárnímu ozáření osob likvidujících toto zamoření. Pokud jde o rozsáhlejší kontaminaci (časově i rozsahem) dochází k ovlivnění obyvatelstva (například omezením některých činností – rybolov, zemědělství), případně i evakuace či přesídlení (například 30 km vyloučená zóna v okolí černobylské atomové elektrárny). Sanační práce spolu s opravami zařízení jsou další ekonomickou zátěží vlastníka a provozovatele.³⁷

³⁷ IAEA, *Dědictví Černobylu: Zdravotní, ekologické a sociálně-ekonomické dopady a Doporučení vládám Běloruska, Ruské federace a Ukrajiny*, [online], 2006, [cit. 5.2.2014], ISBN 80-02-01806-0

Pokud dojde k vyřazení elektrárny z provozu před plánovaným termínem, je negativně ovlivněna i schopnost zajistit bezpečnou likvidaci elektrárny, protože nejsou nashromážděny prostředky pro tuto činnost. Rovněž výpadek tak významného zdroje má za následek omezené množství energie na trhu s příslušnými dopady (zdražení, výpadky,...)

Skutečnost, že jaderná energetika je velice citlivě vnímána veřejností, má za následek i další hrozbu specifickou pro tuto oblast. Po každé významnější události se projeví obavy, které ovlivní společnost. Jednak dojde ke zintenzivnění kontrol existujících zařízení, což si samo o sobě vyžaduje určité zdroje. Často dochází k úpravě podmínek, za nichž je vydáván souhlas s provozem, a to má za následek další vícenáklady u zcela nezúčastněných subjektů. Po černobylské tragédii i po událostech ve Fukušimě došlo k oslabení zájmu o výstavbu nových zdrojů. To mělo za důsledek snížení podpory vědy a výzkumu v dané oblasti. Mezi nepříznivé dopady černobylské katastrofy patří i nedostatek vzdělaných a zkušených expertů v jaderné oblasti ve věkové skupině 30 - 40 let.

1.8.2 Sklady vyhořelého jaderného paliva

Sklady vyhořelého paliva navazují na jaderné elektrárny. Jaderné palivo, které není dále využitelné v jaderném reaktoru, je převedeno do skladů, kde zůstává do doby, než bude odesláno k přepracování nebo trvale uloženo do hlubinného úložiště³⁸. Palivo je sice zajištěno proti rozvoji řetězové štěpné reakce, ale tato hrozba zde přetrvává. Dalším zdrojem ohrožení je stále významný vývoj zbytkového tepla, které musí být odváděno (důsledky poruchy při chlazení se projevily při událostech ve Fukušimě). Nejvýznamnější hrozbou vyhořelého jaderného paliva je obsah radionuklidů. Ve vyhořelém palivu zůstává většina štěpných produktů a navíc jsou v palivu obsaženy i další radionuklidy transuranů vzniklé aktivací neutrony v aktivní zóně reaktoru. Množství energie uvolňované zářením vyhořelého paliva je tak vysoké, že dochází k jeho zahřívání. Pokud by došlo k blízkému nestíněnému kontaktu osob, lze předpokládat ozáření vedoucí k deterministickým účinkům i jejich časnému projevu. Množství radionuklidů ve vyhořelém jaderném palivu představuje i potenciál pro nebezpečnou kontaminaci velkého území obdobně jako v případě jaderné elektrárny. Protože ve skladech vyhořelého paliva je řetězová štěpná reakce utlumena, není její rozvoj iniciační událostí, ale může k němu dojít následně. Dopady pak mohou dosáhnout až rozsahu obdobnému jako v případě jaderné elektrárny.

³⁸ DLOUHÝ, Z., *Nakládání s radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem*, 1. Vydání, Brno: VUTIUUM, 2009, ISBN 978-80-214-3629-9, s.116-119

1.8.3 Jaderné materiály

Další možnou hrozbou je zneužití některých materiálů pro výrobu jaderných zbraní. Tyto materiály jsou označovány jako jaderné materiály a jedná se o výchozí látky (jaderné materiály), kterými jsou³⁹:

- výchozí materiály, které představuje uran zahrnující směs izotopů vyskytující se v přírodě, uran ochuzený o izotop ²³⁵U nebo thorium, a každá z uvedených položek ve formě kovu, slitiny, chemické sloučeniny nebo koncentrátu, jakož i materiály obsahující jednu nebo více z uvedených položek v koncentraci nebo množství převyšujících hodnoty stanovené prováděcím právním předpisem (5g)⁴⁰,
- zvláštní štěpné materiály, které představuje ²³⁹Pu, ²³³U, uran obohacený izotopy ²³⁵U nebo ²³³U a materiály obsahující jeden nebo více z uvedených radionuklidů, kromě výchozích materiálů, v koncentraci nebo množství převyšujících hodnoty stanovené prováděcím právním předpisem (5 mg)⁴¹,

1.8.4 Zdroje neobsahující radioaktivní látky

Do této skupiny zdrojů ionizujícího záření jsou zařazeny takové přístroje, které po vypnutí dále ionizující záření nevyzařují. Typickými představiteli jsou rentgeny a většina urychlovačů. Společným rysem je kromě omezení záření na provoz přístroje také to, že mohou ohrozit pouze zevním ozářením.

Ohroženou skupinou tak jsou klienti těchto zařízení, pokud by došlo k ozáření jiné části, než bylo zamýšleno (v případě terapeutických zákroků – například ozařování nádorů- může pak dojít k významnému poškození zdravých orgánů), jiným rizikem je nutnost opakovaní vyšetření (relativně časté u rentgenů). I sama plánovaná aplikace ionizujícího záření představuje pro klienta hrozbu a je potřeba vyhodnotit její rozsah (riziko).

Další ohroženou skupinou je obsluhující personál. Ten může být vystaven záření obdobně jako klienti (v případě že dojde ke startu zařízení v jejich přítomnosti nebo má zařízení poruchu), ale hlavně mohou být vystaveni opakovaně a dlouhodobě.

³⁹ Zákon č. 18/1997 Sb. ze dne 24. ledna 1997 o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů §2 j1), In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1997, částka 5, s. 82-106, ISSN 1211-1244, v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z: www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Atomovy_zakon_20120103.pdf

⁴⁰ Vyhláška SÚJB č.145/1997 Sb. O evidenci a kontrole jaderných materiálů a o jejich bližším využití, §2, In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1997, částka 51, s2756-2784, ISSN 1211-1244, Dostupné také z: aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3042

⁴¹ Tamtéž

Třetí potenciálně ohroženou skupinou jsou osoby v okolí pracoviště. Ty mohou být ohroženy, pokud dojde k poruše zařízení nebo bude zařízení úmyslně poškozeno.

Tyto zdroje zpravidla nemohou způsobit deterministické časné poškození organismu. U nechráněné obsluhy se mohou vyskytnout deterministické účinky (chronická radiodermatitida u obsluhy prvních rentgenů). Většina možných poškození spadá do kategorie stochastických účinků

1.8.5 Zdroje obsahující radioaktivní látky

Tato skupina zahrnuje velice širokou škálu nejrůznějších zdrojů, které mohou způsobit různě veliké škody. Obecně lze rozdělit radionuklidové zdroje ionizujícího záření na uzavřené a otevřené.

Uzavřené zdroje ionizujícího záření

V uzavřených zdrojích ionizujícího záření jsou radioaktivní látky uzavřeny takovým způsobem, že je zabráněno jejich samovolnému rozšíření do okolí, takže hlavní hrozbou je nadměrné zevní ozáření. V těchto případech jsou velmi podobné zdrojům neobsahujícím radioaktivní látky, rozdíl však je v tom, že zdroj nelze „vypnout“ pouze zastínit. To znamená, že obsluha a okolí může být ohrožováno stále, nikoli jen při provozu zařízení. Množství a typ použitých radioaktivních látek určuje riziko takového zdroje. Podle toho jsou zdroje klasifikovány a jsou stanovovány odstupňované podmínky provozu.

V praxi existují dostatečně silné zdroje k tomu, aby dokázaly poškodit lidské zdraví. Nejsilnější zdroje mohou při přímém působení zavinit nejtěžší poškození (zpravidla obsluze při porušení bezpečnostních opatření). Vzhledem k obvykle malým rozměrům bývá toto časné poškození zpravidla lokální (případy nekrózy a následné amputace prstů), nicméně to nevylučuje pozdní účinky. Potenciální hrozbou je ztráta kontroly nad takovým zářičem, pokud by se dostal mimo stínění a do kontaktu s nic netušícím obyvatelstvem, může dojít k ohrožení mnoha osob. Vzhledem k pozdním účinkům by bylo velice nesnadné identifikovat a zneškodnit takovýto zdroj. Nejasné projevy takového útoku naštěstí zároveň snižují jeho atraktivitu pro různé teroristické organizace.

Další hrozbou je možnost ztráty funkce obalu a možné rozšíření radioaktivních látek do okolí. Tím se z uzavřeného stává zdroj otevřený. Zároveň je potřeba si uvědomit, že obal (uzavření) má dočasný charakter a z uzavřených zdrojů se po čase stávají zdroje otevřené.

Otevřené zdroje ionizujícího záření

Hrozbou společnou pro všechny zdroje ionizujícího záření je hrozba zevního ozáření. Na rozdíl od uzavřených zářičů jsou zde však i hrozby vnitřní kontaminace obsluhy a kontaminace okolního prostředí a následná kontaminace určité skupiny veřejnosti.

Pravděpodobnost naplnění hrozby kontaminace závisí na formě radioaktivní látky. Obecně je pravděpodobnost tím vyšší, čím je forma radioaktivní látky mobilnější. Nejvyšší pravděpodobnost je tak u plynů, aerosolů a látek ve formě prachu, nižší je riziko v případě kapalin a tekoucích suspenzí a nejnižší je v případě pevných kompaktních látek.

