



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

**Radiační mimořádné události s radiologickými dopady
v ČR**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: [Ochrana obyvatelstva](#)

Autor: Daniel Vazač

Vedoucí práce: Mgr. Josef Kaňkovský

[České Budějovice 2019](#)

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem *Radiační mimořádné události s radiologickými dopady v ČR* jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 3.5.2019

.....

Daniel Vazač

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Mgr. Josefovi Kaňkovskému za cenné rady, postřehy, připomínky a čas, který mi při konzultacích věnoval.

Radiační mimořádné události s radiologickými dopady v ČR

Abstrakt

Využití ionizujícího záření je v dnešní době nespočetné množství (radioterapie, nukleární medicína, urychlovače, defektoskopie). Otevřené radionuklidové zářiče jsou využívány na odděleních nukleární medicíny, na defektoskopických pracovištích je používáno uzavřených radionuklidových zdrojů. Samozřejmě zde existuje určité riziko vzniku nehodových expozičních situací. Těmto situacím je předcházeno systémem radiační ochrany. Většinu těchto opatření můžeme nalézt v havarijním plánu daného pracoviště.

Práce je rozdělena na kapitoly. Zpočátku jsem sepsal základní informace o radioaktivitě a ionizujícím záření. Dále v práci naleznete popsany systém radiační ochrany, biologické účinky na organismus, veličiny charakterizující ionizující záření (IZ), využití IZ v lékařském prostředí a průmyslové zdroje IZ.

Znění výzkumné otázky je následující: „Která pracoviště se zdroji ionizujícího záření na území ČR mají největší potenciál ke vzniku nehodové expoziční situaci s radiologickými dopady?“

Jako metodiku výzkumu jsem použil shromáždění odborných publikací s touto tematikou. Dále probíhaly konzultace s radiačním fyzikem na oddělení nukleární medicíny v Českých Budějovicích a porovnání systémů radiační ochrany na pracovištích.

V praktické části jsou popsána pracoviště, která jsem mezi sebou porovnával. Zařízení využívající IZ v průmyslu a v medicíně. Porovnávalo se defektoskopické pracoviště a pracoviště nukleární medicíny. Naleznete zde i základní expoziční situace, které mohou nastat a za jakých podmínek je možný jejich výskyt.

Cílem práce bylo porovnat pracoviště se zdroji ionizujícího záření (ZIZ) a seřadit je podle možnosti vzniku nehodové expoziční situace.

Pomocí prosté analýzy byla zjištěna, větší pravděpodobnost možnosti vzniku nehodové expoziční situace na pracovišti průmyslové radiografie oproti pracovišti nukleární medicíny.

Klíčová slova ionizující záření; radiační ochrana; radiologické události; radiační mimořádné události; pracoviště se zdroji ionizujícího záření

Radiation emergencies with radiological impacts in the Czech republic

Abstract

The use of ionizing radiation is nowadays countless (radiotherapy, nuclear medicine, accelerators, flaw detectors). Open radionuclide emitters are used in nuclear medicine departments, closed radionuclide sources are used on deftoscopic workplaces. Of course, there is a certain risk of developing accident exposure situations. These situations are preceded by a system of radiation protection. Most of these measures can be find in the workplace breakdown plan.

The work is divided into chapters. At first, I wrote basic information about radioactivity and ionizing radiation. Further in the work you will find the system of radiation protection, biological effects on the organism, quantities characterizing ionizing radiation (IZ), use of it in medical environment and industrial sources of it.

The text of the research question is as follows: "which workplaces with sources of ionising radiation in the Czech Republic have the greatest potential for the occurrence of an accident exposure situation with radiological implications?"

As a research methodology, I have used a gathering of professional publications with this theme. In addition, consultations with radiation physics in the Department of Nuclear Medicine in ČB and comparison of radiation protection systems in workplaces were carried out.

The practical part describes the workplaces that I have compared with each other. Equipment using IZ in industry and medicine. The deftoscopic workplace and the nuclear medicine workplace were compared. You can also find basic exposure situations that may arise and under what conditions it is possible to occurrence.

The aim of the work was to compare workplaces with sources of ionizing radiation (ZIZ) and to arrange them according to the possibility of an accident exposure situation.

Using simple analysis, it was found more likely to be possible to create an accident exposure situation at the workplace of industrial radiography in comparsion with a nuclear medicine site.

Key world - Ionizing radiation; radiation protection; radiological events; radiation emergencies workplaces with sources of ionizing radiation.

OBSAH

ÚVOD	- 8 -
1 TEORETICKÁ ČÁST	- 9 -
1.1 RADIOAKTIVITA.....	- 9 -
1.2 IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ	- 9 -
1.3 ZDROJE IZ.....	- 10 -
1.4 OCHRANA PŘED IZ.....	- 11 -
1.5 RADIAČNÍ MIMOŘÁDNÁ UDÁLOST	- 11 -
1.5.1 <i>Definice radiační mimořádné události</i>	- 11 -
1.5.2 <i>Kategorie ohrožení</i>	- 12 -
1.5.3 <i>Vnitřní havarijný plán</i>	- 13 -
1.5.4 <i>Havarijní připravenost</i>	- 13 -
1.6 RADIOLOGICKÁ UDÁLOST	- 14 -
1.6.1 <i>Definice radiologické události</i>	- 14 -
1.6.2 <i>Klasifikace radiologických událostí</i>	- 14 -
1.7 RADIAČNÍ OCHRANA	- 15 -
1.7.1 <i>Veličiny a jednotky radiační ochrany</i>	- 15 -
1.7.2 <i>Veličiny charakterizující zdroje záření</i>	- 16 -
1.7.3 <i>Veličiny charakterizující působení záření na látku</i>	- 16 -
1.7.4 <i>Veličiny radiační ochrany</i>	- 17 -
1.8 SYSTÉM RADIAČNÍ OCHRANY	- 19 -
1.8.1 <i>Typy expozičních situací</i>	- 19 -
1.8.2 <i>Kategorie expozice</i>	- 19 -
1.8.3 <i>Principy radiační ochrany</i>	- 20 -
1.8.4 <i>Monitorování v radiační ochraně</i>	- 21 -
1.9 VLIV IZ NA ZDRAVÍ ČLOVĚKA.....	- 23 -
1.9.1 <i>Vnější kontaminace</i>	- 23 -
1.9.2 <i>Vnitřní kontaminace</i>	- 23 -
1.9.3 <i>Deterministické účinky</i>	- 24 -
1.9.4 <i>Stochastické účinky</i>	- 24 -
2 POUŽITÍ IZ V LÉKAŘSTVÍ	- 24 -

2.1	RADIODIAGNOSTIKA	- 24 -
2.1.1	<i>Požadované zkoušky</i>	- 25 -
2.2	NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA	- 27 -
2.2.1	<i>Radiofarmaka a radionuklidy</i>	- 27 -
2.2.2	<i>Kategorie pracovišť</i>	- 28 -
3	PRŮMYSLOVÉ ZDROJE IZ.....	- 28 -
3.1	DEFEKTOSKOPIE	- 29 -
3.1.1	<i>Typy defektoskopie</i>	- 29 -
3.1.2	<i>Radiační ochrana v průmyslové defektoskopii</i>	- 31 -
3.2	OZAŘOVAČE	- 32 -
3.2.1	<i>Typy ozařovačů</i>	- 33 -
3.3	GAUGING DEVICES	- 34 -
3.3.1	<i>Typy měřidel</i>	- 35 -
4	VÝZKUMNÁ OTÁZKA A METODIKA.....	- 36 -
4.1	VÝZKUMNÁ OTÁZKA.....	- 36 -
4.2	METODIKA.....	- 36 -
5	VÝSLEDKY	- 37 -
6	DISKUZE	- 39 -
	ZÁVĚR.....	- 41 -
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	- 42 -
	SEZNAM ZKRTEK	- 45 -

ÚVOD

Zdroje ionizujícího záření (dále jen ZIZ) se v dnešní době využívají v mnoha oborech a odvětvích. Největší zastoupení pracovišť, které pracují se ZIZ je v lékařském odvětví (radioterapie, radiodiagnostika, nukleární medicína atd.) Pokud, zde dojde k ozáření je označováno jako lékařské ozáření, jehož definici najdeme v atomovém zákoně. Stejně jako zde najdeme i definici pro radiační mimořádnou událost a radiologickou událost. V lékařské odvětví je kladen velký důraz na radiační ochranu, jak pacienta, tak i pracovníků, dále je žádoucí udržovat bezpečný provoz pracoviště se ZIZ, aby se předcházelo vzniku možných radiačních mimořádných událostí a radiologických událostí. Samozřejmě jsou ZIZ využívány i v průmyslu (defektoskopie, ozařovače, měřidla). ZIZ v průmyslu jsou přenosná i stacionární, proto je zde větší prostor pro nehodovou expoziční situaci, jejíž definice můžeme nalézt v atomovém zákoně. A právě při běžném používání či servisech zařízení je obvyklé že se zářič může dostat ven z pracovního krytu do polohy ve které není stoprocentně stíněn a může způsobit nehodovou expoziční situaci. Další možný vznik nehodových expozičních situací je zapříčiněn tím, že se zdroj ztratí nebo je odcizen. V práci se budu zabývat komparací pracovišť se ZIZ, kde se pokusím porovnat možnosti vzniku radiologických a radiačních mimořádných událostí na pracovišti.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Radioaktivita

Radioaktivita je děj, při kterém dochází k samovolnému rozpadu jader atomu a není nijak závislá na okolních podmínkách. Nuklid, který je nestabilní se samovolně rozpadne a vznikne nuklid jiného prvku. To, zda bude nuklid stabilní či ne rozhoduje poměr počtu neutronů a protonů v jádře prvku. Čas, za který se přemění přesně jedna polovina z celkového počtu jader atomu nazýváme poločas přeměny a značíme $T_{1/2}$ (Kroupa, 2010).

Dále můžeme aktivitu rozdělit na umělou a přirozenou (přírodní). Přirozenou aktivitou označujeme děj, při kterém se nestabilní, těžší nuklid samovolně rozpadá až do té doby, dokud nedosáhne stability. Naopak umělá radioaktivita je závislá na zásahu zvenčí, který vyvolá nestabilitu jádra uměle. Nejčastějším případem je jaderná reakce (Hála, 1998).

1.2 Ionizující záření

Záření, které označujeme jako ionizující (IZ) vzniká za pochodu jaderných procesů. Z jádra jsou postupně uvolňovány částice či fotony, které jsou schopny interagovat s prostředím tím, že ionizují jádra prostředí nebo jejich jádra excitují. Rozdílnou interakcí s prostředím se rozděluje záření na přímo a nepřímo ionizující záření. Do přímo ionizujícího záření řadíme záření alfa a beta. Do nepřímo ionizujícího záření patří rentgenové, neutronové a záření gama (Kroupa, 2010).

