

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2024

Alena Petržílková

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

Optimalizace radiční ochrany na oddělení zobrazovacích metod

Bakalářská práce

2024

Alena Petržílková

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Alena Petržílková**
Osobní číslo: **Z21222**
Studijní program: **B0914P360014 Radiologická asistence**
Téma práce: **Optimalizace radiační ochrany na oddělení zobrazovacích metod**
Téma práce anglicky: **Optimization of radiation protection in the imaging department**
Zadávající katedra: **Katedra klinických oborů**

Zásady pro vypracování

1. Studium literatury, sběr informací a popis současného stavu řešené problematiky.
2. Stanovení cílů a metodiky práce.
3. Příprava a realizace výzkumného šetření dle stanovené metodiky.
4. Analýza a interpretace získaných dat.
5. Zhodnocení výsledků práce.

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

KUBINYI, J. et al., 2018. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně*. Praha: Grada. 308s. ISBN 978-80-271-2162-5.
SÚJB, 2016. *Zákon 263/2016 Sb., atomový zákon*. In: sujb.cz [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/263_2016_AZ_20210101.pdf.
SÚJB, 2016. *Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje*. In: sujb.cz [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasaky/sb0172-2016.pdf>.
SÚJB, 2019. *Radiační ochrana v nukleární medicíně – systém kontrol detekční a zobrazovací techniky*. Praha: SÚJB. 71s. Dostupné také z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske_ozareni/Doporuceni_NM/pracovni_verze_pristrojova_tehnika.pdf.
SURO, 2023. *Radiační ochrana*. In: suro.cz [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana>.

Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Pavel Pešat, Ph.D.**
Katedra klinických oborů

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. dubna 2024**

doc. RNDr. ThLic. Karel Sládek, Ph.D., MBA v.r.
děkan

L.S.

Mgr. Zuzana Červenková, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 1. března 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Práci s názvem Optimalizace radiační ochrany na oddělení zobrazovacích metod jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše. Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 24. 4. 2024

Alena Petržílková v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat svému vedoucímu práce panu RNDr. Pavlu Pešatovi, Ph.D. za pomoc a cenné poskytnuté informace ke zpracování této bakalářské práce.

Také děkuji svým přátelům, kteří se mnou měli strpení a poskytovali mi podporu.

NÁZEV PRÁCE

Optimalizace radiační ochrany na oddělení zobrazovacích metod.

ANOTACE

Obsahem této práce je stanovení příspěvků operačních veličin radiační ochrany na oddělení zobrazovacích metod s více typy pracovišť s různými zdroji ionizujícího záření a následná optimalizace radiační ochrany pracovníků cestou vyváženého rozdělení do směn na pracoviště s různou radiační zátěží.

KLÍČOVÁ SLOVA

Radiační ochrana, dozimetrie, zobrazovací metody, ionizující záření, zdroj ionizujícího záření, veličiny radiační ochrany, optimalizace radiační ochrany

TITLE

Optimization of radiation protection in the department of imaging methods.

ANNOTATION

The content of this work is the determination of the contributions of operational parameters of radiation protection in the department of imaging methods with several types of workplaces with different sources of ionizing radiation and the subsequent optimization of radiation protection of workers through a balanced division into shifts at workplaces with different radiation loads.

KEYWORDS

Radiation protection, dosimetry, imaging methods, ionizing radiation, source of ionizing radiation, quantities of radiation protection, optimization of radiation protection

OBSAH

Úvod.....	12
1 Cíle a metody práce	13
1.1 Cíl práce.....	13
1.2 Metody k dosažení cíle	13
Teoretická část	14
2 Ionizující záření	14
2.1 Zdroje ionizujícího záření.....	15
2.1.1 Nevýznamné zdroje	15
2.1.2 Drobné zdroje	15
2.1.3 Jednoduché zdroje.....	15
2.1.4 Významné zdroje	15
2.1.5 Velmi významné zdroje.....	15
2.2 Kategorizace pracovišť	15
2.3 Detekce ionizujícího záření	16
2.4 Biologické účinky záření	16
2.5 Využití ionizujícího záření v medicíně.....	17
2.5.1 Diagnostika	17
2.5.2 Radioterapie	18
2.5.3 Nukleární medicína.....	18
2.6 Radiační ochrana.....	19
2.6.1 Historie radiační ochrany	19
2.6.2 Historie radiační ochrany v českých zemích	20
2.6.3 SÚRO.....	20
2.6.4 SÚJB	20
2.6.5 ICRP.....	21
2.7 Veličiny radiační ochrany	21