Při uvolnění radioaktivních látek do okolního prostředí dochází k ohrožení zejména potravního řetězce. Důsledky ohrožení pak závisí na radiotoxicitě radionuklidů a jejich množství, velikosti ohrožené skupiny a době, po kterou by byla hrozba naplněna (například jak dlouho by trvala přijatá omezující opatření).

1.8.6 Shrnutí potenciálních hrozeb

Lidské zdraví nebo i život je ohrožován působením ionizujícího záření při:

- zevním ozáření organismu nebo jeho částí
- při vnitřním ozáření organismu nebo jeho částí po vniknutí radioaktivních látek do organismu:
 - vdechnutím,
 - požitím
 - kůží, sliznicemi nebo poraněnými místy.

Životní prostředí je ohroženo možnou kontaminací radioaktivními látkami při jejich uvolnění z pracovišť se zdroji ionizujícího záření. Tato kontaminace může následně ohrozit jedince nebo skupiny vnitřní kontaminací, v případě silné kontaminace může být ohrožení vnitřní kontaminací doprovázeno i ohrožením vnější kontaminací.

Ekonomické hrozby souvisí s:

- náklady na likvidaci potenciální havárie;
- odškodnění následků způsobených havárií;
- výpadku produkce;
- omezení dostupnosti některých produktů nebo služeb.

1.9 Princip ochrany při manipulaci se zdroji ionizujícího záření

1.9.1 Technické základy ochrany před ionizujícím zářením

Principy ochrany proti ozáření jsou založeny na minimalizaci vystavení organismu účinkům ionizujícího záření. V případě ochrany před účinky zevního ozáření jde o tři základní principy:

- **vzdálenost** – ozáření klesá v případě bodového zářiče se čtvercem vzdálenosti, při jiných tvarech zářičů (trubka, stěna) již není pokles tak rychlý, přesto se jedná o velice účinný způsob snížení dávky;
- **čas** – čím kratší dobu jsme vystaveni účinkům záření, tím menší je absorbovaná dávka;
- **stínění** – mezi zdroj a obsluhu je umístěno stínění. K odstínění nabitých částic (alfa částice, beta záření t.j. elektronů) postačuje tenká vrstva (např. papír odstiňuje alfa částice, plech dostáčuje na odstínění beta záření). Problematické je stínění gama záření a neutronů. Při stínění nepřímo ionizujícího záření (nenabitých částic) se neuplatní dosah (dolet) částic jako v případě nabitých částic, ale dochází k exponenciálnímu úbytku intenzity záření, které můžeme charakterizovat polovrstvou (síla materiálu, která zeslabí intenzitu záření na polovinu). Pro stínění gama záření se uplatňují zejména materiály s vysokou hustotou (olovo, ochuzený uran), v případě neutronů jsou účinnější (mají menší polovrstvu) lehké materiály obsahující hodně vodíkových atomů, případně i atomů boru (např. „cihly“ z polyetylenu s obsahem boru – tzv. n-stop).

V případě vnitřní kontaminace není možné uplatnit vzdálenost ani stínění. Naopak, snadno odstínitelné záření je v přímém kontaktu s tkáněmi a působí tak účinněji než při externím ozáření.

Ochrana proti vnitřnímu ozáření je založena na zamezení vniknutí radionuklidů do organismu:

- z ovzduší (ochrana proti vdechnutí, použití roušek nebo respirátorů)
- přes kůži či sliznice (použití ochranných oděvů)
- požitím (nepoužívání kontaminované vody ani potravin z kontaminovaného potravního řetězce)

Specifickým způsobem ochrany před vnitřním ozářením radionuklidy jódu je blokáce štítné žlázy neaktivním jódem (antidotem). Jód se koncentruje ve štítné žláze, proto pokud dojde k vniknutí radionuklidů jódu do organismu, nakoncentrují se právě ve tkáni štítné žlázy a způsobí tak silné lokální ozáření. Tomu lze zabránit, pokud se

podají včas podat antidotum (zpravidla jde o 2 tablety jodidu draselného). V tom případě se štítná žláza nasytí neaktivním jódem a radioaktivní jód nebude působit tak koncentrovaně. Základní podmínkou zde je včasné podání, zhruba hodinu po příjmu radionuklidů jódu už antidotum neúčinkuje. Pouze se mohou uplatnit jeho vedlejší účinky (jód a jeho sloučeniny jsou časté alergenů).

1.9.2 Technicko-organizační principy

Bezpečnosti pracoviště se zdroji ionizujícího záření se dosahuje naplněním požadavků kladených na příslušná pracoviště. Jde zejména o naplnění legislativních požadavků, které jsou kladeny na tato zařízení. Jedná se o vytvoření a naplnění funkční infrastruktury, v níž jsou hlavními subjekty provozovatel pracoviště, dozorový orgán(y) a stát. Legislativní požadavky stanovují požadavky jak na ekonomicko organizační, tak i technické zajištění pracovišť se zdroji ionizujícího záření.

Mezi typická technická opatření patří požadavky na stínění zdrojů, vybavení pracovišť, aby se minimalizovala možná ohrožení.

1.10 Zabezpečení pracovišť se zdroji ionizujícího záření

V předchozích kapitolách jsme se zabývali především možnými hrozbami, kterými pracoviště se zdroji ionizujícího záření ohrožují lidskou společnost nebo její dílčí prvky. Uváděli jsme, že spouštěcí událostí může být technická závada, selhání obsluhy nebo přímo úmysl příslušnou hrozbu uskutečnit. Zabezpečení pracovišť se zdroji ionizujícího záření je tak nedílnou součástí zajištění celkové bezpečnosti těchto pracovišť.

Účelem zabezpečení jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření je ochrana osob, majetku, společnosti a životního prostředí před škodlivými následky útoků na tato zařízení.

Obavy před možným zneužitím jaderných materiálů vedly k zavedení zárukového systému, který zavádí evidenci a kontrolu jaderných materiálů (viz kapitola 1.8.3). Rovněž systém zabezpečení jaderných zařízení byl řešen v maximální možné míře. Je zaveden systém fyzické ochrany jaderných materiálů a zařízení^{42,43}, který zobecňuje a navazuje na mnohaleté zkušenosti s ochranou jaderných zařízení a materiálů. Po teroristických útocích z 11. září 2001 se problematice možných útoků a zneužití zařízení věnovala intenzivní pozornost. Při hodnocení možných dopadů se

⁴² Úmluva o fyzické ochraně jaderných materiálů (Convention on the Physical Protection of Nuclear Material), Vídeň, 26.10.1979, následně 24.3.1993, Sdělení MZV č. 114/1996 Sb.

⁴³ Úmluva o jaderné bezpečnosti (Convention on Nuclear Safety); Vídeň, 20.9.1994 Vídeň, 20.9.1994, účinnost 24.10.1996, Sdělení MZV č. 67/1998 Sb.

postupně upřela pozornost nejen k jaderným materiálům a zařízením, ale začal se vyhodnocovat i způsob zabezpečení dalších pracovišť se zdroji ionizačního záření.

Zabezpečení pracovišť se zdroji ionizujícího záření zahrnuje zejména:

- ochranu před krádeží radioaktivních materiálů
- ochranu před sabotáží na pracovištích se zdroji ionizujícího záření

Opatření, kterými je realizováno zabezpečení pracovišť, je založeno na odstrašování před útokem, schopnosti zjistit útok, zdržení a reakci k odvrácení nebo zmírnění následků útoku.

2 DOPORUČENÍ MEZINÁRODNÍ AGENTURY PRO ATOMOVOU ENERGIÍ

2.1 Základní bezpečnostní principy

V roce 2000 byly zahájeny práce na formulaci nejobecnějších bezpečnostních principů, které zobecňovaly zkušenosti při provozu jaderných zařízení, nakládání s radioaktivními odpady i pracovišti se zdroji ionizujícího záření. Práce byly řízeny Mezinárodní agenturou pro atomovou energii, ale účastnila se řada mezinárodních organizací a výsledkem této spolupráce jsou Základní bezpečnostní principy⁴⁴. Bylo formulováno 10 základních principů, na které navazují další požadavky (rozpracovávané v serii Safety Requirements) a návody (Safety Guides).

Princip 1: Odpovědnost za bezpečnost: Primární odpovědnost za bezpečnost musí zůstat na osobách nebo organizacích, které jsou odpovědné za zařízení nebo činnosti, které mohou způsobit radiační riziko.

Princip 2: Úloha vlády: Vláda musí vytvořit a udržovat účinný legislativní rámec pro bezpečnost, včetně nezávislého regulačního orgánu.

Princip 3: Vedení a management bezpečnosti: Účinný řídicí systém a angažovanost nejvyšších představitelů organizace musí být zavedeny a udržovány u všech organizací, které se zabývají činnostmi a zařízeními, jež mohou způsobit radiační riziko.

Princip 4: Zdůvodnění zařízení a činností: Provoz zařízení a činností, které vedou k radiačnímu riziku, musí přinést celkový prospěch (prospěch musí převážet nad riziky).

Princip 5: Optimalizace ochrany: Ochrana musí být optimalizována tak, aby zajistila nejvyšší úroveň bezpečnosti, které lze rozumně dosáhnout (Princip ALARA=As Low As Reasonably Achieved).

Princip 6: Omezení rizika pro jedince: Opatření pro kontrolu radiačního rizika, musí zajistit, aby žádný jednatel nebyl vystaven nepříjemnému riziku poškození.

Princip 7: Ochrana současné i budoucích generací: Lidé a životní prostředí, v současnosti i budoucnosti musí být chráněni proti hrozbám ionizujícího záření.

Princip 8: Předcházení nehodám: Musí být vynaloženo maximální úsilí k prevenci a zmírnění jaderné nebo radiační nehody.