Alfa záření – jeho vznik je spojen hlavně s rozpadem těžkých jader (Uran, Radon). Při rozpadu, jádro emituje jádro hélia (alfa částici), alfa částice rychle ztrácejí ionizující energii, proto je dolet alfa záření velmi malý. Ve vzduchu je dolet alfa částic jen několik centimetrů, v pevných a kapalných látkách tento dolet činí pouze zlomky milimetrů. K ochraně před alfa zářením bohatě postačí list papíru. Závažnější nebezpečí hrozí při vnitřní kontaminaci v důsledku jejich obrovské ionizační schopnosti (Kroupa, 2010).

Beta záření – Rozeznáváme dva druhy beta záření, jsou to beta mínus a beta plus záření. U beta plus záření je vyzařován pozitron a u beta mínus elektron, tomu však ještě předchází přeměna v jádře, kde se neutron mění na proton, elektron a antineutrino. Oproti alfa částicím jsou beta částice lehčí a značně menší tudíž mají větší dolet. V plynném skupenství dolet dosahuje několika metrů, v tkáních je to potom až 10 milimetrů.

Poškození, které částice beta záření mohou způsobit záleží na jejich energii, množství a době interakce s tkání. Většinou částice způsobují popáleniny a rychlé odumírání tkání v organismu (Kroupa, 2010).

Gama záření – Gama záření vzniká při jaderných reakcích nebo radioaktivním rozpadu při přechodu jádra z vyššího do nižšího energetického stavu, zároveň se jádro zbavuje své excitační energie. Většinou se jeho vznik dá očekávat při rozpadech alfa a beta. Vyzářené částice se zde označují jako fotony, které mají velmi krátkou vlnovou délku a nepřímo ionizují okolní prostředí. Záření gama je oproti záření alfa a beta mnohem pronikavější a k jeho odstínění je potřeba materiál o vysokém protonovém čísle, často se používá olovo (Kolektiv autorů, 2011).

Rentgenové záření – Má velmi podobné vlastnosti jako gama záření, též je velice pronikavé a k odstínění se nejčastěji používá olovo. Jedná se o elektromagnetické záření s velmi krátkými vlnovými délkami. Dělíme ho na brzdné a charakteristické rentgenové záření. Vzniká v rentgence zabrzděním elektronů těžkými kovy (Kolektiv autorů, 2011).

Neutronové záření – Jedná se o proud neutronů, vznikající při jaderných reakcích tím, že jsou uvolňovány z jádra. Neutrony jsou elementární částice bez elektrického náboje což má za následek, že reagují pouze s jádry dalších atomů. Jejich pronikavost je vysoká, proto se k odstínění používají materiály, které obsahují vodík (voda), jenž neutrony zpomalí. K zpomalení dále slouží absorbátor. Nejlepším absorbátorem je bor nebo kadmium (Ullmann, 2005).

1.3 Zdroje IZ

Zdroje IZ dělíme na dva základní, těmi jsou přírodní a umělé zdroje. Před přírodními zdroji IZ se člověk nechrání a je těmito zdroji ozařován po celý svůj život. Lidé žijící v ČR jsou z 90% celkové radiační zátěže ozařováni přírodními zdroji. Největší zatížení pochází z působení radonu, terestriálního a kosmického záření (Ullmann, 2005).

Umělé zdroje IZ dělíme na lékařské zdroje, technické zdroje a jaderné zdroje. Lékařské zdroje IZ jsou nejvýznamnější složkou umělých zdrojů a využívají se u radiodiagnostických a radioterapeutických přístrojů, dále nesmíme zapomenout na využití v nukleární medicíně (Ullmann, 2005).

Do kategorie technických zdrojů IZ řadíme svítící radioaktivní hmoty nebo vakuové obrazovky. Jaderné zdroje využívají k vydávání záření, průmyslové využití radionuklidů, řadíme sem zejména jadernou energetiku a její radioaktivní odpady, které k ní neodmyslitelně patří a je potřeba je bezpečně ukládat. Dále sem můžeme zařadit kontaminaci jako následek havárií na jaderných reaktorech a kontaminaci způsobenou radioaktivním spadem po zkouškách jaderných zbraní (Ullmann, 2005).

1.4 Ochrana před IZ

V ochraně před IZ se používá základních způsobů ochrany jako jsou: ochrana časem, vzdáleností a stíněním. Tyto tři základní způsoby mají jako hlavní cíl snížení rizika vzniku stochastických a deterministických účinků. Projev účinků se liší v orgánech a tkáních dle velikosti intenzity, energie a druhu záření, délky ozařování a tím, zda mezi zdrojem IZ a ozařovanou osobou byla nějaká překážka. Proto se v ochraně před IZ používá kombinace tří výše uvedených principů (Klener, 2000):

Ochrana vzdáleností – Zde platí jednoduché pravidlo, které udává že dávkový příkon se s druhou mocninou od vzdálenosti zdroje IZ zmenšuje. Jednoduše řečeno být od záříče co nejdál (Klener, 2000).

Ochrana časem – Ochranou časem se rozumí omezení doby vystavení záření. Velikost absorbované dávky je závislá na době expozice, což má za následek, že celková radiační zátěž ze zdroje IZ stoupá s časem pobytu v zóně, která je neustále ozařována. V praxi je toto pravidlo uplatňováno tím, že pracovníci, kteří pracující v této zóně jsou často střídáni za jiné (Klener, 2000).

Ochrana stíněním – Podle druhu a energie záření se používají různé materiály, které jsou schopné IZ absorbovat (Klener, 2000).

1.5 Radiační mimořádná událost

1.5.1 Definice radiační mimořádné události

Radiační mimořádná událost (RMU) je událost, která přispívá nebo může přispět k překročení limitních hodnot ozáření. Poté si takováto událost vyžaduje provést opatření, které z pohledu radiační ochrany zabraňují k překročení limitů ozáření nebo zadržet dále se zhoršující událost (Zákon č.263/2016 Sb.).

RMU můžeme podle atomového zákona rozdělit na základě připravenosti na reakci RMU na RMU prvního stupně, radiační nehodu a radiační havárii, viz Tab.1

Tabulka 1 Stupně radiační mimořádné události

Radiační mimořádná událost	Popis
RMU prvního stupně	Síly a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální směně osoby, při jejichž působení RMU vznikla jsou schopni tuto událost zvládnout.
Radiační nehoda	Síly a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávající práci v aktuální směně osoby, při jejíž působením RMU vznikla nejsou schopni událost zvládnout sami. Nebo se také může jednat o nález, ztrátu nebo zneužití radionuklidového zdroje, při čemž tato událost nevyžaduje zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo.
Radiační havárie	Není možné zvládnout silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávající práci v aktuální směně při jejíž působením RMU vznikla. Dále se také může jednat o nález, ztrátu nebo zneužití radionuklidového zdroje, v tomto případě si událost vyžaduje zavedení neodkladných ochranným opatření pro obyvatelstvo tzn. Ukrytí, evakuace a jódová profylaxe.

Zdroj: (Zákon č. 263/2016 Sb.)

1.5.2 Kategorie ohrožení

„Podle velikosti možných dopadů radiační nehody nebo radiační havárie na území České republiky se jaderné zařízení, pracoviště se zdroji ionizujícího záření nebo činnosti v rámci expozičních situací zařazují do kategorie ohrožení A až E“. Viz. Tab.2 (Zákon 263/2016 Sb., 2016).

Tabulka 2 Kategorie ohrožení podle velikosti možných dopadů

Kategorie ohrožení	Zařízení nebo činnost
A	Energetická jaderná zařízení
B	Jaderná zařízení nepatřící do kategorie ohrožení A, a pracoviště IV. kategorie, kromě pracovišť s jaderným zařízením, na kterém se předpokládá že může vzniknout radiační havárie
C	Jaderná zařízení nebo pracoviště se zdroji ionizujícího záření na kterém může vzniknout radiační havárie
D	Činnost v rámci expozičních situací, včetně nálezu, ztráty nebo zneužití radionuklidového zdroje nebo přepravy radioaktivní nebo štěpně látky, která může být příčinou vzniku radiační nehody nebo radiační havárie na nepředvídatelném místě, a tím i havarijní ozáření
E	Oblasti na území České republiky, na kterých mohou být realizována ochranná opatření pro obyvatelstvo v důsledku radiační havárie vzniklé na jaderném zařízení nebo pracovišti se zdroji ionizujícího záření umístěném na území státu sousedícího s Českou republikou

Zdroj: (Vyhláška č. 359/2016 Sb.)

1.5.3 Vnitřní havarijní plán

Vnitřní havarijní plán (VHP) je dokument, který se předává SÚJB k posudku a zároveň funguje jako žádost k povolení používání zdroje ionizujícího záření. Slouží jako podklad pro havarijní připravenost k zabránění vzniku RMU, ale zároveň i k minimalizování důsledků vznikající RMU. Dále jsou obsahem VHP postupy na přípravu RMU a řešení RMU. Plán se zpracovává pro celé RTP včetně různých terapeutických zdrojů. Další kapitoly se zabývají rozborem RMU, které na pracovišti mohou vzniknout, jejich klasifikace a způsob jakým se vyhláší (Sabol, Vlček, 2011).

Požadavky určující obsah VHP nalezneme ve vyhlášce č. 359/2016 Sb.

1.5.4 Havarijní připravenost

Držitel oprávnění pro využívání IZ má za povinnost zajistit havarijní připravenost na pracovišti. Dále má za úkol zavést do praxe organizační, technické a personální podmínky, které pomáhají, k co nejrychlejšímu zvládnutí při výskytu RMU. Havarijní

připravenost spolu s přípravou zaměstnanců představují nedílnou součást prevence při vzniku nebo šíření RMU. Příprava a její postupy jsou k nalezení ve VHP (Klener, 2000).

V rámci prevence jsou všichni zaměstnanci a další osoby prokazatelně seznámeni s havarijní připraveností tedy i s obsahem VHP. Tímto školením projdou lidé zejména při nástupu do zaměstnání a ostatní jsou znovu školeni minimálně jedenkrát za rok. V případě změny VHP probíhá seznámení pouze v rozsahu kompetentních změn. Poté následuje ověření znalostí z obsahu VHP a zásahových instrukcí (Klener, 2000).

1.6 Radiologická událost

V zahraničí existuje několik institucí a doporučení, ze kterých také vychází legislativa ČR a fungují dodnes. Jedna z nich byla založena v roce 1928 ve Stockholmu a nese název Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu ICRP (ICRP, 2019)

1.6.1 Definice radiologické události

Jako radiologická událost se označuje nežádoucí příhoda při lékařském ozáření vedoucí k chybnému ozáření pacienta. Chybné ozáření pacienta je takové ozáření, které je nezáměrné a je způsobené chybou přístroje nebo lidskou chybou. V oblasti radioterapie bývá chybné ozáření pacienta zapříčiněno např. záměnou pacienta, ozáření jiného orgánu nebo tkáně, než bylo prvotně plánováno, použití špatně předepsané dávky, jenž způsobí odlišný radiobiologický efekt, než byl plánovaný (Vyhláška č. 422/2016, 2016).