Musí být přijata opatření, aby byla zajištěna co nejmenší pravděpodobnost nehody nebo havárie. Opatření musí být přijata zejména:

⁴⁴ IAEA, *Fundamental Safety Principles, Safety Standards, SF-1*, Vídeň 2006, ISBN 92-0-110706-4

- k zabránění výskytu poruch nebo neobvyklých podmínek (včetně porušení zabezpečení), které by mohly vést k takové ztrátě kontroly
- aby se zabránilo eskalaci takových poruch nebo abnormálních podmínek, které se vyskytují
- k zabránění ztráty zdroje ionizujícího záření nebo ztráty kontroly nad ním.

Hlavním prostředkem prevence a zmírnění následků nehody je "obrana do hloubky"⁴⁵. Obrana do hloubky je realizována především prostřednictvím kombinace řady po sobě jdoucích a nezávislých úrovní ochrany, které by musely selhat, aby se škodlivé účinky mohly projevit a ohrozit jedince nebo životní prostředí. Pokud selže jedna úroveň ochrany nebo zábrany, je k dispozici následná úroveň. Při správném provedení obrana do hloubky zajišťuje, že žádné jednotlivé technické, lidské nebo organizační selhání nemůže vést ke škodlivým účinkům a že kombinace poruch, které by mohly vést k významným škodlivým účinkům, jsou velmi nepravděpodobné. Nezávislá účinnost různých úrovní obrany je nezbytným prvkem obrany do hloubky.

Hloubková ochrana je zajištěna vhodnou kombinací:

- efektivního řídicího systému řízení bezpečnosti a kultury bezpečnosti
- vhodného výběru umístění, začlenění různorodých technických opatření do návrhu a jejich znásobení

Zásada 9 : Havarijní připravenost: Musí být přijata opatření pro havarijní připravenost a reakci na jaderné a radiační nehody.

Zásada 10: Ochranná opatření, která mají snížit stávající nebo neregulované radiační riziko: Ochranná opatření, která mají snížit stávající nebo neregulovaná radiační rizika, musí být odůvodněna a optimalizována. Jedná se zejména o situace související s ohrožením spojeným s činnostmi, které nebyly vykonávány pod dohledem kontrolních orgánů (historické zátěže - například pozůstatky staré těžby a podobně) nebo s přírodními zdroji (problematika radonu, nebo letecké dopravy).

Tyto základní principy vytvářejí základní rámec, který požaduje mezinárodní společenství pro zajištění bezpečnosti provozu jaderných a radiačních zařízení a činností s nimi souvisejících.

⁴⁵ IAEA, *Defence in Depth in Nuclear Safety* INSAG-10, IAEA, Vídeň: IAEA, 1996, ISBN 92-0-103295-1

Jednoznačně poukazuje na roli státu, který zodpovídá za vytvoření nezávislého dozorového orgánu a vhodného legislativního prostředí, které umožní efektivně naplňovat požadavky bezpečnosti.

2.2 Doporučení v oblasti zabezpečování

Oblasti zabezpečení zdrojů se Mezinárodní agentura pro atomovou energii věnuje již od sedmdesátých let, kdy začala poskytovat školení ve fyzické ochraně materiálů. Po útocích z 11. září 2001 došlo k zintenzivnění činnosti i v této oblasti. Mezinárodní agentura pro atomovou energii pracuje na základě tříletých plánů tzv. Nuclear Security Plan. Zvýšená pozornost věnovaná zabezpečení těchto pracovišť se odráží například i v přejmenování divize jaderné bezpečnosti Mezinárodní agentury pro atomovou energii z Nuclear Safety na Nuclear Safety and Security.

Připravuje se obdobný systém dokumentů jako v oblasti jaderné bezpečnosti. V současné době je zahájeno vydávání dílčích dokumentů v rámci IAEA Nuclear Security Series⁴⁶.

V roce 2013 byl vydán dokument specifikující 12 základních prvků státního režimu jaderného zabezpečení⁴⁷.

Základní prvek 1: Odpovědnost státu

Obdobně jako v případě druhého základního bezpečnostního principu je stát tím prvkem společnosti, který může vytvořit, zavést, udržovat a vymáhat jaderně bezpečnostní režim.

Základní prvek 2: Určení a vymezení odpovědnosti za zabezpečování jaderných zařízení

Je potřeba jednoznačně stanovit odpovědnosti jednotlivých kompetentních orgánů a vymezit jejich případnou koordinaci nebo integraci.

Základní prvek 3: Legislativní a dozorový rámec

Legislativní rámec je základním nástrojem pro řízení jaderně bezpečnostního režimu. Nedílnou součástí je vytvoření nezávislého dozorového orgánu.

Základní prvek 4: Mezinárodní přeprava jaderných a radioaktivních materiálů

Stát zodpovídá za zabezpečení jaderných a radioaktivních materiálů i při jejich přepravě a zodpovídá za to, že tyto materiály jsou řádně předány do gesce jiného státu.

⁴⁶ IAEA, *Nuclear Security Series Publications*, [online], 13.8.2013, [cit.4.2.2014], Dostupné z: www-ns.iaea.org/security/nss-publications.asp?s=5&l=35

⁴⁷ IAEA, *Objective and Essentials Element of a State's Nuclear Security Regime, Nuclear Security Fundamentals*, IAEA Nuclear Security Series 20., Vídeň, 2013, ISBN 978-92-0-137810-1

Základní prvek 5: Delikty a sankce včetně kriminalizace

Zavedení vhodných a přiměřených sankcí za porušení jaderné bezpečnosti představuje aplikaci moci státu. Sankce mají být vhodně odstupňované včetně možnosti předání k trestnímu stíhání.

Základní prvek 6: Mezinárodní spolupráce a pomoc

Stejně jako se terorismus stává globálním problémem, tak i pro zabezpečení jaderných zařízení je potřeba vytvořit účinnou a funkční mezinárodní spolupráci. Na národní úrovni je nezbytné stanovit a oznámit kontakt pro potřeby včasné notifikace, pomoci a spolupráce a následně umožnit, aby byly včas poskytovány potřebné informace i účinná spolupráce.

Základní prvek 7: Identifikace a hodnocení ohrožení jaderné bezpečnosti

Pro naplnění tohoto prvku je potřeba, aby jednotlivé hrozby byly identifikovány a vyhodnocovány včetně hodnocení pravděpodobnosti jejich naplnění. Přitom není možno se omezovat pouze na ohrožení cílů nebo hrozby na území vlastního státu.

Základní prvek 8: Identifikace a vyhodnocení cílů a možných následků

Stejně jako jsou identifikovány a vyhodnocovány hrozby, je potřeba vyhodnotit a klasifikovat možné cíle. Klasifikace je založena na rozsahu možných následků, k nimž by došlo v případě ohrožení daného cíle.

Základní prvek 9: Přístup na základě znalosti rizika

Tento prvek požaduje, aby řízení systémů spojených s činnostmi na pracovišti bylo založeno na znalosti možných rizik. To znamená, že jsou zajištěny dostatečné prostředky pro systémy zabezpečení daných pracovišť a činností. Rozhodování používá odstupňovaný přístup a princip obrany do hloubky.

Základní prvek 10: Zjištění události

Pro naplnění požadavků tohoto prvku je potřeba zajistit, aby na všech potřebných úrovních bylo možno identifikovat pokusy o napadení zabezpečovaného systému a uvědomit relevantní orgány, aby bylo možno zahájit odpovídající reakci.

Základní prvek 11: Plánování, připravenost a zvládnutí události

Aby bylo možno účinně zasáhnout je potřeba soustavně plánovat a připravovat zasahující a řídicí orgány a organizace. Nejde jen o vlastní přípravu, ale zároveň je potřeba plány a prostředky zásahu periodicky testovat.

Základní prvek 12: Udržování režimu jaderného zabezpečení

Pro udržení zavedeného režimu je potřeba, aby všechny kompetentní a dotčené orgány a organizace přispívaly k jeho udržení. To znamená, že problematika

bezpečnosti a zabezpečení je dostatečně podporována integrovaným systémem řízení a jasnou a projevovanou angažovaností nejvyššího vedení.

2.2.1 Doporučení pro pracoviště

Systém zabezpečení pracoviště musí být integrální součástí řídicího systému pracoviště. Typické funkce tohoto systému jsou kromě toho dále:

- odstrašení (Účelem je přesvědčit potenciální útočníky, že výsledek útoku je natolik nejistý, že je lepší útok neprovádět.)
- zjištění (Jde o základní prvek systému a zpravidla je založen na kombinaci vizuálního i video pozorování, elektronického zabezpečovacího systému, systému evidence vstupů a přístupů.)
- zdržení (Má bránit pokusům o neoprávněný přístup nebo pokusu o sabotáž po dobu potřebnou k zásahu proti narušiteli. Jedná se o faktor času potřebného ke zdolání systému bariér a dalších opatření fyzické ochrany.)
- zásah (Jde o činnosti a opatření přijímaná k odvrácení útoku od doby jeho zjištění. Tyto akce jsou zpravidla vykonávány bezpečnostní službou, případně státními bezpečnostními orgány.)

Mezinárodní agentura pro atomovou energii doporučuje pro pracoviště s radioaktivními látkami tři úrovně zabezpečení⁴⁸:

- **Úroveň zabezpečení A:** Předcházení neoprávněné manipulace se zdrojem
- **Úroveň zabezpečení B:** Minimalizace pravděpodobnosti neoprávněné manipulace se zdrojem
- **Úroveň zabezpečení C:** Snížení pravděpodobnosti neoprávněné manipulace se zdrojem

Úroveň zabezpečení postupně klesá od A k C.

⁴⁸ IAEA, *Security of Radioactive Sources*, IAEA Nuclear Security Series 11, Vídeň, 2009, ISB 978-92-0-102609-5

3 SOUČASNÉ ŘEŠENÍ BEZPEČNOSTI PRACOVÍŠŤ SE ZDROJI IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ V ČESKÉ REPUBLICE

3.1 Legislativní rámec

V České republice je využívání ionizujícího záření řízeno Atomovým zákonem⁴⁹. Všechny osoby a organizace, které chtějí využívat ionizující záření, musí mít patřičná povolení k činnosti a provozu příslušného pracoviště. Atomový zákon a jeho prováděcí předpisy vytvářejí síť komplexních požadavků na jednotlivá pracoviště a činnosti (viz přílohy A a B). Zároveň uvádějí základní klasifikaci pracovišť, umožňují odstupňovanou aplikaci obecných požadavků tak, aby požadavky byly proporcionálně stanoveny a efektivně naplňovány. Vlastní problematice zabezpečení zdrojů není vyhrazen specializovaný předpis, ale jsou aplikovány požadavky na jednotlivá pracoviště v rámci radiační ochrany, jaderné bezpečnosti, havarijní připravenosti a fyzické ochrany jaderných materiálů.

Dozorovým orgánem pro tuto oblast stanovuje atomový zákon Státní úřad pro jadernou bezpečnost.

Už sama definice jaderného zařízení v atomovém zákoně⁵⁰ rozšiřuje jeho působnost a zahrnuje i pracoviště, která neobsahují jaderný reaktor a dokonce ani jaderné materiály – úložiště a sklady radioaktivních odpadů. Prováděcí vyhláška SÚJB⁵¹ zařazuje uvedená pracoviště do nejnižší kategorie (III⁵²). Tato vyhláška stanovuje požadavky na technické zabezpečení, režim vstupu osob a další administrativně technická opatření.

⁴⁹ Zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1997, částka 5, s. 82-106, ISSN 1211-1244, v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z:

www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Atomovy_zakon_20120103.pdf

⁵⁰ Tamtéž, §2 h)

⁵¹ Vyhláška č. 144/1997 Sb., o fyzické ochraně jaderných materiálů a jaderných zařízení a o jejich zařazování do jednotlivých kategorií, In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1997, částka 51, s. 2746-2755, ISSN 1211-1244, v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z:

www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/1_144_1997_Sb.pdf

⁵² Tamtéž §4 (3)

Způsob reakce na možné narušení je řešen v rámci havarijní připravenosti⁵³. Zde je narušení bezpečnosti považováno za jednu z možných mimořádných událostí. Systém havarijní připravenosti řeší i způsob koordinace zasahujících orgánů.

Zabezpečení pracoviště a režim vstupu je řešen společně s požadavky radiální ochrany⁵⁴.

3.2 Zabezpečení vybraných pracovišť se zdroji ionizujícího záření

3.2.1 Zabezpečení pracovišť s ozařovači

Pracoviště se silnými ozařovači nejsou zařazena do seznamu pracovišť, kde je požadováno zabezpečení fyzické ochrany. Vlastní zabezpečení je tak součástí radiální ochrany.

Hrozby, které se mohou uplatnit u těchto zařízení byly popsány v kapitolách 1.8.4 a 1.8.5.; jde zejména o hrozby způsobené zevním ozářením a v případě radionuklidových ozařovačů i rizika spojená se ztrátou kontroly nad zářičem.

Základní ochranou proti možnému ohrožení zevním ozáření osob nacházejících se v okolí pracoviště je vhodné technické řešení, které poskytne dostatečné odstínění jak pro obsluhu, tak i osoby v okolí, a to jak v klidovém stavu, tak i při činnosti ozařovače. Technické řešení zpravidla zahrnuje:

- Stínění radionuklidového zdroje v klidové poloze, které umožní činnost v pracovním prostoru bez rizika nadměrného ozáření (to znamená, že intenzita záření je na takové úrovni, že pravděpodobnost poškození zdraví obsluhy je na akceptovatelné úrovni - ta je zpravidla určena limity stanovenými pro konkrétní zařízení). Existuje více technických možností. Pro rozměrné zářiče (používané například při sterilizaci zdravotnického materiálu) se využívá ponoření pracovního zářiče do hlubokého bazénu s vodou, která poskytuje dostatečné stínění a umožňuje i snadnou manipulaci s ozařovacím rámem. Bodové zářiče používané v radioterapeutických ozařovačích jsou umístěny ve stínění, které má otevírací okénko, jež umožňuje odstranění části stínění při

⁵³ Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č.318/2002 Sb. o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu, In: *Sbírka zákonů České republiky*, 2002, částka 116, s6780-6788, ISSN 1211-1244 v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z: www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/9_318_2002_Sb.pdf

⁵⁴ Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb. o radiální ochraně, In: *Sbírka zákonů České republiky*, 2002, částka 113, s6362-6544, ISSN 1211-1244 v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z: www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/8_317_2002_Sb.pdf

ozařování. V případě urychlovačů toto stínění není potřeba, protože vypnutý urychlovač negeneruje žádné ionizující záření.

Obrázek 1: Schéma ozařovače TERAGAM⁵⁵

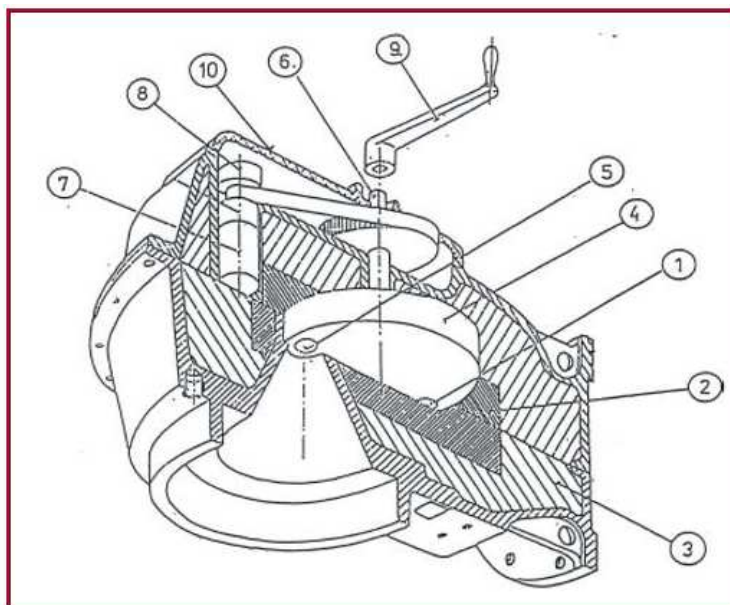


Schéma ozařovací hlavice TERAGAMu

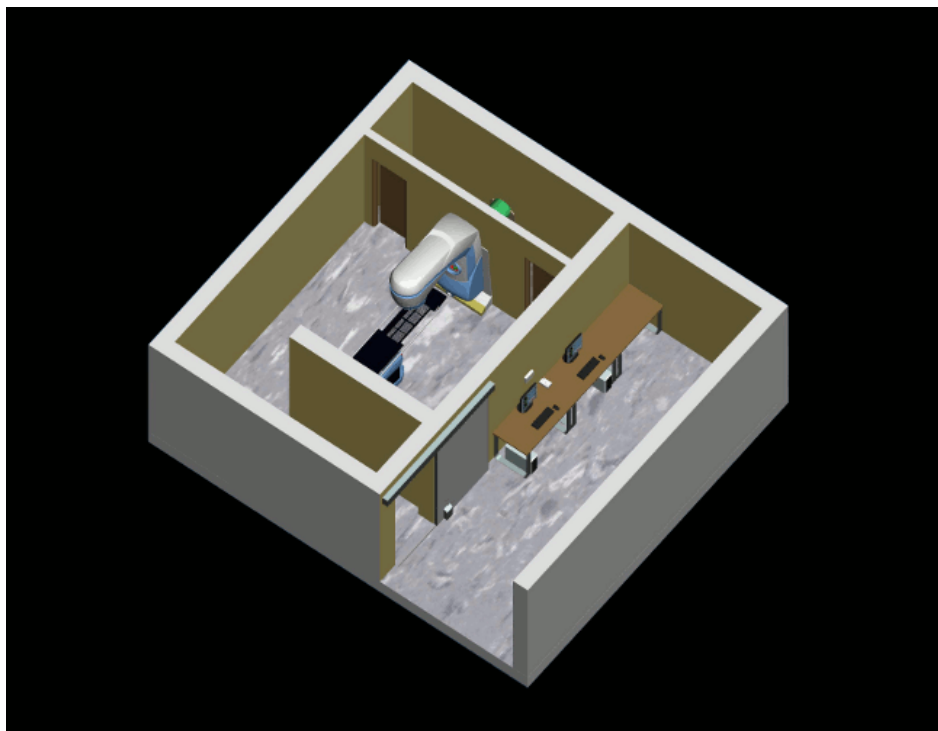
1. Zdroj ⁶⁰Co v uzavřeném stavu
2. Stínění ozařovací hlavice
3. Stínění ozařovací hlavice
4. Otočný disk pro uložení zdroje
5. Zdroj ⁶⁰Co v otevřeném stavu
6. Čep pro nasazení bezpečnostní páky při ručním zavírání zdroje
7. Mechanické části
8. Mechanické části
9. Bezpečnostní páka pro ruční zavření zdroje
10. Kryt ozařovací hlavice

- Odstínění pracoviště obsluhy od pracovního (ozařovacího) prostoru. To umožňuje, aby obsluha měla kontrolu nad pracovním prostorem, ale sama nebyla vystavena nadlimitnímu ozáření (i zde máme na mysli limity stanovené pro pracovníky se zdroji ionizujícího záření, nikoli veřejnost). Stínění je zpravidla provedeno stavební konstrukcí s dostatečně silnými zdmi. Pokud je potřeba přímý vizuální kontakt s pracovním místem, používají se okna ze silného (desítky cm) olovnatého skla. Dnes se spíše používají kamery (často jde o odstíněnou kameru, která prostor zabírá přes zrcadlo, aby nebyla vystavována účinkům záření, které by snižovaly její životnost). Pro

⁵⁵ KVAPIL, J., *Schéma ozařovací hlavice TERAGAMu – podle výrobce a fotografie konkrétní instalace ve Fakultní nemocnici v Olomouci*, [online] 27.11.2005, [cit. 27.1.2014], Dostupné z: projektysipvz.gytool.cz/ProjektySIPVZ/Default.aspx?uid=127

řešení přístupu k pracovnímu prostoru se používá lomená chodba, aby stínění bylo na stavební konstrukci, nikoli dveřích. To zároveň eliminuje hrozbu ozáření způsobenou úmyslně nebo z nedbalosti otevřenými dveřmi.