1.6.2 Klasifikace radiologických událostí

Klasifikace RU do jednotlivých kategorií dle kritérií je k dispozici v příloze č. 23 vyhlášky č. 422/2016 Sb., podle jejich závažnosti, jsou dány tři kategorie A, B nebo C, nejzávažnějšími RU jsou RU patřící do kategorie A a B viz. Tab. 3.

Tabulka 3 Klasifikace radiologických událostí

Kategorie RU	Popis
A	Příhoda, u které je možno očekávat závažný klinický projev, jenž může mít za následek trvalé poškození zdraví nebo předčasnou smrt nebo lze očekávat pozdní účinky ionizujícího záření v souvislosti s nadměrným ozářením jinak zdravé tkáně.
B	Příhoda, u které je možné očekávat důležitý klinický projev, který ale neohrozí život pacienta, ale je zvýšená pravděpodobnost nežádoucího výsledku např. komplikace léčby.
C	Všechny ostatní RU, které nevyhovují výše uvedeným, je zde velmi nízká pravděpodobnost výskytu klinického projevu. Patří sem např. chybné léčebné podmínky.

Zdroj: (Vyhláška 422/2016 Sb.)

1.7 Radiační ochrana

Paprsky X byly objeveny v roce 1985, už 2 roky poté byla zjištěna těžká onemocnění u lidí, kteří přicházeli do styku s IZ. To mělo za následek potřebu chránit své zdraví. Vznikl tedy obor radiační ochrana (Drábková, 2005).

1.7.1 Veličiny a jednotky radiační ochrany

Radiační ochrana má za cíl ocenění ozáření osob. K tomu je nutné blíže charakterizovat zdroj ionizujícího záření, pole záření, které může působit na ozařovaný objekt ať už na látku nebo člověka (Klener, 2000).

1.7.2 Veličiny charakterizující zdroje záření

Poločas radioaktivní přeměny – tato veličina určuje čas, za který klesne počet atomů na polovinu původní hodnoty a označujeme jí jako T. Jednotka poločasu přeměny často bývá sekunda (s) nebo jiná vhodná jednotka času. Čím je čas poločasu přeměny delší, tím se radionuklid rozpadá pomaleji. Poločasy přeměny se u různých radionuklidů liší a pohybují se od velmi krátkých (mikrosekundy) až po neuvěřitelně dlouhé (miliardy let). Další veličinou vedle poločasu přeměny se také užívá přeměnová konstanta (λ), vyjadřující rychlost rozpadu radionuklidů. Mezi těmito dvěma veličinami platí vztah (Matoušek et al., 2007):

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Aktivita – Aktivitou radionuklidu rozumíme počet radioaktivních přeměn (rozpadlých atomů) v určitém radionuklidu na časovou jednotku. Značí se písmenem „A“ její jednotkou je becquerel (Bq), s rozměrem s^{-1} . V praxi se používají násobky této jednotky (kBq, MBq atd.), jelikož je velmi malá a značí jednu přeměnu za vteřinu. K další charakteristice radionuklidu musíme aktivitu vztáhnout k vhodné objemové (m^3), hmotnostní (kg) nebo plošné jednotce (m^2). Veličina není konstantní, ale klesá s časem (Matoušek et al., 2000).

Energie emitovaných částic – Určuje jednoznačnou charakteristiku daného radionuklidu, jelikož na energii výrazně závisí vlastnosti emitovaného záření (dolet částic, působení záření na člověka atd.) Jednotkou je joule (J). V atomové a jaderné fyzice se jako jednotky používají elektronvolty (eV) nebo jejich násobky. Platí zde $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$. Většina radionuklidů nevyzařuje pouze záření o jedné energii, a proto daný radionuklid popisujeme energetickým spektrem, které rozděluje vyzářené částice podle jejich energie (Klener, 2000).

1.7.3 Veličiny charakterizující působení záření na látku

Veličiny, které popisují vzájemné působení pole ionizujícího záření s látkovým prostředím je mnoho. Jedněmi ze základních jednotek jsou dávka a dávkovým příkon.

Dávka – Značí se písmenem D s jednotkou gray (Gy) a její rozměr je $J \cdot kg^{-1}$. Tato veličina tedy určuje energii záření, která byla pohlcena ozařovanou látkou v hmotnostní jednotce.

Dá se říci že dávka 1 Gy znamená, že v jednom kilogramu látky, kterou ozařujeme se absorbuje energie záření o velikosti 1 J (Matoušek et al., 2007).

Dávkový příkon – Veličina určující změnu dávky za časovou jednotku. Jeho jednotkou je $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$.

1.7.4 Veličiny radiační ochrany

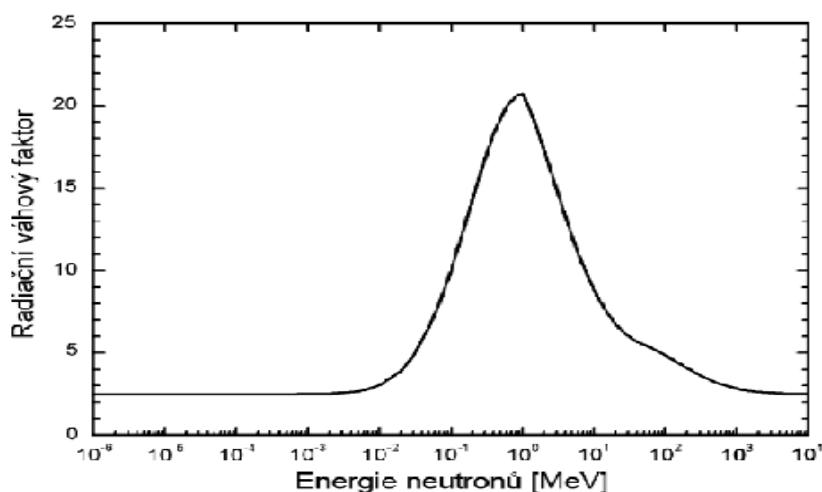
Ekvivalentní dávka v orgánu nebo tkáni – Určuje citlivost dané tkáně k různým druhům IZ. Její jednotkou je sievert (Sv) a je určena vztahem (Klener, 2000):

$$H_T = W_R \cdot D_{TR},$$

D_{TR} – střední dávka záření typu R ve tkáni nebo orgánu T (Gy)

W_r – radiační váhový faktor

Radiační váhový faktor nám sděluje relativní biologickou účinnost jednotlivých typů záření vzhledem k fotonovému záření viz Obr. 1.



Obrázek 1 Závislost radiačního váhového faktoru na energii neutronu (ICRP, 2007)

Efektivní dávka – V závislosti na druhu IZ, časovém rozestupu a velikosti dávky vznikají při ozáření lidského organismu biologické účinky, které mají negativní dopad na organismus a dochází tak k zdravotní újmě. Tkáně a orgány mají ale odlišnou radiosenzitivitu (reakce na dávku) na určitou ekvivalentní dávku, proto dochází na určitých částech těla k různým zdravotním újměm (např. žaludek má velmi vyšší citlivost

k IZ než např. kůže nebo kostní povrchy). Proto bylo třeba vyjádřit hodnocení celotělového ozáření. Začali se provádět radiobiologické studie ohledně hodnocení účinků na postiženém obyvatelstvu při radiačních nehodách, při radioterapiích a při jaderných výbuších v Japonsku. Byly zavedeny koeficienty popisující rozdílnou radiosenzitivitu dané tkáně nebo orgánu k IZ, tyto koeficienty posloužili k formulování tzv. efektivní dávky E. Jenž je definována jako součet vážených středních hodnot ekvivalentních dávek H_T v orgánech nebo v tkáních lidského organismu (Matoušek et al.,2007).

$$E = \sum W_t H_t$$

H_T – ekvivalentní dávka v orgánu nebo tkáni

W_T – tkáňový váhový faktor

Jako jednotka efektivní dávky se používá sievert (Sv). Tkáňový váhový faktor popisuje, jak přispívá daný orgán nebo tkáň k celkové zdravotní újmě při rovnoměrném celotělovém ozáření. Při sečtení váhových faktorů všech tkání a orgánu v lidském organismu, se jejich součet rovná jedné, viz Tab. 4 (Matoušek et al., 2007).

Tabulka 4 Hodnoty tkáňových váhových faktorů

Tkáň	Tkáňový váhový faktor	Tkáň	
Plíce	0,12	Jícen	0,04
Žaludek	0,12	Močový měchýř	0,04
Kostní dřev	0,12	Játra	0,04
Prsa	0,12	Kostní povrch	0,01
Zbytek těla*	0,12	Kůže	0,01
Vaječníky, varlata	0,8	Mozek	0,01
Štítná žláza	0,04	Slinné žlázy	0,01

Zdroj: (ICRP, 2007)

1.8 Systém radiační ochrany

Mezinárodní agentura pro radiační ochranu IRPA, která vznikla v roce 1965, pořádá mezinárodní schůzky jejích členů a společenství. Hlavním úkolem setkání je řešení problematiky radiační ochrany (IRPA, 2019).

1.8.1 Typy expozičních situací

Komise ICRP apeluje, aby doporučení, která vydává byla použita na všechny zdroje a na veškeré jednotlivce exponované záření. V následujících třech typech expozičních situací zahrnující všechny myslitelné expozice (ICRP, 2007).

Plánované expoziční situace jsou situace, které zahrnují cílené zavádění a provoz zdrojů. Do plánovaných expozičních situací se zařazují jak normální expozice (u nichž se předpokládá, že nastanou), tak i potenciální expozice (u nichž se nepředpokládá, že nastanou) (ICRP, 2007).

Nehodové expoziční situace jsou takové situace, které mají možný výskyt během provádění plánovaných situací nebo při jakékoliv jiné neočekávané situaci, při kterých je zapotřebí neodkladné jednání, které má za cíl zabránit nežádoucím důsledkům nebo aspoň tyto důsledky omezit (ICRP, 2007).

Existující expoziční situace jsou situace, které už vznikly, rozhoduje se o jejich regulaci nebo se jedná o dlouhodobé expoziční situace po nehodách (ICRP, 2007).

1.8.2 Kategorie expozice

ICRP komise rozděluje tři kategorie expozic na profesní expozici, lékařskou expozici pacientů a expozici obyvatelstva (ICRP, 2007).

Profesní expozice je expozice, do které spadá veškerá radiační expozice, která má původ v práci radiačních pracovníků bez ohledu na zdroj. Dle této definice by se do profesní expozice řadilo i všudypřítomné záření, což by mělo za následek, že by všichni pracovníci měli být podřízeni režimu radiační ochrany. Proto se komise rozhodla omezit používání; profesní expozice; pouze na ozáření, plynoucí z výsledku práce, za které je z rozumných důvodů odpovědný provozovatel. Do profesní expozice se obvykle nezapočítávají expozice, které jsou vyňaty z regulace a expozice ze zdrojů a činností vyloučené z regulace. Zaměstnavatel a držitel povolení odpovědný za zdroj jsou odpovědni za

ochranu pracovníků (zaměstnavatel může být zároveň držitelem povolení). V případě že zaměstnavatel nemá pod kontrolou zdroj IZ, měli by s držitelem povolení odpovědným za zdroj spolupracovat, vyměňovat si informace za účelem usnadnit zavedení správné radiační ochrany pracovníků (ICRP, 2007).