Obrázek 2: Schéma uspořádání ozařovny⁵⁶



- Odstínění okolí – to je zpravidla spojeno opět se stavebním řešením, je potřeba, aby byly dodrženy limity platné pro veřejnost, které jsou odvozeny tak, aby riziko spojené s hrozbou ozáření bylo na přijatelné úrovni. Při řešení stínění je potřeba odstiňovat i případné přístupné prostory nad a pod pracovištěm (toto je důležité zejména při umístění pracoviště v nemocnicích).

Kompaktní stavební řešení usnadňuje kontrolu vstupujících osob, která už spadá do oblasti technicko - organizačního zabezpečení pracoviště.

Kontrola vstupu osob se týká jednak ochrany vstupujících osob před hrozbou ozáření, jednak má přispět k ochraně před hrozbou sabotáže nebo zcizení záříče.

⁵⁶ ÚJP Praha, *Vizualizace ozařovny s kobaltovým ozařovačem TERABALT pro potřeby marketingu a prezentaci výrobku při akcích pro širokou veřejnost*, [online] [cit.27.1.2014], Dostupné z: awards-2009.aveng.cz/prumyslovy-design-vizualizace-vyrobku/ujp-vizualizace-ozarovny.aspx?alttemplate=awards_page

Pokud dojde k zahájení ozařování v přítomnosti osob, které nejsou uvažovány při posuzování rizika, mohou tyto osoby být ohroženy. Pokud jde o ozařování pacientů, může být v některých případech přítomen ošetřovatel/operátor. Ten je obeznámen s riziky a pravidly chování při ozařování, bývá vybaven dalšími ochrannými pomůckami. K přímému ohrožení života může dojít u silných ozařovačů (například pro sterilizační účely). U nich musí být zajištěna signalizace před zahájením přesunu zářiče do pracovní polohy a v pracovním prostoru musí být nainstalováno nouzové ovládání k přerušování ozařování. To zajistí bezpečnost pro případ, že by došlo k pokusu o zahájení ozařování v přítomnosti osob ať už z nedbalosti nebo zlého úmyslu.

Zabezpečení před sabotáží nebo krádeží zdroje je založeno na ochraně ovládání zdroje. Jde o to, aby nemohlo dojít k jeho zneužití. Typickým řešením je elektronické zabezpečení pracoviště, pracovního prostoru a ovládání zdroje, které je vyvedeno k bezpečnostní službě. Zpravidla je požadováno, aby se uplatnil princip „dvou klíčů“ což znamená, že kromě operátora zdroje, musí zahájení provozu povolit i další osoba. Toto opatření má zamezit možnost, že by operátor jednal pod nátlakem.

Krádež samotného zdroje záření z ozařovače je komplikovaná, pokud nemá být narušitel vystaven riziku ozáření, které bude mít za následek jeho smrt nebo velice vážné zdravotní následky. Pro bezpečnou výměnu nebo vyjmutí zářiče je potřeba speciálních nástrojů a těžkých přepravních stínění. Toto se běžně považovalo za dostatečné odstrašení i zdržení. Dnes je však potřeba hodnotit i možnost, že se o krádež pokusí dostatečně motivovaná osoba, pro kterou téměř jistá smrt není důvodem k neprovedení útoku (sebevrah). Potom je doba zdržení zkrácena pouze na dobu od detekce průniku do zařízení k demontáži zářiče. Zadržení útočníka již s vyjmutým otevřeným nestíněným zářičem by bylo velice riskantní pro zasahující. Útočník i v případě vysoké obdržené dávky bude schopen činnosti minimálně v řádu hodin, ale spíše několika dnů, i když se postupně projeví účinky záření ve formě nemoci z ozáření a akutních lokálních změn (popálenin).

3.2.2 Zabezpečení úložiště radioaktivního odpadu Richard

Uložení radioaktivních odpadů je posledním krokem při zajištění bezpečného nakládání s radioaktivními odpady. Úložiště radioaktivních odpadů je, jak je i definováno v § 2 odstavec u) atomového zákona⁵⁷, zařízení, které slouží k ukládání

⁵⁷ Zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1997, částka 5, s. 82-106, ISSN 1211-1244, v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z:

www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Atomovy_zakon_20120103.pdf

radioaktivních odpadů, přičemž pod ukládáním se rozumí trvalé umístění radioaktivních odpadů do prostorů, objektů nebo zařízení bez úmyslu jejich dalšího přemístění (§ 2 písmeno t) atomového zákona). Je třeba zajistit ochranu osob i životního prostředí jak před zevním ozářením, tak i před rozšířením radionuklidů obsažených v uloženém radioaktivním odpadu a následně možné vnitřní kontaminaci nebo kontaminaci životního prostředí. Tuto ochrannou funkci je třeba zabezpečit po celou dobu, kdy mohou radionuklidy v odpadech ohrozit okolí nebo obyvatelstvo.

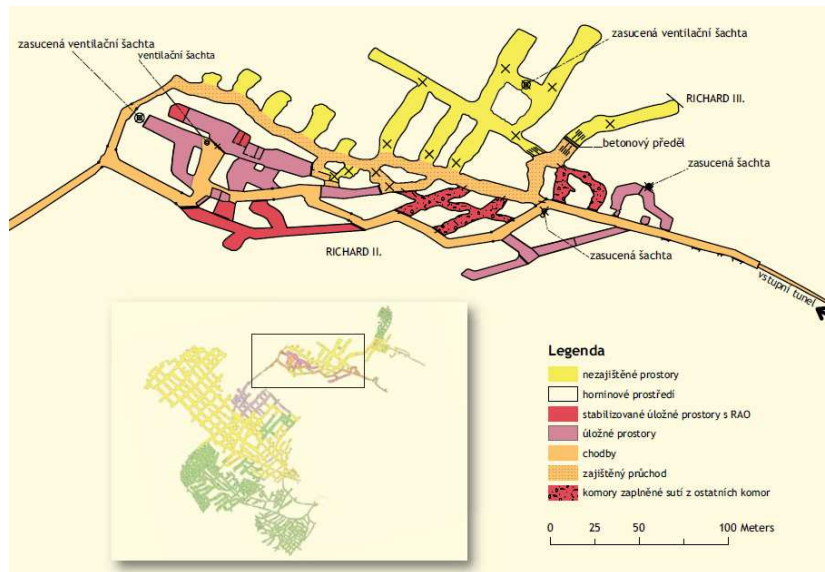
Dlouhodobá ochrana obyvatelstva a životního prostředí před zevním ozářením je zajištěna celkem snadno tím, že odpady jsou umístěny dostatečně daleko (hluboko), a tak jsou odstíněny od životního prostředí.

Dlouhodobá ochrana před předčasným (to znamená v době, kdy radionuklidy mohou negativně ovlivnit životní prostředí nebo obyvatelstvo) rozšířením radionuklidů je založena na tzv. multibariérovém principu, kdy jednotlivé bariérové složky úložného systému, kterými jsou vlastní jednotka radioaktivního odpadu, která obsahuje upravený odpad do vhodné formy, výplňový materiál a případné těsnění aplikované v podzemních prostorách (nebo konstrukce úložných prostor u povrchových úložišť) a především okolní horninové prostředí, plní bezpečnostní funkce zajišťující dlouhodobou izolaci uloženého radioaktivního odpadu od složek životního prostředí, s nimiž by v budoucnosti mohlo být ve styku obyvatelstvo.

Funkce úložného systému jsou vždy několikanásobně jištěny: při selhání izolační funkce kontejneru nahrazuje jeho schopnosti výplňový materiál, při zhoršení retardačních vlastností výplně by zajistila zpoždění radionuklidů v prostředí horninová struktura apod. Výsledkem je pak stabilní systém s dobře předvídatelnými vlastnostmi.

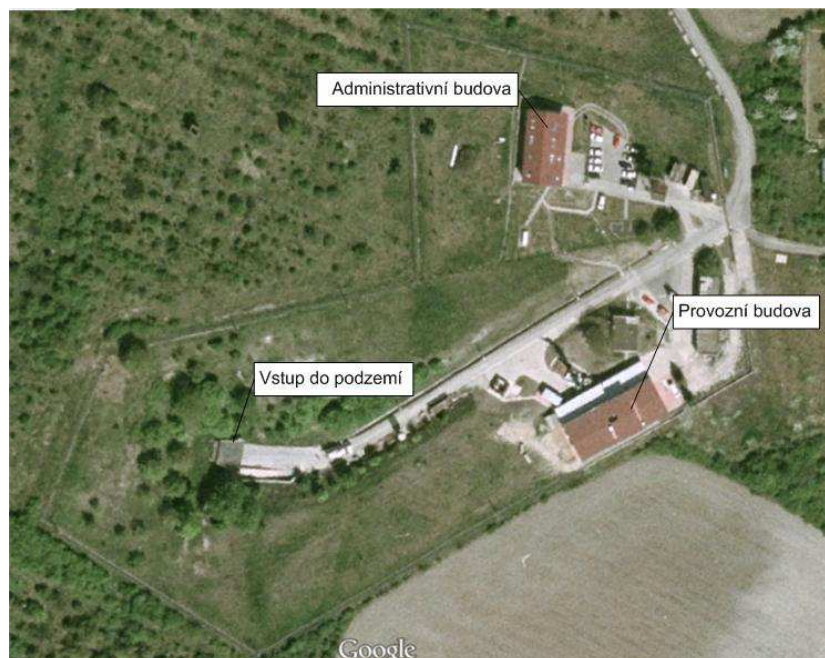
Úložiště radioaktivních odpadů Richard je zbudováno v prostorách bývalého vápencového dolu. Úložiště tvoří malá část bývalého důlního komplexu Richard I, II a III, který vznikl spojením tří původně oddělených vápencových dolů za druhé světové války při budování podzemní továrny (odtud pochází i jméno Richard). Po válce pokračovala těžba a výsledný komplex má více než 40 km chodeb a překopů. Úložiště bylo vybudováno v subhorizontální desce jílovitého vápence o mocnosti cca 5 m. Nadloží i podloží důlního komplexu je tvořeno nepropustnými slínovci, jejichž mocnost přesahuje 50 m.

Obrázek 3: Schéma podzemní části ÚRAO Richard⁵⁸



Součástí úložiště je i příslušný nadzemní areál, který obsahuje administrativní a podpůrné systémy v několika budovách. Rozložení areálu lze vyčíst ze satelitního snímku získaného z maps.google.com. Na snímku je patrné oplocení areálu i rozložení hlavních budov, současná strážnice chybí, byla postavena až po pořízení snímku.

Obrázek 4: Nadzemní areál ÚRAO Richard



Připomeňme si nyní hrozby, kterými mohou radioaktivní odpady ohrozit obsluhu, veřejnost, životní prostředí a ekonomické prostředí. Zároveň můžeme v tomto

⁵⁸ SÚRAO, *Richard, úložiště radioaktivních odpadů*, Praha: SÚRAO, 2008

případě zhruba vyhodnotit pravděpodobnost, že hrozba bude naplněna, a odhadnout tak riziko a dopady.

3.2.2.1 Zevní ozáření

V úložišti radioaktivních odpadů Richard, jsou ukládány radioaktivní odpady, které odpovídají podmínkám přijatelnosti, které jsou stanoveny pro toto úložiště Státním úřadem pro jadernou bezpečnost⁵⁹. Standardní jednotkou je 200 litrový ocelový sud. Vlastní odpad o objemu 100 l je obklopen vrstvou betonu o tloušťce 5 cm.

Obrázek 5: Model standardní obalové jednotky radioaktivního odpadu



Pro úložiště Richard jsou stanoveny limity dávkového příkonu na povrchu obalových souborů s odpady. Základní limit je 1mSv/hod, za určitých podmínek může být po projednání se SÚJB přijat k uložení odpad, na jehož povrchu je dávkový příkon až 10 mSv/hod. Základní limit odpovídá polovině limitu pro transport radioaktivních látek. To znamená, že takováto jednotka nezpůsobuje samo o sobě nepřijatelné riziko poškození lidského zdraví jak pro obsluhu, tak i veřejnost. Po uložení sudů do úložných prostorů jsou sudy s odpadem odstiňovány od povrchu vrstvou horniny o mocnosti minimálně 35 m, takže výsledné záření, které pronikne na povrch, je zcela zanedbatelné a neměřitelné a riziko zevního ozáření veřejnosti je minimální.

⁵⁹ Zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, §31 3) ,In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1997, částka 5, s. 82-106, ISSN 1211-1244, v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z: www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Atomovy_zakon_20120103.pdf

Obdobná je i situace pro využití uzavřené radionuklidové zářiče, které jsou v zařízení Richard skladovány (tedy umístěny pouze do doby než budou převezeny do hlubinného úložiště). Pro ně platí obdobné limity, jako pro ukládané odpady, jen základní limit je na úrovni limitu pro přepravu. Pro řádně skladované odpady (využití uzavřené zářiče) platí, že riziko ozáření veřejnosti je zanedbatelné.

Obrázek 6: Některé URZ skladované v ÚRAO Richard



Jiná je situace, pokud by došlo ke krádeži skladovaného využitého uzavřeného zářiče. Pokud by se podařilo vynést nebo vyvézt tyto zdroje ionizujícího záření, mohlo by dojít k naplnění hrozby, která je popisována v kapitole 1.8.5. To znamená, že dopady naplnění by mohly být až fatální pro větší množství osob. Aby bylo riziko sníženo na přijatelnou mez, je nezbytné zabezpečit pracoviště takovým způsobem, aby pravděpodobnost krádeže byla minimální. To je zajištěno systémem fyzické ochrany úložiště.

3.2.2.2 Kontaminace okolí

Radioaktivní odpady jsou upravovány do formy vhodné k uložení, to v praxi znamená, že jsou fixovány do pevné matrice, v přijímaném odpadu nesmí být volná kapalina, výbušniny ani jedovaté látky. Při splnění těchto podmínek je zajištěna funkce úložiště a nehrozí možnost kontaminace okolí. Radioaktivní odpady jsou ve zdvojeném sudu odpovídajícím požadavkům na transport, takže jsou odolné i proti požáru. Je požadována odolnost po dobu 30 minut při teplotě 800°C. To znamená, že i případný provozní požár nezpůsobí uvolnění radioaktivních látek do okolí.

Jedině sabotáž by mohla mít za následek nepřijatelnou kontaminaci okolí. První možností je, že bude použit sud obsahující výbušninu. Pokud by došlo k výbuchu tohoto sabotážního sudu po jeho převzetí do úložiště, může skutečně způsobit až destrukci úložných prostor, přitom je možné, že dojde k poškození několika sudů, které

jsou jinak značně odolné. Samotné poškození sudů je situace, kterou lze zvládnout a zdolat, protože následná kontaminace zůstane uzavřena v úložných prostorech a může být sanována bez ohrožení okolí. Pokud by byl výbuch dostatečně silný, aby způsobil rozbití nadloží nad úložnými prostory, pak dojde ke zničení přírodních bariér a může dojít k průniku srážkových vod do prostoru úložiště. To by v dlouhodobém horizontu vedlo k uvolňování radioaktivních látek do okolí. Toto uvolňování by nebylo okamžité, navíc by směřovalo ke vstupu do úložiště, kde by bylo zachycováno. Dopadem takto masivního útoku by však bylo vyřazení úložiště z činnosti a nutnost sanace následků útoku, tím by vznikly značné ekonomické škody. Pravděpodobnost ohrožení zdraví kontaminací okolí je velice nízká.

Druhým způsobem sabotáže je přímý útok na úložiště a vyvezení uložených odpadů. Vyjmutí jednotek z úložných prostorů je časově náročné a plní tak úlohu zdržení spolu s hmotností samotných jednotek (standardní sudy mají hmotnost okolo 450-500 kg). I v případě, že by se podařilo jednotky naložit a odvézt, bude příprava špinavé bomby relativně neefektivní, protože odpady nejsou příliš koncentrované (v porovnání s využitými uzavřenými zářiči). Rovněž konstrukce standardní jednotky ztěžuje její použití jako součásti špinavé bomby.

Je zřejmé, že následky sabotáže na úložišti by měly především emocionální účinek na obyvatelstvo, nežli reálné dopady na zdraví obyvatelstva v okolí.

3.2.2.3 Ohrožení úložiště

Jak už jsme si ukázali v předchozím textu, za normálních podmínek jsou potenciální hrozby dopadu provozu úložiště minimální. K jejich naplnění může dojít, pokud by došlo k útoku na úložiště nebo pokusu o sabotáž.

Jak jsme uvedli v předchozí kapitole, útok nebo sabotáž může mířit na samotné úložiště s cílem jeho vyřazení z provozu, nebo radioaktivní látky v něm uložené ve variantě jejich okamžitého nebo pozdějšího rozptýlení. Samotná konstrukce úložiště - tedy, že je umístěno v podzemí, poskytuje značnou ochranu proti útokům typu „pád letadla“ nebo raketové ostřelování. Pro útočníky zbývá útok na vstupní část úložných prostor, útok vedený s použitím sabotovaného sudu nebo využití pracovníka obsluhy.

Použití sudu, do něhož by byl vložen výbušný mechanismus, je možné pouze při jeho přípravě, to znamená, že útok musí být veden na zpracovatelskou organizaci. Je téměř nemožné, aby toto zůstalo neodhaleno, navíc je SÚRAO oznamováno i zpracovávání odpadů a odpady musí „zrát“ 28 dní (vyzrání betonové konstrukce jednotky). Transport jednotek radioaktivního odpadu doprovází zástupce zpracovatele,

což je osoba obsluze úložiště známá. Tato opatření jsou považována za dostatečná. Lze předpokládat, že pokud by státní bezpečnostní orgány pojalý podezření na možný útok, lze tato opatření doplnit.

Zbývá tedy ochrana úložiště před útokem (externím i interním). To je zajištěno systémem fyzické ochrany, které je součástí řídicího systému.

Zajištění fyzické ochrany úložiště Richard je citlivou činností⁶⁰ ve smyslu §2a Atomového zákona⁶¹. To znamená, že všichni strážníci a obsluha úložiště je prověřována Národním bezpečnostním úřadem minimálně pro tuto činnost. Toto opatření má minimalizovat možnost útoku zevnitř organizace. Zůstává tu možnost donucení k útoku, proti této variantě je používána technika „dvou nezávislých klíčů“.

Systém fyzické ochrany řídí vstupy osob a vozidel do podzemní části úložiště. Protože chráněný prostor je identický s kontrolovaným pásmem, je evidence a řízení osob používáno i pro systém radiační ochrany v rámci integrovaného systému řízení. Chráněný prostor je trvale uzavřen, vstup je možný po odblokování vstupu ze strážnice na základě přístupových karet vstupujících zaměstnanců. Osoby mimo obsluhu mohou vstoupit po povolení pouze v doprovodu pracovníka obsluhy.