Lékařská expozice pacientů nastává při intervenčních, diagnostických a léčebných výkonech. Radiologie v medicíně má několik odlišných vlastností, kvůli kterým se přístup od radiační ochrany v jiných plánovaných expozičních situacích velmi liší. Ozařuje se zde záměrně za účelem přímého prospěchu pacienta. Hlavně v radioterapii je využíváno vysokých dávek záření ve prospěch pacienta (usmrcení buněk, k léčbě chorob) (ICRP, 2007).

Do expozice obyvatel patří veškeré další expozice kromě profesní a lékařské expozice pacientů. Jako výsledek expozice obyvatel je působení širokého spektra zdrojů záření. Z hlediska velikosti je ozáření obyvatel z přírodních zdrojů největší, to však neznamená snížení pozornosti u umělých zdrojů ozáření, které se mnohem snadněji kontrolují. Do ozáření obyvatel zahrnujeme i expozici zárodku a plodu těhotných pracovníků (ICRP, 2007).

1.8.3 Principy radiační ochrany

Principy ochrany v doporučeních č. 1990 se dříve vztahovala pouze na činnosti, které nesouvisely se zásahovými situacemi. Tyto principy jsou komisí vnímány jako základní pilíře pro systém radiační ochrany, a zároveň nově definovala soubor principů, které lze uplatnit stejně pro situace nehodové, plánované i pro expoziční situace. Dále vysvětluje aplikaci základních principů u zdrojů a jednotlivců. Existují dva principy vztažené ke zdroji, jenž se používají ve všech expozičních situacích, a to princip zdůvodnění a princip optimalizace ochrany. Dále existuje princip vztažený k jednotlivcům, a jeho použití je využíváno v plánovaných expozičních situacích. Jedná se o princip aplikace dávkových limitů (Kupka, et al., c2007).

Pracoviště nakládající se ZIZ má za povinnost dodržovat všechny požadavky radiační ochrany. Například princip optimalizace radiační ochrany, zahrnuje jak pacient podstupující lékařské ozáření, tak i radiační pracovníky (Prouza, 2008).

Princip zdůvodnění, zde funguje jako základní pravidlo, že jakékoliv rozhodnutí, které by znamenalo jakoukoliv změnu u radiační expoziční situace, by mělo způsobit víc užitku

než škody. V praxi to funguje tak, že pokud se zavádí nový zdroj, snižuje se existující expozice nebo se snižuje riziko potenciální expozice, pak cílem těchto úkonů by mělo být dosažení přijatelného individuálního nebo společenského prospěchu, aby se srovnala způsobená škoda (Heřmanská, Singer, 2004).

Princip optimalizace ochrany – Principem optimalizace je zde udržování pravděpodobnosti způsobení expozice, množství exponovaných lidí a velikostí individuálních dávek exponovaných lidí na co nejnižším, rozumně možném, dosažitelném množství s ohledem na ekonomická a společenská hlediska. V lidském světě se tomuto principu rozumí tak, že stupeň ochrany má být nejvyšší, jak to za daných podmínek jen jde (Kupka, Kubinyi, Šámal, c2007). Uvedu zde také princip s názvem ALARA. Podstatou toho principu je, že každý, kdo vykonává radiační činnost, má za povinnost zachovávat potřebnou radiační ochranu na takové úrovni, aby i rizika ohrožující životní prostředí a lidské zdraví byla právě tak nízká (Sharp, et al., 2005).

Princip aplikace dávkových limitů je jako jediný z výše uvedených principů vztažen na jednotlivce a jeho využití je nejčastěji v plánovaných expozičních situacích. Tento princip nám v podstatě říká, že celková dávka u jakéhokoliv jednotlivce by neměla překročit náležité limity doporučené Komisí. Přičemž tyto dávky pochází z kontrolovaných zdrojů při plánovaných expozičních situacích kromě lékařských expozičních pacientů (SURO, 2000).

1.8.4 Monitorování v radiační ochraně

Monitorování v radiační ochraně bylo zavedeno kvůli prokazování, že byly splněny požadavky na limitování ozáření osob, optimalizaci radiační ochrany a dalších požadavků na bezpečný provoz pracovišť se ZIZ. Slovo monitorování je obvykle chápáno jen jako měření veličin. V tomto případě monitorování zahrnuje nejen měření dozimetrických veličin, ale i interpretaci a hodnocení ozáření pracovníků a dalších osob. Obsahem programu monitorování pracoviště jsou tyto části (Damio, 2019):

- Monitorování pracoviště
- Osobní monitorování
- Monitorování výpustí
- Monitorování okolí

Dále se zavádí monitorování soustavné, pravidelné, operativní. Soustavné monitorování je nepřetržité, neustále monitoruje a potvrzuje, že současné pracovní podmínky jsou stále bezpečné v souladu s požadavky. Soustavné monitorování je vždy spojenou s danou praxí. Pravidelné monitorování má stejný cíl jako soustavné tedy prokazovat, že dané pracovní podmínky jsou stále bezpečné, ale na rozdíl od soustavného je prováděno v určených lhůtách a je opakováno. Posledním typem je operativní monitorování. To je prováděno pouze při specifické činnosti a má za cíl hodnocení a přijatelnost konkrétní situace z pohledu systému limitování (Klener, 2000).

Další se monitorování dělí na bilanční a signalizační. U bilančního monitorování je kontrolováno dodržování stanovených limitů a podmínek pro určitou praxi. Signalizační monitorování funguje k podávání zpráv o odchylkách od normálního provozu (Klener, 2000).

Program monitorování pracoviště

Výsledky monitorování pracoviště jsou využívány jako podklady za účelem posoudit, zda je optimalizace radiační ochrany na konkrétním pracovišti správná a ověřit, zda jsou pracovní podmínky přijatelné a odpovídají podmínkám ve vydaném povolení k nakládání se ZIZ. Při monitorování povrchové kontaminace radionuklidy na pracovištích s otevřeným zářičem má za úkol, v případě rozpoznání odchylky od správných postupů nebo nedostatečnou funkci bariér bránících rozptylu radioaktivních látek, okamžitě tento výkyv signalizovat. Pokud je hladina povrchové kontaminace trvale vysoká, spustí se monitorování objemových aktivit v ovzduší a periodické monitorování příjmu (Rozlívka, 2006).

Osobní monitorování

Hlavní úlohou osobního monitorování je určit individuální zevní i vnitřní ozáření u jednotlivých osob i skupin osob. Rozlišujeme dvě kategorie pracovníků, pro účely monitorování a hodnocení ozáření. Pracovník kategorie A je pracovník, který nakládá se ZIZ v rámci povolených činností, za podmínek že může obdržet efektivní dávku 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávku na oční čočku, končetiny či kůži, která převyšuje 3/10 ročního limitu závažných nestochastických účinků. Tento pracovník musí podstupovat pravidelné lékařské kontroly (Klener, 2000).

Program monitorování výpustí

Program má za úkol nepřetržitě a pravidelně měřit, sledovat a zaznamenávat celkovou hmotnost či objemovou aktivitu vypuštěných radioaktivních látek do životního prostředí. Jsou to odpady pevných látek, plyných a kapalných výpustí (Rozlívka, 2006).

1.9 Vliv IZ na zdraví člověka

1.9.1 Vnější kontaminace

Jako vnější kontaminaci označujeme stav, kdy se na povrchu těla nebo objektu nachází radionuklidy. Přítomnost radionuklidů na nechráněné kůži může mít za následek vysoké dávky záření a popáleniny, záleží na povaze radionuklidu (Kuna et al., 2005).

1.9.2 Vnitřní kontaminace

O vnitřní kontaminaci mluvíme v případě, že se radionuklid dostal do organismu. Přičemž máme několik cest, kterými se může radionuklid do organismu dostat jsou to:

- Ingesce (požití)
- Inhalace (vdechnutí)
- Penetrace přes kůži
- Aplikace radiofarmaka

Předpoklad chování radionuklidu, který se dostal do organismu se odvíjí od jeho chemických vlastností. Poté, co se radionuklid dostane do těla, je distribuován jako radioaktivní látka do cílových orgánů. Ta je postupem času metabolizována a vyloučena z těla ven (Kuna et al., 2005).

Existují ale i některé radionuklidy, které se dlouhodobě udržují v cílových orgánech, takovým typickým příkladem je stroncium ^{90}Sr , které se váže v kostech nebo jod ^{131}I , který je trvale vázán ve štítné žláze (Mika, 2003).

Ať už je člověk kontaminován vnitřně či zvnějšku, může mít kontaminace za následek zhoršení zdravotního stavu, což se projevuje vznikem stochastických nebo deterministických účinků.

1.9.3 Deterministické účinky

Specifickým znakem deterministických účinků je určitá prahová dávka. Účinky IZ vznikají po jejím překročení. Avšak jednotlivé tkáně nebo orgány mají různé prahové dávky (radiosenzitivita). Závažnost z hlediska zdravotního postižení úměrně roste s obdrženou dávkou. Účinky se velmi rychle projeví, obvykle během několika dní až týdnu po ozáření. Nejnižší prahová dávka, která má za následek vznik deterministického poškození je 0,15 Gy (Sharp et al., 2005).

Mezi deterministické účinky řadíme:

- Akutní nemoc z ozáření
- Akutní lokální změny
- Poškození plodu v těle matky
- Chronická nenádorová poškození

1.9.4 Stochastické účinky

U stochastických účinků se předpokládá bezprahový stav mezi dávkou a účinkem. S rostoucí dávkou záření, se zvyšuje i pravděpodobnost vzniku stochastických účinků. Záření nezpůsobí smrt buňky, ale poruší její genetickou informaci. Doba latence od ozáření je velmi dlouhá, někdy to bývá i několik měsíců až let. Do stochastických účinků patří (Sharp et al., 2005):

- Leukémie
- Zhoubné nádory
- Genetické mutace příštích generací

2 POUŽITÍ IZ V LÉKAŘSTVÍ

2.1 Radiodiagnostika

V lékařství slouží radiodiagnostika k diagnostickým účelům a spadá pod obor radiologie. Radiodiagnostika nemá za úkol jen určovat diagnózu pacienta, ale také získává informace po provedeném chirurgickém zákroku v obrazové podobě, k pozorování průběhu onemocnění nebo slouží k prevenční kontrole uskutečněného intervenčního terapeutického výkonu např. kardiologického výkonu. V lékařské diagnostice zaujímá

radiodiagnostika nepostradatelné místo, vedle sonografie, magnetické rezonance atd. (Malíková, 2019).

Rentgenová vyšetření se dělí na skiaskopická a skiagrafická. Skiagrafická vyšetření jsou vyšetření, u kterých se jedná pouze o statické pozorování nálezů, u skiaskopických se jedná o dynamické studie. Počítačová tomografie a mamografie jsou speciální radiodiagnostické techniky (Malíková, 2019).