Prostory úložiště jsou zabezpečeny i elektronickým zabezpečovacím systémem, který je vyveden na pracoviště strážného a Policii ČR. Kromě toho má strážný k dispozici i kamerový systém, takže může kontrolovat situaci v chráněném prostoru i na přístupech k němu. Technické řešení je založeno na obraně do hloubky, takže útok musí překonávat několik bariér. Zároveň jsou zajišťovány i technické prostředky, které by mohly být použity k útoku. Čas potřebný pro zdolání zabezpečení je dostatečný k zajištění odezvy a zmaření útoku. Toto je vyhodnocováno při schvalování způsobu fyzické ochrany úložiště orgány SÚJB.

Signalizace vniknutí cizí osoby do úložiště je řešena v rámci systému havarijní připravenosti. Pokud dojde k signalizaci, je bezprostředně zahájena činnost na identifikaci narušitele. Strážný má v některých případech možnost poplach odvolat, pokud zjistí, že se jedná o planý poplach (několikrát se stalo, že obsluha zahájila vstup do podzemí rychleji, než strážný tuto operaci povolil). Z čidel, která jsou umístěna

⁶⁰ Zákon č. 412/2005 Sb. o ochraně utajovaných informací a o bezpečnostní způsobilosti, §80, In: *Sbírka zákonů České republiky*, 2005, částka 143, s. 7526-7576, ISSN 1211-1244, v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z: www.nbu.cz/download/nodeid-618/

⁶¹ Zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, §2a, In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1997, částka 5, s. 82-106, ISSN 1211-1244, v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z: www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Atomovy_zakon_20120103.pdf

uvnitř chráněného prostoru už odvolání poplachu možné není a potom už jsou automaticky aktivovány zasahující orgány Policie ČR.

Z pohledu zasahujících externích osob (Policie ČR) je potřeba nevyvolávat plané poplachy, aby nedošlo k zevšednění „odvolávaných“ zásahů. Zároveň je potřeba možné zasahující orgány pravidelně seznamovat se situací na úložišti, aby v případě zásahu nebyli zbytečně ohroženi.

Protože úložiště radioaktivních odpadů se může stát potenciálním cílem útoku či sabotáže, existuje neformální komunikace s příslušnými policejními orgány, které mohou v případech zjištění podezřelých skutečností upozornit orgány SÚJB nebo přímo SÚRAO, případně doporučit přijetí potřebných opatření.

Úložiště radioaktivních odpadů Richard je v provozu od konce roku 1964, během této doby nedošlo k pokusům o útok nebo sabotáž úložiště. Úložiště se stalo předmětem zájmu různých průzkumníků podzemí, zejména v souvislosti s historií podzemní továrny. Tato činnost způsobila několik poplachů, protože byly zaznamenány osoby na přístupech k úložišti.

ZÁVĚR

Tradice bezpečného a zabezpečeného ukládání v úložišti Richard, zavazuje. V nedávné době byla dokončena výstavba nové vrátnice, kde je vytvořeno moderní zabezpečovací centrum, čím došlo ke zkvalitnění zabezpečení tohoto pracoviště.

Zdroje radioaktivity na pracovištích se zdroji ionizujícího záření jsou potenciálně schopny ohrozit veřejnost. Opatření a podmínky používání těchto zdrojů však omezují pravděpodobnost, že by se tyto potenciální hrozby mohly naplnit. Je třeba si uvědomit, že i když primární odpovědnost za bezpečné používání zdrojů ionizujícího záření leží na těch, kteří tyto zdroje provozují, je potřeba i účasti státu na jejich ochraně.

I když není formálně zaveden systém zabezpečování pracovišť se zdroji ionizujícího záření, jsou potřebná opatření zavedena v rámci ostatních systémů řízení těchto pracovišť. Česká republika věcně naplňuje požadavky zabezpečení pracovišť se zdroji ionizujícího záření.

Na národní úrovni není formálně zaveden celostátní režim zabezpečování, požadavky na něj nejsou formulovány a spolupráce a koordinace je částečně zavedena na neformální úrovni.

Tyto závěry jsou podpořeny i předběžně uvolněnými závěry mise Integrated Regulatory Review Service (IRRS),⁶² která proběhla ve dnech 18 - 29. 11. 2013. Mise zejména ocenila vysokou míru nezávislosti SÚJB s pravomocemi navrhnout vládě novou legislativu a zavádět předpisy. Mezi klady zařadila i to, že připravenost a odezva na radiační či jaderné mimořádné události jsou dobře koordinované s celostátní krizovou infrastrukturou. Tým IRRS také určil oblasti, kde by se celkový výkon regulačního systému mohl posílit. Vláda ČR by podle mise měla zavést národní bezpečnostní politiku a strategii, která zajistí, aby se bezpečnostní standardy dostaly přímo do dokumentu nejvyšší úrovně.

System řízení SÚJB doporučili experti dále rozvíjet, zejména v implementaci nových opatření a kultury bezpečnosti včetně hodnocení a zlepšování účinnosti regulace. Podle mise by se také měly sladit národní krizové plány, kategorizace ohrožení a kroky obnovy s bezpečnostními standardy Mezinárodní agentury pro

⁶² IAEA, *IAEA Mission Concludes Peer Review of Czech Nuclear Regulatory Framework* [online] [cit. 4.2.2014], Dostupné z: www.iaea.org/newscenter/pressreleases/2013/prn201326.html

atomovou energií. Legislativa ČR jako celek by se měla průběžně porovnávat s posledními bezpečnostními standardy MAAE⁶³.

⁶³ SÚJB, MAAE: *Český systém regulace jaderné bezpečnosti a radiční ochrany je „robustní“ a SÚJB je efektivním a nezávislým regulátorem*, [online], 2.12.2013, [cit.4.2.2013], Dostupné z: www.sujb.cz/aktualne/detail/clanek/maae-cesky-system-regulace-jaderne-bezpecnosti-a-radiacni-ochrany-je-robustni-a-sujb/

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Seznam použitých českých zdrojů

DLOUHÝ, Z., Nakládání s radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem, 1. Vydání, Brno: VUTIUM, 2009, ISBN 978-80-214-3629-9

MAJER, V. et al. Základy jaderné chemie. 2. přepracované vydání Praha: SNTL, 1981

Seznam použitých zahraničních zdrojů

IAEA, Defence in Depth in Nuclear Safety INSAG-10, IAEA, Vídeň: IAEA, 1996, ISBN 92-0-103295-1

IAEA, *Objective and Essentials Element of a State's Nuclear Security Regime, Nuclear Security Fundamentals*, IAEA Nuclear Security Series 20, Vídeň: IAEA, 2013, ISBN 978-92-0-137810-1

IAEA, *Safety Glossary*, IAEA, Vídeň: 2007, ISBN 92-0-100707-8

IAEA, *Fundamental Safety Principles*, Safety Standards, SF-1, Vídeň: 2006, ISBN 92-0-110706-4

IAEA, *Security of Radioactive Sources*, IAEA Nuclear Security Series 11, Vídeň: IAEA, 2009, ISBN 978-92-0-102609-5

IAEA, *Stakeholder involvement in nuclear issues*, INSAG-20, IAEA, Vídeň: IAEA, 2006, ISBN 92-0-111206-8

Seznam použitých internetových zdrojů

An Energy Landmark, [online], [cit. 25.12.2013] Dostupné z: [//www.inl.gov/ebr/](http://www.inl.gov/ebr/)

BAKALA, J. *LÉKAŘSTVÍ: Z historie RTG* [online], 4.4. 2007, [cit. 25.12.2013] Dostupné z: neviditelny pes.lidovky.cz/lekarstvi-z-historie-rtg-0hf-/p_veda.aspx?c=A070402_113424_p_veda_wag

FJFI, *Reaktorová fyzika I., 5. Zpomalování neutronů*, [online], [cit. 5.2.2014], Dostupné z www.fjfi.cvut.cz/reaktorova_fyzika1/

HAVRÁNEK, B. (ed.), *Slovník spisovné češtiny* [online], [cit. 25.12.2013] Dostupné z: ssjc.ujc.cas.cz/search.php?db=ssjc

IAEA, *About IAEA*, [online], [cit. 4.2.2014], Dostupné z iaea.org/About/about-iaea.html

IAEA, *Dědictví Černobylu: Zdravotní, ekologické a sociálně-ekonomické dopady a Doporučení vládám Běloruska, Ruské federace a Ukrajiny*, [online], 2006, [cit. 5.2.2014], ISBN 80-02-01806-0

IAEA, *IAEA Mission Concludes Peer Review of Czech Nuclear Regulatory Framework* [online] [cit. 4.2.2014], Dostupné z: www.iaea.org/newscenter/pressreleases/2013/pmr201326.html

IAEA, *Memberstates of the IAEA*, [online], [cit. 4.2.2014], Dostupné z www.iaea.org/About/Policy/MemberStates/

IAEA, *Nuclear Security Series Publications*, [online], 13.8.2013, [cit.4.2.2014], Dostupné z: www-ns.iaea.org/security/nss-publications.asp?s=5&l=35)

IAEA, *Power Reactors Information System*, 14. 2.2014, [cit. 18.2.2014] www.iaea.org/pris/.

Informační centrum OSN v Praze, *Otázky a odpovědi*, [online], [cit. 20.2.2014], Dostupné z www.osn.cz/otazky-a-odpovedi/?id=3

Jaderná elektrárna, [online], 20.12.2013, [cit. 25.12.2013] Dostupné z: cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1_elektr%C3%A1rna

KVAPIL, J., *Schéma ozařovací hlavice TERAGAMu – podle výrobce a fotografie konkrétní instalace ve Fakultní nemocnici v Olomouci*, [online] 27.11.2005, [cit.27.1.2014], Dostupné z: projektysipvz.gytool.cz/ProjektySIPVZ/Default.aspx?uid=127

MACOUN, J. Atomový věk začal přesně před 70 roky reaktorem ze dřeva [online], 2.12. 2012, [cit. 25.12.2013] Dostupné z: technet.idnes.cz/fermi-a-prvni-jaderny-reaktor-d21-/veda.aspx?c=A121130_170709_veda_mla

Maria Curie-Skłodowska [online], 23.12.2013, [cit. 25.12.2013] Dostupné z: cs.wikipedia.org/wiki/Maria_Curie-Sk%C5%82odowska

SÚJB, MAAE: *Český systém regulace jaderné bezpečnosti a radiální ochrany je „robustní“ a SÚJB je efektivním a nezávislým regulátorem*, [online], 2.12.2013, [cit.4.2.2013], Dostupné z: www.sujb.cz/aktualne/detail/clanek/maae-cesky-system-regulace-jaderne-bezpecnosti-a-radiacni-ochrany-je-robustni-a-sujb/

SÚJB, *Stručný přehled biologických účinků záření*, [online] [cit. 28.12.2013], Dostupné z: www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologickych-ucinku-zareni/

ÚJP Praha, *Vizualizace ozařovny s kobaltovým ozařovačem TERABALT pro potřeby marketingu a prezentaci výrobku při akcích pro širokou veřejnost*, [online] [cit.27.1.2014], Dostupné z: awards-2009.aveng.cz/prumyslovy-design-vizualizace-vyroбку/ujp-vizualizace-ozarovny.aspx?alttemplate=awards_page

Wilhelm Conrad Röntgen , [online], , [cit. 25.12.2013] Dostupné z: www.rentgen.eu/prilohy/4/uvod_princip_001.pdf

ZEMAN, P et.all: *Česká bezpečnostní terminologie*, Ústav strategických studií vojenské akademie v Brně, Brno 2002 s.58 [online] [cit. 26.12.2013] Dostupné z: www.defenceandstrategy.eu/filemanager/files/file.php?file=16048

Seznam ostatních zdrojů

Agreement between the Kingdom of Belgium, the Kingdom of Denmark, the Federal Republic of Germany, Ireland, the Italian Republic, the Grand Duchy of Luxembourg, the Kingdom of the Netherlands, the European Atomic Energy Community and the International Atomic Energy Agency in implementation of Article III (1) and (4) of the Treaty on the non-proliferation of nuclear weapons - Protocol (78/164/Euratom), Official Journal of the European Communities L051, ISSN 0378-6978 s1-26

Směrnice Rady 2009/71/EURATOM ze dne 25. června 2009, kterou se stanoví rámec Společenství pro jadernou bezpečnost jaderných zařízení, Úřední věstník Evropské unie, L171, ISSN 1725-5074 s. 18-22

Smlouva o nešíření jaderných zbraní. In: Sbírka zákonů Československá socialistická republika, 1974, částka 10, 61/1974 Sb, ISSN 0322-8037, s. 194 -196. Dostupné z: aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=1764

The Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, Vídeň 1980, Dostupné z: www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/Others/infcirc274r1.pdf

Úmluva o fyzické ochraně jaderných materiálů (Convention on the Physical Protection of Nuclear Material), Vídeň, 26.10.1979, následně 24.3.1993, Sdělení MZV č. 114/1996 Sb.

Úmluva o jaderné bezpečnosti (Convention on Nuclear Safety); Vídeň, 20.9.1994
Vídeň, 20.9.1994, účinnost 24.10.1996, Sdělení MZV č. 67/1998 Sb.

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 144/1997 Sb., o fyzické ochraně jaderných materiálů a jaderných zařízení a o jejich zařazování do jednotlivých kategorií, In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1997, částka 51, s. 2746-2755, ISSN 1211-1244, v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z:
www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/1_144_1997_Sb.pdf

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně, In: *Sbírka zákonů České republiky*, 2002, částka 113, s6362-6544, ISSN 1211-1244 v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z:
www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/8_317_2002_Sb.pdf

Vyhláška SÚJB č.145/1997 Sb. O evidenci a kontrole jaderných materiálů a o jejich bližším využití, §2, In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1997, částka 51, s2756-2784, ISSN 1211-1244, Dostupné také z: aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3042

Zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, §2 c), In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1997, částka 5, s. 82-106, ISSN 1211-1244, v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z:
www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Atomovy_zakon_20120103.pdf

Zákon č. 412/2005 Sb o ochraně utajovaných informací a o bezpečnostní způsobilosti, In: *Sbírka zákonů České republiky*, 2005, částka 143, s. 7526-7576, ISSN 1211-1244, v platném znění, Aktualizované znění dostupné také z: www.nbu.cz/download/nodeid-618/

KOPOS, *Stínící tvarovky NEUTROSTOP*, [online], [cit 4.2.2014], Dostupné z: www.kopos.cz/soubory/katalogy/neu_cz_stinici_tvarovky_neutrostop.pdf

Studijní opora pro kombinované studium, Praha: UJAK, 2013

SEZNAM ZKRATEK

IAEA	International Atomic Energy Agency (Mezinárodní agentura pro atomovou energii)
MAAE	Mezinárodní agentura pro atomovou energii (IAEA)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRAO	Správa úložišť radioaktivních odpadů
ÚRAO	úložiště radioaktivních odpadů

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: SCHÉMA OZAŘOVAČE TERAGAM	42
OBRÁZEK 2: SCHÉMA USPOŘÁDÁNÍ OZAŘOVNY	43
OBRÁZEK 3: SCHÉMA PODZEMNÍ ČÁSTI ÚRAO RICHARD.....	46
OBRÁZEK 4: NADZEMNÍ AREÁL ÚRAO RICHARD	46
OBRÁZEK 5: MODEL STANDARDNÍ OBALOVÉ JEDNOTKY RADIOAKTIVNÍHO ODPADU	47
OBRÁZEK 6: NĚKTERÉ URZ SKLADOVANÉ V ÚRAO RICHARD	48

Seznam tabulek

TABULKA 1: POUŽÍVANÉ HODNOTY JAKOSTNÍHO Činitele	23
TABULKA 2: PŘEHLED HLAVNÍCH TYPŮ ÚČINKŮ ZÁŘENÍ U ČLOVĚKA.....	26

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Vyhlášky SÚJB provádějící zákon č. 18/1997 Sb.....	I
Příloha B – Nařízení vlády provádějící zákon č. 18/1997 Sb.....	III

PŘÍLOHY

Příloha A – Vyhlášky SÚJB provádějící zákon č. 18/1997 Sb.

- 144/1997 Sb. o fyzické ochraně jaderných materiálů a jaderných zařízení a o jejich zařazování do jednotlivých kategorií.
- 146/1997 Sb. stanovující činnosti, které mají bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost, a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, požadavky na kvalifikaci a odbornou přípravu, způsob ověřování zvláštní odborné způsobilosti a udělování oprávnění vybraný
- 215/1997 Sb. o kritériích na umístění jaderných zařízení a velmi významných zdrojů ionizujícího záření.
- 106/1998 Sb. o zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany jaderných zařízení při jejich uvádění do provozu a při jejich provozu.
- 195/1999 Sb. o požadavcích na jaderná zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenosti.
- 324/1999 Sb. kterou se stanoví limity koncentrace a množství jaderného materiálu, na který se nevztahují ustanovení o jaderných škodách.
- 307/2002 Sb. o radiační ochraně.
- 317/2002 Sb. o typovém schvalování obalových souborů pro přepravu, skladování a ukládání jaderných materiálů a radioaktivních látek, o typovém schvalování zdrojů ionizujícího záření a o přepravě jaderných materiálů a určených radioaktivních látek (o typovém schvalován
- 318/2002 Sb. o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu.
- 319/2002 Sb. o funkci a organizaci celostátní radiační monitorovací sítě.
- 419/2002 Sb. o osobních radiačních průkazech.
- 185/2003 Sb. o vyřazování jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie z provozu.
- 193/2005 Sb. o stanovení seznamu teoretických a praktických oblastí, které tvoří obsah vzdělání a přípravy vyžadovaných v České republice pro výkon regulovaných činností náležejících do působnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost.

- 309/2005 Sb. o zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení
- 462/2005 Sb. o distribuci a sběru detektorů k vyhledávání staveb s vyšší úrovní ozáření z přírodních radionuklidů a stanovení podmínek pro poskytnutí dotace ze státního rozpočtu.
- 132/2008 Sb. o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd
- 165/2009 Sb. o stanovení seznamu vybraných položek v jaderné oblasti
- 166/2009 Sb. o stanovení seznamu položek dvojího použití v jaderné oblasti
- 213/2010 Sb. o evidenci a kontrole jaderných materiálů a oznamování údajů požadovaných předpisy Evropských společenství

Příloha B – Nařízení vlády provádějící zákon č. 18/1997 Sb.

- 11/1999 Sb. o zóně havarijního plánování.
kterým se stanoví výše odvodu a způsob jeho placení původci
- 416/2002 Sb. radioaktivních odpadů na jaderný účet a roční výše příspěvku obcím
a pravidla jeho poskytování.
- 73/2009 Sb. o předávání informací v souvislosti s mezinárodní přepravou
radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva.
- 399/2011 Sb. o poplatcích na odbornou činnost Státního úřadu pro jadernou
bezpečnost.

BIBLIOGRAFICKÉ ÚDAJE

Jméno autora: Vít Faltejsek

Obor: 6208R020 - Bezpečnostní studia (Bc. BS Voš)

Forma studia: kombinované

Název práce: Bezpečnost pracovišť se zdroji ionizujícího záření

Rok: 2013 - 2014

Počet stran textu bez příloh: 44

Celkový počet stran příloh: 3

Počet titulů českých použitých zdrojů: 2

Počet titulů zahraničních použitých zdrojů: 6

Počet internetových zdrojů: 20

Počet ostatních zdrojů: 13

Vedoucí práce: Doc. PhDr. Petr Sak, Csc.