Počítačová tomografie (většinou označená zkratkou CT) získává obrazové informace sběrem dat z detektorů rentgenového záření. Rentgenové záření měří, jak moc se zeslabí vějířkovitý svazek záření, který prošel pacientem různými směry a následně provede rekonstrukci obrazu. Počítačová tomografie poskytuje velmi přesné a kvalitní vyšetření spojené s diagnostickou informací (Malíková, 2019).

Velmi specifické vyšetření mléčné žlázy se nazývá mamografie. Při tomto vyšetření je kladen velký důraz a požadavky na konečnou kvalitu zobrazení. Proto se zde využívají jednostranně polévané filmy, které jsou ještě zkombinovány se zesilující folií (Malíková, 2019).

2.1.1 Požadované zkoušky

Od 80. let minulého století Světová zdravotnická organizace rozvíjí program, který má za úkol zajišťování určité kvality radiodiagnostických vyšetření. Mnoho studií prokázalo jeho nutnost a přínos. Za cíl měl program zlepšit kvalitu v zobrazení, a to vedlo k zvětšení obsahu diagnostické informace, snížení nákladů spojených s radiodiagnostickými vyšetřeními a se snížením radiační zátěže, jak u zdravotnického personálu, tak i u pacientů. S příchodem programu byly zavedeny i různé druhy zkoušek. Nově vznikly přejímací zkoušky, zkoušky dlouhodobé stability a zkoušky provozní stálosti. Existuje ještě typová zkouška, ta ale nebyla součástí programu, jelikož byla zavedena ještě před zahájením programu (Klener, 2000).

Typové zkoušky

Provést typové zkoušky je povinností výrobce u každého zařízení, které je určeno k uvedení na trh. Záměrem typových zkoušek je ověření vlastností zařízení, jenž výrobce uvedl v technické dokumentaci, a vlastnosti musejí odpovídat mezinárodně uznávaným normám. Typové zkoušky jsou prováděny autorizovanými zkušebnami. Obsahem těchto

zkoušek je obrovské množství specifických požadavků, počínaje elektrickou, mechanickou a radiační bezpečností. U typových zkoušek se využívá k měření výkonových vlastností rentgenového záření invazivních metod, naopak tomu je u ostatních zkoušek, kde je využíváno neinvazivních metod měření a zkoušky jsou prováděny až po samostatné instalaci zařízení u konečného uživatele (Klener, 2000).

Přejímací zkoušky

Přejímací zkouška musí být provedena vždy, když je provedena instalace nového zařízení nebo byla provedena modifikace zařízení. Záměrem zkoušky je zkontrolovat, zda nové nebo modifikované zařízení je v souladu s vlastnostmi zařízení, které výrobce uvedl v technické dokumentaci, se specifickými ustanoveními technických norem a s dalšími potřebami uvedenými v kupní smlouvě mezi odběratelem a dodavatelem. Přejímací zkoušky vykonávají pouze osoby oprávněné k tomu úkonu a neměly by být v žádném vztahu s dodavatelem zařízení (Klener, 2000).

Podle účelu, ke kterému je zařízení určeno, a podle složitosti zařízení se odvíjí i rozsáhlost zkoušky. Nejnižší rozsah, který může zkouška mít u jednotlivých typů zařízení (skiaskopii, skiografie, mamografie, CT atd.), najdeme uvedený v řadě norem ČSN EN61223-3. Uvedu zde alespoň pár základních parametrů jako jsou přesnost anodového napětí, kvalita svazku rentgenového záření ovlivňující dávku podávanou pacientovi a kontrast zobrazení, přesnost vymezení ozařovaného pole atd. V neposlední řadě nesmíme zapomenout na správnou dokumentaci výsledků u provedených zkoušek. Řádná dokumentace slouží k objektivnímu zhodnocení funkčnosti zařízení i optimální výkonnosti zařízení, které je předáváno majiteli. Výsledky zkoušek později poslouží k porovnávání všech ostatních zkoušek během doby provozu zařízení (Klener, 2000).

Zkoušky dlouhodobé stability

Po přejímací zkoušce většinou následuje zkouška dlouhodobé stability. V některých případech může být tato zkouška součástí přejímacích zkoušek. Hlavním účelem zkoušky je ověření správné funkčnosti zařízení. Provedením zkoušky se prokáže dlouhodobá spolehlivost a běžná výkonnost zařízení. Zkouška je opakována v jednoročních intervalech. Je prováděna také při obavách z chybné funkce některé součástky zařízení, po kalibracích či opravách přístroje. Stejně jako zkoušky přejímací, mohou zkoušky dlouhodobé stability provádět jen oprávněné, vysoce kvalifikované osoby (Klener, 2000).

Zkoušky provozní stálosti

Zkoušky provozní stálosti slouží ke kontrole kvality standardnosti zobrazení, při každodenním provozu. Zkoušky jsou jednoduché, snadné a jejich postupy jsou časově nenáročné. Prováděny jsou rutinně s krátkými časovými intervaly nebo pokud někdo z obsluhy má podezření na špatné fungování některé z částí zobrazovacího řetězce. Tyto zkoušky mohou a většinou jsou prováděny pověřeným pracovníkem na rentgenovém oddělení (Klener, 2000).

Výchozí zkouška provozní stálosti je prováděna ihned po prokázání uspokojivé výkonnosti zařízení. Výsledek výchozí zkoušky funguje jako vzor, pro všechny následující zkoušky provozní stálosti, aby se prokázalo, že znovu naměřené hodnoty se pohybují v určitých tolerancích. Zkoušky u rentgenového zařízení mohou být dvojího typu, buď jsou prováděny systémově nebo jsou měřeny zvlášť jednotlivé parametry zařízení. Častější a rychlejší je první způsob zkoušek. Doba mezi jednotlivými opakujícími se zkouškami by neměla být delší než jeden měsíc (u mamografů se provádí jednou za týden), samozřejmě to zde závisí také na pracovním vytížení zařízení. Nebo v případě, že bude podezření na chybnou práci přístroje, provádí se zkouška. Výsledky všech zkoušek musejí být důkladně dokumentovány (Klener, 2000).

2.2 Nukleární medicína

Lékařský obor nesoucí název nukleární medicína se využívá pro diagnostiku a v menším měřítku i pro léčbu aplikací radioaktivních látek. Radiofarmaka jsou přípravky s chemickou sloučeninou, jejíž účinnou složkou jsou radionuklidy, které fungují jako zdroj IZ. Radiofarmaka řadíme do kategorie otevřených zářičů a většinou jsou aplikována v podobě roztoků, plynů nebo pevných látek (Mysliveček, 2007).

2.2.1 Radiofarmaka a radionuklidy

V oboru nukleární medicíny se používají jen umělé radionuklidy, navíc musejí mít vhodné fyzikální vlastnosti: fyzikální poločas (v řádu několika hodin až desítek dnů), energie záření gama a emise záření beta a gama (Mysliveček, 2007).

V nukleární medicíně se k diagnostickým metodám využívá zářičů gama. Toto vyšetření můžeme rozdělit na in vitro a in vivo vyšetření. Metoda in vitro neboli radiosaturační analýza je využívána ke stanovení např. koncentrace protilátek v krvi. Zde je pracováno

pouze se vzorkem a radioaktivní látka není vůbec pacientovi aplikována. Naopak u vyšetření in vivo se radiofarmaka do těla dostávají intravenózně za pomoci specifických přístrojů, které detekují záření gama neinvazivním způsobem, studují biochemické a fyziologické procesy v těle (Mysliveček, 2007).

2.2.2 Kategorie pracovišť

Na odděleních nukleární medicíny je pracováno s jednoduchými nebo s významnými zdroji, tyto pracoviště můžeme rozdělit do kategorií (I., II., III., IV.). Do těchto kategorií jsou pracoviště rozdělována na základě zpracovávaných aktivit radionuklidů a na základě charakteru prací. Každá kategorie má své vlastní požadavky na vybavení pracovišť. Patří sem izolační zařízení, ventilační zařízení a provedení kanalizace (Klener, 2000).

3 PRŮMYSLOVÉ ZDROJE IZ

Průmyslových zdrojů IZ je mnoho, ať už ve světě nebo jen v ČR. Používají se jednak generátory záření, které vyzařují jak rentgenové záření, neutronové nebo elektronové svazky, tak i gama, beta a alfa záření. Do nejpoužívanějších průmyslových zdrojů IZ patří (Kolektiv autorů, 2011):

- Defektoskopie – Testování materiálu, kde se využívá hlavně rentgenové a gama záření. Tento typ testování nijak nepoškodí materiál.
- Gauging devices – Do této skupiny přístrojů patří hlavně měřidla a indikátory. Jako jsou hladinoměry, hustoměry, tloušťkoměry, vlhkoměry nebo jiné přístroje či analyzátory využívající zejména gama, beta a neutronové záření.
- Karotážní práce – Využívané pro geologické účely ve vrtech, zde se využívá alfa, gama a neutronové záření.
- Iontové generátory – Do této kategorie řadíme ionizační hlásiče požáru, eliminátory statické elektřiny a chromatografy, kde je využíváno hlavně alfa záření.
- Průmyslové ozařovače – Nejčastěji využívají gama záření neboli elektronové svazky.

Podle vyhlášky č. 422/2016 Sb. můžeme průmyslové zdroje IZ rozdělit do následujících kategorií. Jednoduché zdroje, významné zdroje a velmi významné zdroje. Do jednoduchých zdrojů patří většina měřidel, do významných zdrojů zahrnujeme defektoskopy

a ozařovače a do velmi významných zdrojů náleží průmyslové ozařovače. Podle jednotlivých kategorií, do kterých zdroje patří, jsou vyžadovány určité postupy při povolování SÚJB (Vyhláška č. 422/2016 Sb.).

3.1 Defektoskopie

Defektoskopie neboli průmyslová radiografie je zkušební postup, který nijak nepoškodí zkoušený materiál a pomocí této zkoušky se sledují různé vlastnosti materiálů např. nehomogenita materiálu a nedostatky ve svaru dvou částí materiálu. V defektoskopii je využíváno vlastností rentgenového, brzdného a gama záření, jelikož snadno projdou různými druhy materiálů bez toho, aby jej poškodili. Při průchodu materiálem je záření zeslabováno a rozptylováno dle absorpčního koeficientu a struktury materiálu. Výsledný obraz se po prozáření materiálem zachytí, buď na radiografickém filmu nebo je převeden do elektronické formy, a dále se zobrazí na monitoru. V případě potřeby trvalého záznamu může být výsledný obraz přenesen na magnetické médium (Klener, 2000).

Defektoskopická zařízení mohou být jak mobilní, tak i stacionární. Stacionární zařízení jsou pevně nainstalována v defektoskopických provozovnách. Mobilní zařízení jsou přenosná, mohou být využívána jak na stálých pracovištích, tak i na přechodných pracovištích. Jako příklad defektoskopických zkoušek zde uvádím např. kontrolu svařovaných spojů, kontrola ochranných krytů, strukturální kontrola materiálů a kontrola zavazadel či balíků (Klener, 2000).

3.1.1 Typy defektoskopie

Typické vlastnosti zdrojů záření využívaných v defektoskopii a rozsahy energie se kterými pracují, viz Tab. 5.

Tabulka 5 Typické vlastnosti zdrojů záření pro defektoskopii

Zkoumaný materiál		Defektoskopické aplikace		
Ocel: tloušťka [mm]	Lehké slitiny: tloušťka [mm]	Generátory záření [kV]	Gama defektoskopie	
			Zářič	Aktivita [TBq]
2,5 – 12,5	7,5 – 45	60–140	¹⁷⁰ Tm, ¹⁶⁹ Yb	<1
10-60	40-190	140-400	¹⁹² Ir, ⁷⁵ Se	0,05 – 10
50-150	150-450	<8000	⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs	0,1 - 100

Zdroj: (Klener, 2000)

Rentgenová defektoskopická zařízení

Rentgenová defektoskopická zařízení jsou rentgenové přístroje o napětí 60 – 320kV, občas najdeme i výjimky o napětí do 450 kV. Nyní se zaměříme na důležité parametry z pohledu ochrany před zářením (Klener, 2000).

Kryt rentgenky a jeho ochranné vlastnosti: Stínění pomocí krytu rentgenky je jedním z nejdůležitějších prvků, který ovlivňuje velikost dávkového příkonu v okolí, kde se prozařuje. Nepoškozenost celého přístroje je zapotřebí kontrolovat pravidelně a pokaždé když dojde k nestandardnímu mechanickému namáhání např. pádu (Kopec, 2008).

Dalším parametrem je délka kabelů. Délka kabelů, které spojují rentgenku a ovládací panel by měla být co nejdelší. Např. u zařízení které má napětí do 300kV musí být minimální délka kabeláže 20 m (Klener, 2000).

Kolimace nebo kolimační clony jsou jedním z velmi významných prvků radiační ochrany, díky těmto clonám, buď to pevně přidělaným nebo nastavitelným, se vymezí svazek záření do tvaru jehlanu či kužele. To má za následek redukci expozice personálu obsluhujícího zařízení, ale i ostatních osob (Klener, 2000).

V poslední řadě musí být zařízení vybaveno výstražnou signalizací která odpovídá předepsaným normám. Tato signalizace má za úkol varovat personál i jiné osoby nacházející se v blízkosti, že rentgenka je v provozu a probíhá ozařování. U výstražní signalizace musí být jasně rozpoznatelné, zda je rentgenka v klidu či v provozu (Klener, 2000).

Urychlovače používané v defektoskopii

Urychlovače elektronů se někdy používají při kontrolách materiálů, které mají velkou tloušťku. V minulosti byly využívány zejména betaneutrony, v současné době jsou to častěji lineární urychlovače s nosnou vlnou, která produkuje brzdné záření s vysokou energií 3 až 5 MeV, ve výjimečných případech až 8 MeV. Při práci s urychlovači jsou vyžadována specifická ochranná opatření (Klener, 2000).

Gama defektoskopie

Zde je jako zdroj IZ radioaktivní látka, která je hermeticky uzavřena. Uzavřený zdroj IZ je připevněn na nosiči zdroje tzv. defektoskopickém krytu. Záření je poté emitováno všemi směry nepřetržitě (Klener, 2000).

Defektoskopické expoziční kryty mají tři základní typy, které se využívají:

- Projekční expoziční kryty
- Směrové expoziční kryty
- Speciální expoziční kryty

Projekční kryt defektoskopu se skládá z bloku stínícího materiálu, ke kterému je možné připojit vnější výjezdovou koncovku, do které se zdroj záření posunuje z nepracovní polohy, která je stíněná do pracovní pozice. Do pracovní pozice je zdroj posunut pomocí ovládacího panelu (Klener, 2000).

Směrové expoziční kryty jsou zařízení, kde je zdroj IZ uzavřen, a poté se přesouvá do pracovní pozice uvnitř pracovního krytu, nebo se také může zavírat a otevírat výstupní clona. U tohoto typu defektoskopu se zdroj záření nikdy nevysouvá vně vlastního expozičního krytu (Klener, 2000).

Speciální typ krytu u expozičního defektoskopu MLOK se ovládá pomocí elektronického dálkového ovládní, pomocí impulsů záření uzavřeného zdroje Cesium ^{137}Cs . Ve výbavě krytu se nachází vlastní zdroj proudu a mobilní jednotka. Mobilní jednotka slouží k pohybu krytu kontrolovaným potrubím na liniových stavbách. Dále obsahuje okolkový kolimátor a realizuje ústřední expozici celého jednotlivého svaru (Klener, 2000).

3.1.2 Radiační ochrana v průmyslové defektoskopii

Mezi základní preventivní bezpečnostní opatření patří pravidelná kontrola a údržba zařízení. Tato opatření musí být zavedena do systému zabezpečení jakosti. Opatření se provádí dle instrukcí, které vydal výrobce. Jako příklad zde uvádím pravidelnou vizuální kontrolu, čištění funkčních prvků zařízení a promazávání důležitých částí přístroje. Při používání defektoskopických zařízení se zde vyskytuje relativně vysoké radiační riziko, při práci ve dne i v noci nebo při práci za nepříznivých podmínek. Jako prevence k minimalizování rizika se praktikuje pravidelný trénink a cvičení správných, obvyklých pracovních postupů, ale i nácvik správných postupů při možné radiační nehodě. Pro práci s jakýmkoliv defektoskopem jsou vyžadovány alespoň dvě osoby (Klener, 2000).

Nestandardní situace, nehody, mimořádné události

Jako nestandardní situaci můžeme označit stav, kdy zdroj nelze normální cestou zasunout do stíněné polohy. Většinou tyto situace neznamenaají zvýšené ozáření pracovníků. Řešení těchto situací však vyžaduje alespoň základní znalosti o konstrukci příslušného přístroje, ale i další zkušenosti. Potřebné znalosti a zkušenosti většina operátorů nemá, proto je velice žádoucí zavolat externisty ze servisu či výrobce přístroje, jenž mají náležité vybavením, pomocí kterého uspokojivě danou situaci vyřeší. O jakékoliv nestandardní situaci se musí neprodleně informovat pracovník, který je pověřen výkonem soustavného dohledu. Mezi hlavní úkol operátorů při nestandardní situaci patří zamezení vstupu do nebezpečného prostoru nepovolaným osobám. Obecně se dá říci, že mohou nastat čtyři hlavní nestandardní situace (Klener, 2000):

1. V projekčním kolimátoru se zasekne zdroj záření a jeho opětovné zasunutí do stíněné polohy v pracovním krytu je nemožné. Dávkový příkon zůstává při manipulaci s ovládacím přístrojem stále stejný.
2. Zdroj záření uvízne někde ve výjezdové hadici, přestože už měl být dávno zasunut zpět do ochranného krytu. Při uvíznutí ve výjezdové hadici dávkový příkon při pokusech o zpětné zasunutí zdroje IZ, prudce stoupá. Jak se přibližuje pracovnímu krytu stoupá rovnoměrně až se zastaví na určité hodnotě.
3. Zdroj záření byl zasunut do pracovního kryt, ale je ve špatné stíněné poloze. Proces u dávkového příkonu je téměř stejný jako v předešlém případě. Je zde však jedna výjimka, a to ve chvíli, kdy je zdroj zatažen do pracovního krytu.
4. Zdroj záření v průběhu zatahování vyjede pryč z krytu, na stranu, kde se nachází ovládací zařízení. Velikost dávkového příkonu se mění stejně jako při standardní situaci.

3.2 Ozařovače

Radiační ozařovače mají široké pole působnosti, využívají se ve zdravotnictví, výzkumu i průmyslu. Nejčastějšími zdroji záření, jež se používají jsou, elektronové urychlovače či gama záření. Obvykle se používají ke sterilizaci zdravotnických léčiv a výrobků, ošetřování produktů z potravinářského průmyslu, polymerace a hubení nežádoucího hmyzu, viz Tab. 6. Elektronové urychlovače a gama zářiče jsou navrhovány tak, aby za normálního provozu, byla radiační zátěž obsluhy a okolí velmi nízká. Avšak ztracení

kontroly nad zářičem či dokonce jeho poškození, může vyústit k významné radiační zátěži. V krajních případech může dojít k újmě na zdraví, případně i smrti v důsledku ozáření, a to všechno během velmi krátké chvíle. Proto je důrazně doporučeno dodržovat správné zásady během návrhu a výroby ozařoven, čímž lze riziko vzniku významné radiační zátěže udržet na velmi nízké úrovni (Navrátil, Rosina, 2005).

Tabulka 6 Příklady aplikací a použitých dávek pro ozařovače

Produkt	Typické hodnoty dávek [kGy]	Požadovaný efekt
Maso, ryby, ústřice, pečené výrobky, polotovary	20-70	Sterilizace, po ozáření lze produkty uchovávat při pokojové teplotě
Ovoce, zelenina	0,05 – 30	Hubení mikroorganismů, hmyzu, prodloužení doby trvanlivosti
Lékařské potřeby, některá léčiva	15-25	Sterilizace, materiál na jedno použití
Plasty	0,2 – 250	Polymerace, řetězení a roubování polymerů
Hmyz	0,001 – 0,1	Sterilizace samčích kukel hmyzu před vypuštěním
Krevní deriváty	0,015 – 0,05	Bezpečné transfuze pro imunodeficitní pacienty

Zdroj: (Klener, 2000)

3.2.1 Typy ozařovačů

Ozařovače využívající gama záření

Podle kategorizace International Atomic Energy Agency (IAEA) ve zprávách z roku 1993 a 1996 můžeme tyto ozařovače rozdělit do kategorií I až IV. Kritéria, podle kterých dělíme ozařovače do různých skupin jsou způsob stínění, druh, ze kterého je zhotoven stínící materiál a konstrukční provedení ozařovacího prostoru. Dále můžeme ozařovače rozdělit na suché a mokré typy. Suché typy jsou takové ozařovače, kde jsou stíněny kontejnerem, naopak u mokrého typu se používá stínění vodou. Na základě typu konstrukce ozařovacího prostoru můžeme tyto typy rozdělit na druhy, kde není možnost

fyzického vniknutí v průběhu ozařování do ozařovaného prostoru. Druhým typem je kategorie, kde je vniknutí do ozařovacího prostoru možné, ale musí se překonat systém zábran (Klener, 2000):

Kategorie I – Do této kategorie se řadí ozařovače s uzavřeným zdrojem IZ a ke stínění se zde používá suchý kontejner. Do ozařovacího prostoru je nemožné fyzické vniknutí. Vzorky, které jsou určeny k ozařování se přesunují do ozařovacího prostoru, skrze komory, které jsou vybaveny uzávěrem bránící úniku IZ.

Kategorie II – Znovu jsou to ozařovače s uzavřeným zdrojem IZ a suchým kontejnerem sloužící ke stínění. Nachází se zde systém zábran, který má za úkol zamezit fyzickému vniknutí. Obvykle ozařovače nacházející se v této kategorii mají větší ozařovací prostor. Havarijní stop tlačítka jsou několikanásobně jištěna.

Kategorie III – V této kategorii jsou ozařovače mokrého typu. Nachází se zde šestimetrový bazén s demineralizovanou vodou, na dně bazénu je uložen uzavřený radionuklidový zářič, jenž je trvale stíněn vodou v bazénu.

Kategorie IV – Opět sem řadíme ozařovače mokrého typu, které mají uzavřený zdroj IZ. V čase, kdy se neozařuje jsou zářiče spuštěny na dno bazénu. Hloubka bazénu je totožná jako v předchozím případě.

Druhým typem ozařovačů jsou elektronové urychlovače, které také můžeme rozdělit do dvou kategorií. Kritériem zde je provedení ozařovacího prostoru (Klener).

Kategorie č. 1 – Zde jsou urychlovače jejichž výbava obsahuje stínění, které jim umožňuje provoz, bez nutného přemístění do zvláštní ozařovny. Rozebírání stínících prvků ochrany má za následek úplné zablokování urychlovače. Konstrukce ozařovacího prostoru neumožňuje neschválené vniknutí do ozařovacího prostoru.

Kategorie č. 2 – Ve druhé kategorii jsou zařazeny urychlovače umístěné v nezávislé ozařovně. Jakýkoliv přístup do ozařovny v průběhu expozice je zabráněn spolehlivým systémem zábran s několikanásobným jištěním.

3.3 Gauging devices

V češtině se tyto přístroje nazývají radionuklidová měřidla a jsou využívána při kontrolách kvality výrobků nebo při kontrolách průběhů pracovních operací. Obecně se

dá říci, že to jsou měřicí a kontrolní zařízení, jenž využívají IZ vyzařované z jednoho nebo více uzavřených radionuklidových zářičů. Měřicí přístroje uskutečňují nedestruktivní kontrolu některých vlastností materiálu. Všeobecně jsou využívány pro kontrolu a určení tloušťky materiálu, jeho hustoty, úniku látky apod. Mají velkou výhodu v tom, že nijak nezasahují do výrobního procesu, ale přitom mohou kontrolovat nebo monitorovat takové procesy, které jsou jinými zařízeními velmi těžko sledovatelné. Jsou to hlavně kontroly velice rychlých změn při výrobních procesech, kontroly agresivních, chemických látek, kontroly materiálu o značně vysoké teplotě a kontroly už zabalených výrobků. Měřidla jsou složena z detektoru a krytu zářiče. Užívají se zde zdroje záření beta, gama, rentgenové a neutronové záření (RadiationAnswers, 2019).

Dělení měřidel se provádí v závislosti na stylu detekce záření a na změně detekovaných vlastností záření na měřidla využívající zpětný rozptyl, na měřidla průchozí (transmisní) a na měřidla aplikující aktivační analýzu a rentgen fluorescenci. Podle způsobu využití se mezi tyto zařízení řadí vlhkoměry, hladinoměry, hustoměry apod. Dále je můžeme rozdělit na mobilní, stacionární a přenosná měřidla (RadiationAnswers, 2019).

3.3.1 Typy měřidel

Průchozí měřidla

U transmisních měřidel se detektor a pracovní kryt nachází na protilehlých stranách monitorovaného materiálu. Po přechodu svazku záření přes kontrolovaný materiál se měří změna intenzity záření. Při průchodu záření materiálem, který má vysokou hustotu, intenzita záření se sníží, totéž platí i naopak. Tento princip je využíván u hladinměřů a hustoměřů. U přístrojů fungujících jako tloušťkoměry, je hustota materiálu konstantní a monitoruje se pouze tloušťka materiálu. Beta zdroje u průchozí měřidel se využívají k měření tloušťky hlavně u velmi tenkých plechů. Naopak gama zdroje jsou užívány ke zkoumání velkých tloušťkách materiálu nebo materiálu o velmi vysoké hustotě, monitorování hladiny v obrovských zásobnících aj (Klener, 2000).

Měřidla využívající zpětný odraz

U měřidel využívající zpětný rozptyl je naopak zdroj záření a detektor připevněn na stejné straně zkoumaného materiálu. Detektor je odstíněn od primárního záření. Záření prostupuje zkoumaným materiálem, na kterém dochází k jeho rozptylu. Detektor změří zpětně rozptýlené záření. Pokud bude aplikace s povahou pevné geometrie, pak detektor

určí změny v hustotě materiálu. V situaci, kdy je hustota materiálu stála, tak se dle změn v dávkovém příkonu dají určit změny v tloušťce materiálu (Klener, 2000).

Rentgenfluorescenční analýza

Rentgenové a nízko energetické gama záření má za následek při vzájemném působení s monitorovaným materiálem emise fluorescenčního záření o typickém spektru. Detektor tedy pomáhá nejen k určování přítomnosti jednotlivých prvků ale i k jejich množství. Tento princip je především využíván pro určení tloušťky vrstvy, popřípadě jejího prvkového obsahu (Ullmann, 2005).

Aktivační analýza

Aktivační analýza je využívána hlavně pro zjišťování určitých prvků v materiálu za pomoci použití neutronových zdrojů, jež aktivují charakteristické gama záření. Tato metoda je velice přesná a lze spolehlivě zjistit jak kvantitativní, tak kvalitativní složení zkoumaného materiálu. Aktivační analýza je používána zejména ke kontrole ve zpracovatelském hornickém průmyslu (Klener, 2000).

4 VÝZKUMNÁ OTÁZKA A METODIKA

4.1 Výzkumná otázka

Která pracoviště se zdroji ionizujícího záření na území ČR mají největší potenciál ke vzniku nehodové expoziční situace s radiologickými dopady?

4.2 Metodika

Z dostupné literatury, poptáváním defektoskopických firem a diskuze s radiačním fyzikem, který pracuje na oddělení Nukleární medicíny, jsem získal základní informace z VHP pracovišť se ZIZ. Dostupné informace jsem se pokusil porovnat a předpovědět možnosti vzniku RMU a jejich radiologické dopady. Zvážil jsem postupy z VHP při radiačních nehodách, závažnost potenciální RMU jsem se snažil zhodnotit podle typu zdroje a radionuklidu, jež jsou na konkrétním pracovišti využívány. V neposlední řadě jsem se zaměřil na opatření v rámci radiační ochrany, a to během standartního provozu, ale i při nehodové expoziční situaci. Z detekce jsem vyloučil velmi významné IZ zdroje (jaderné reaktory) a některé významné zdroje IZ. VHP pracovišť mi byly poskytnuty na základě anonymity a dodržení GDPR podmínek.

5 VÝSLEDKY

Podle kategorizace uvedené ve vyhlášce č. 422/2016 Sb., můžeme ZIZ rozdělit do několika kategorií (drobné, významné a velmi významné zdroje). V mé práci jsem se rozhodl vynechat celou kategorii velmi významných zdrojů, do které patří jaderné reaktory. Důvod, proč jsem se rozhodl tuto kategorii nezařadit do mé práce je jednoduchý, v této oblasti je radiační ochrana i systém zvládání radiačních mimořádných událostí na velmi vysoké úrovni a zároveň problematiku těchto zdrojů již řeší velké množství prací a analýz. Proto by nemělo smysl se s touto kategorií zabírat. Má práce je hlavně zaměřena na kategorii významných ZIZ. Z této kategorie jsem se rozhodl vynechat generátory IZ (urychlovače částic a generátory záření určené k lékařskému ozáření), ale zaměřil jsem se zejména na pracoviště se ZIZ určených pro radioterapii, se zařízením obsahující uzavřený radionuklidový zdroj určený pro radioterapii, zařízením obsahující uzavřený radionuklidový zdroj sloužící k ozařování předmětů (potravin, surovin, předměty běžného užívání) a pracoviště s mobilním defektoskopem, který má uzavřený radionuklidový zdroj.

Typicky jsou na pracovištích zabývajících se průmyslovou radiografií na území ČR k defektoskopickým činnostem využívány zdroje ^{192}Ir a ^{75}Se . Zdroje jsou vybaveny krytem a příslušenstvím pro jeho používání při defektoskopických zkouškách. U těchto zdrojů je při radiačních činnostech předpokládán vznik radiační mimořádné události 1. stupně a radiační nehody. Jejich definice jsou uvedeny v kapitole 1.5.1 nebo jsou k nalezení v atomovém zákoně č. 263/216 Sb.

Ke vzniku RMU 1. stupně může dojít na základě selhání posuvného mechanismu, kdy zdroj záření uvízne v projekčním kolimátoru a nelze jej zasunout zpět do stíněné polohy, v takovém případě se dávkový příkon při zasouvání nemění a zůstává stejný jako při expozici, případně může růst směrem k odhadované pozici zdroje. Další možností vzniku RMU 1. stupně je vniknutí nepovolaných osob do vymezeného přechodného pracoviště se ZIZ přes jeho vyznačení. Posledním případem je neplánovaného ozáření osob spojené s překročením limitů efektivní dávky (radiační pracovníci více jak 10 mSv, ostatní pracovníci více jak 100 μSv). Ve všech výše uvedených případech platí předpoklad, že aktuální směna bude schopna zvládnout tuto situaci.

V případě radiační nehody se na jejím vzniku mohou podílet zejména tyto situace. Ztráta nebo odcizení krytu s uzavřeným radionuklidovým zářičem (URNZ), dopravní nehoda

při přepravě URNZ, kdy dojde k poškození jeho krytu, požár v objektu, kde se nacházejí kryty nebo při použití defektoskopického krytu, kdy je zdroj záření zaseklí v projekčním kolimátoru a nelze jej zasunout zpět do stíněné polohy v rámci časových možností aktuální směny. V okamžiku, kdy dojde k radiační nehodě je nutná aktivace zasahujících osob držitele povolení, jelikož radiační nehoda je neovladatelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální směně.

S radiační havárií není na defektoskopickém pracovišti počítáno, vzhledem k použitým ZIZ.

Po zjištění vzniku RMU 1. stupně a RN je využíváno technických a organizačních opatření. Patří sem přenosné dozimetrické přístroje, online čidla elektrické požární signalizace (EPS), která jsou neustále připojená na panel signalizace EPS na centrálním hasičském dispečinku JE Dukovany a JE Temelín, technické prostředky fyzické ochrany: kamerový systém, prostředky poplachových zabezpečovacích a tísňových systémů, jenž mohou indikovat násilné narušení střeženého prostoru nebo neoprávněnou manipulaci se ZIZ a posledním případem je systém zjišťování RMU. Tento systém slouží pro případ výpadků elektrické energie, kdy zapne záložní zdroje.

Na odděleních nukleární medicíny se používají otevřené radionuklidové zdroje, které jsou nebolezným způsobem aplikovány pacientovi. Aplikace otevřených radionuklidových zdrojů slouží k diagnostickým účelům. Jedenkrát týdně se používá Technecium 99m o aktivitě 10-13 GBq. Denně je na PET přístrojích užíváné ^{18}F (fluorodeoxyglukosa) s aktivitou 5-6 GBq. Dalšími jsou ^{201}Tl do 200 MBq a ^{111}In zde je aktivita v řádu stovek MBq. V diagnostice a terapii benigních onemocnění štítné žlázy jsou typickými zdroji ^{131}I s aktivitou až 20 GBq, ^{90}Y do 600 MBq, ^{153}Sm do 7 GBq a ^{223}Ra až 15 MBq. Všechny zdroje jsou dováženy.

Ke kontrole přístrojů je užíváno ^{57}Co a ^{137}Cs . Celková aktivita u zdroje ^{57}Co je maximálně 550 MBq a u ^{137}Cs to je nejvýše 6 MBq.

V případě oddělení nukleární medicíny jsou uplatňována opatření v rámci radiační ochrany. U ZIZ se ověřují technické parametry generátoru zkouškami (přijímacími, dlouhodobé stability a provozní stálosti). V prostředí mezi ZIZ jsou využívána opatření jako stínění vyšetřoven, z toho také plyne důsledné zavírání dveří vyšetřoven během ozařování, užívání ochranných pomůcek a pomůcek pro manipulaci s ORZ. U fyzických

osob je dbáno na dodržování kontrolovaného pásma a zabránění případného vstupu neoprávněných osob, systém radiačního monitorování osob ve smyslu kontrolování, které osoby v dané chvíli pracují v KP a které KP opouštějí. Tyto informace mi byly poskytnuty radiačním fyzikem na oddělení nukleární medicíny.

6 DISKUZE

Pro komparaci defektoskopických pracovišť s medicínskými pracovišti, kde je využíváno IZ, za účelem na, kterém pracovišti je vyšší pravděpodobnost možnosti vzniku nehodových expozičních situací, jsem chtěl využít dostupných informací a jíž v minulosti nastalých nehodách. Bohužel, když jsem se pokoušel dostat k nějakým informacím tak jsem nic nenalezl, proto jsem se rozhodl zkusit poptat jednotlivé firmy, zda by nebyly ochotné poskytnout nějaké bližší informace. Z dvou desítek firem, které jsem se pokusil kontaktovat se mi vrátili pouze dvě odpovědi. V nich jsem byl informován, že toto jsou velmi citlivé informace, které neposkytují veřejnosti, dále jsem byl ujištěn, že k nehodovým expozičním situacím na NDT pracovištích nedochází. A nedochází ani ke zvýšenému ohrožení bezpečnosti práce, jen kromě práce s rentgeny a gama zářiči. Největší nehoda, která by se na pracovišti mohla stát je rozlití ředidla. Pracuje se zde s těkavými a hořlavými látkami. Podmínky určené pro jejich skladování a likvidace jsou k nalezení v bezpečnostních listech od dodavatele. Na těchto pracovištích nejsou žádné zvláštní havarijní plány. Ovšem na pracovištích, kde je pracováno s rentgeny se vše řídí podle vyhlášek SÚJB.

V druhé odpovědi od defektoskopické firmy jsem se dozvěděl informaci, že firma ve velké míře nepoužívá ZIZ charakteru URZ. Firma je pouze výrobcem URZ a uznávaným skladem ZIZ. Vyráběné, skladované a používané ZIZ patří převážně do 1. až 3. kategorie zabezpečení dle atomového zákona. A na jejich pracovištích nevidují žádný vznik RMU v průběhu posledních 10 let.

Na oddělení nukleární medicíny jsou využívány ORZ, které se aplikují pacientům. Pokud by se stalo, že úroveň zamoření překročila hodnotu, která je vymezená v havarijním plánu pracoviště nukleární medicíny, je ihned zahájena dekontaminace. Tento celý systém nazýváme havarijní akční úrovně. Úroveň zamoření může být nízko riziková, středně riziková a havarijní. Hodnoty úrovní zamoření se mění v závislosti na druhu radionuklidu a kde ke kontaminaci došlo (V kontrolovaném nebo sledovaném pásmu nebo mimo tyto pásma). Jedno mají úrovně zamoření společné a to, že vždy je nutné o jakémkoliv

překročení úrovně zamoření informovat osobu s přímým dohledem nad radiační ochranou a osobu dohlížející na dané oddělení.

ZÁVĚR

Pracoviště, kde je využíváno defektoskopických přístrojů i pracoviště nukleární medicíny mají přísná opatření co se týče radiační ochrany. V posledních 10 ti letech na zmíněných pracovištích nevznikla RMU. Musím však zvážit všechny činnosti které by mohli mít za následek vznik RMU. A jediné činnosti, které přicházejí v úvahu jsou odcizení nebo ztráta ZIZ. Obě tyto akce se mohou stát jak na defektoskopickém, tak na pracovišti nukleární medicíny. Je zde však jediný rozdíl. Pracoviště nukleární medicíny bývají stacionární a nacházejí se ve střeženém objektu. To má za následek, že krádež je v tomto případě mnohem složitější. Samozřejmě je zde možnost ztráty ZIZ, ale pravděpodobnost zde není nijak moc vysoká. Zatímco na defektoskopických pracovištích se mohou využívat mobilní defektoskopické přístroje. S těmito přístroji je každodenně manipulováno a jsou převáženy auty. Proto na mou výzkumnou otázku: Jaká pracoviště se zdroji IZ na území ČR mají největší potenciál ke vzniku nehodové expoziční situace s radiologickými dopady? Odpověď nejspíše už tušíte, výsledkem mého výzkumu je, že defektoskopická pracoviště mají nejvyšší potenciál iniciovat vznik RMU. A to z důvodu, že defektoskopická zařízení jsou mobilní a jsou převáženy z místa na místo, z čehož plyne větší šance ztráty, některé z komponent, která stíní zdroj IZ. Ale existuje zde i riziko krádeže, lidé v dnešním světě neví, čím vším by se mohli obohatit i když protizákonně, ale už nevidí následky svého konání. Jelikož krádež radionuklidového zdroje by je samé mohla ohrozit na životě. Práce by mohla být rozsáhlejší, bohužel jak defektoskopické firmy, tak i medicínské pracoviště se ZIZ neposkytují informace o již nastalých RMU ani o drobných nehodách. V budoucnu by se práce dala rozšířit, ale bylo by zapotřebí sehnání většího množství informací, přičemž není vůbec lehké se k nim dostat.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DRÁBKOVÁ, Alena, 2006. *Historie radiační ochrany v ČR: 10 let Státního ústavu radiační ochrany 1995-2005*. Praha: Státní ústav radiační ochrany. ISBN 80-239-6594- 8.
2. Edited by Peter F. SHARP, Edited by Peter F. Howard G. GEMMEL, Edited by Aison D. MURRAY *Practical Nuclear Medicine*. 3rd ed. London: Springer-Verlag London Ltd, 2005. ISBN 9781846280184.
3. HÁLA, Jiří, 1998. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*. Brno: Konvoj. ISBN 80-856-1556-8.
4. HUŠÁK, Václav. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.
5. IAEA: International Atomic Energy Agency. [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.iaea.org/about>
6. ICRP: International Commission on Radiological Protection. [online]. [cit. 2019-23-20]. Dostupné z: <http://www.icrp.org/index.asp>
7. ICRP PUBLICATION 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP 2007* [online]. [cit. 2019 01 15]. Dostupné z: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2013>
8. IRPA: International radiation protection association. [online]. [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <http://www.irpa.net/page.asp?id=10>
9. KLENER, Vladislav. 2000. *Principy a praxe radiační ochrany*. 1. vyd. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost. ISBN 8023837036.
10. KOLEKTIV AUTORŮ. *Radiobiologie*. 2011. [online]. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org>
11. KOPEC, Bernard, 2008. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-807-2045-914.
12. KROUPA, Miroslav a Milan ŘÍHA. 2010. *Průmyslové havárie*. 2. vyd. Praha: Armex. Skripta pro střední a vyšší odborné školy. ISBN 9788086795874.
13. KUNA, Pavel a Leoš NAVRÁTIL. 2005. *Klinická radiobiologie*. 1. vyd. Praha: Manus. ISBN 8086571092.

14. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína: [učební text]*. 1. vyd. Praha: P3K, c2007, 185, xiv s. ISBN 978-80-903584-9-
15. MALÍKOVÁ, Hana, 2019. *Základy radiologie a zobrazovacích metod*. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum. ISBN 978-80-246-4036-5.
16. MATOUŠEK, Jiří, Jan ÖSTERREICHER a Petr LINHART, 2007. *CBRN: jaderné zbraně a radiologické materiály*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-029-6.
17. MIKA, Otakar J., 2003. *Průmyslové havárie*. Praha: Triton. Řešení krizových situací. ISBN 80-725-4455-1.
18. MYSLIVEČEK, Miroslav. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 131 s. Skriptum (Univerzita Palackého). ISBN 9788024417233.
19. NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, 2005. *Medicínská biofyzika*. Praha: Grada. ISBN 80-247-1152-4.
20. PROUZA, 2008. *Principy radiační ochrany – bezpečnost a ochrana zdraví při práci*. [Online]Praha. Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i. [cit. 2019-03-01] Dostupné z: <http://www.bozpinfo.cz/principy-radiacni-ochrany-bezpecnost-ochrana-zdravi-pri-praci>
21. *Radiační ochrana*, DAMIO [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.diamo.cz/cs/tuu/radiacni-ochrana>
22. Radiation and Me: *Gauging Devices*, Radiation answers [online]. RadiationAnswers.org [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.radiationanswers.org/radiation-sources-uses/industrial-uses/gauging-devices.html>
23. ROZLÍVKA, Zdeněk RNDr. *Radiační ochrana na pracovištích s diagnostickými rentgeny ve zdravotnictví: učební texty kurzu*. Pardubice: UNIT spol.s.r.o., únor 2006.
24. SABOL, Jozef a Petr VLČEK, 2011 *Radiační ochrana v radioterapii*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04757-6.
25. SINGER, Jan a Jindřiška HERMANSKÁ. *Principy radiační ochrany*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2004, 111 s. ISBN 80-7040-7085

26. SÚRO. 2000. *Principy radiační ochrany*. Státní ústav radiační ochrany [online]. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/principy-radiacni-ochrany>
27. ULLMANN, Vojtěch. 2005. V.: *Astronuklfyzika* [online]. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz>
28. Ullmann Vojtěch: *Cíle a metody ochrany před zářením*. [online]. [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/Fyzika-NuklMed.htm>
29. Vyhláška č. 359/2016 Sb. o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události, 2016. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 14, s. 5613-5641.
30. Vyhláška č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016, In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 172, s. 6618-6904.
31. Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, 2016. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 102, s. 3938-4060.

SEZNAM ZKRTEK

ALARA – As Low As Reasonable Achievable

CT – computed tomography

EPS – elektrická požární signalizace

IZ – ionizující záření

IAEA – International Atomic Energy Agency

ICRP – International Commission on Radiological Protection

IRPA – International Radiation Protection Association

ORZ – otevřený radionuklidový zdroj

PET – Physiologically equivalent temperature

RMU – radiační mimořádná událost

RU – radiologická událost

SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

URZ – uzavřený radionuklidový zdroj

VHP – vnitřní havarijný plán

ZIZ – zdroje ionizujícího záření