2.7.1	Operační veličiny	22
2.8	Monitorování operačních veličin a hodnocení radiační zátěže.....	23
2.8.1	Dozimetry a detektory	23
2.9	Kontrolované a sledované pásmo	27
2.9.1	Sledované pásmo	27
2.9.2	Kontrolované pásmo	27
2.10	Limity pro obyvatele, radiační pracovníky, studenty	28
2.11	Principy radiační ochrany, ALARA	30
2.11.1	Princip zdůvodnění	31
2.11.2	Princip optimalizace radiační ochrany.....	31
2.11.3	Princip limitování	32
2.11.4	Princip zajištění bezpečnosti ZIZ	33
2.12	Vnitřní a vnější kontaminace	33
2.12.1	Vnitřní kontaminace	33
2.12.2	Vnější kontaminace.....	33
2.12.3	Ochrana před kontaminací	34
2.12.4	Dekontaminace	34
2.13	Stochastické a deterministické účinky záření	35
2.13.1	Stochastické účinky	35
2.13.2	Deterministické účinky	35
	Výzkumná (praktická) část	37
3	Metodika výzkumné (praktické) části.....	37
3.1	Cíl.....	37
3.2	Charakteristika PET/CT pracoviště	37
3.3	Monitorování radiační zátěže na různých pracovištích RDG	38
3.3.1	Pracoviště RDG oddělení.....	38
3.3.2	Monitorovací přístroje	38

3.3.3	OSL osobní dozimetr VF-SOD.....	39
3.3.4	Elektronický dozimetr DMC 3000	39
3.4	Výsledky monitorování.....	40
3.5	Návrh optimalizace radiační ochrany pracovníků	41
4	Diskuze	43
5	Závěr	44
6	Použitá literatura	45
7	Přílohy.....	49

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 – (zleva) W. C. Röntgen, H. Becquerel, Manželé Curiovi.....	20
Obrázek 2 – Prstový dozimetr	25
Obrázek 3: Osobní celotělový OSL dozimetr	26
Obrázek 4: Osobní elektronický dozimetr DMC 3000	27
Tabulka 1 – Tkáňový váhový faktor	21
Tabulka 2 – Měsíční úhrny dávek IZ za únor 2024	40

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

CDC	Centra pro kontrolu a prevenci nemocí [Centers for disease control and prevention]
CT	Výpočetní tomografie [Computed tomography]
ČR	Česká republika
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
DSA	Digitální substrakční angiografie
IZ	Ionizující záření
MR	Magnetická rezonance
PET	Pozitronová emisní tomografie
RTG	Rentgen
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany
UZ	Ultrazvuk
WHO	Světová zdravotnická organizace [World Health Organization]
ZIZ	Zdroje ionizujícího záření

ÚVOD

Práce se skládá ze dvou částí, teoretické a praktické. V teoretické části jsou popsány základní způsoby využití ionizujícího záření v medicíně a základní pojmy radiační ochrany. Jsou vyloženy principy monitorování veličin charakterizujících radiační zátěž pracovníků a základní postupy jejich optimalizace.

V praktické části bylo provedeno monitorování vybraných radiačních pracovníků oddělení zobrazovacích metod, hodnocení monitorovaných veličin a návrh optimalizace jejich radiační ochrany cestou vyváženého rozdělení do směn na pracoviště s různou radiační zátěží. Zároveň byla provedena diskuse navržené optimalizace s ohledem na organizaci práce oddělení a údaje z dostupných publikovaných zdrojů.

Radiační ochrana jsou postupy sloužící k ochraně pracovníků a pacientů před ionizujícím zářením.

1 CÍLE A METODY PRÁCE

1.1 Cíl práce

Cílem práce je stanovení příspěvků operačních veličin radiační ochrany na oddělení zobrazovacích metod s více typy pracovišť s různými zdroji ionizujícího záření a následná optimalizace radiační ochrany pracovníků cestou vyváženého rozdělení do směn na pracoviště s různou radiační zátěží.

1.2 Metody k dosažení cíle

V teoretické části budou popsány základní způsoby využití ionizujícího záření v medicíně a základní pojmy radiační ochrany. Budou vyloženy principy monitorování veličin charakterizujících radiační zátěž pracovníků a základní postupy jejich optimalizace.

V praktické části bude provedeno monitorování vybraných radiačních pracovníků oddělení zobrazovacích metod, pomocí osobních dozimetrů, kde hodnoty budou zapsány do tabulky. Proběhne hodnocení a porovnání monitorovaných veličin a návrh optimalizace jejich radiační ochrany cestou vyváženého rozdělení do směn na pracoviště s různou radiační zátěží. Bude provedena diskuse navržené optimalizace s ohledem na organizaci práce oddělení a údaje z dostupných publikovaných zdrojů.

TEORETICKÁ ČÁST

2 IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

Ionizující záření chápeme jako energii, která se šíří ze zdroje záření ve formě částic nebo vln. Je charakterizováno tím, že excituje nebo ionizuje atomy při interakci s látkou. V průběhu excitace dochází k přechodu elektronu do stavu na vyšší energetické hladině. Během ionizace je vyražen jeden ze silně vázaných elektronů původně neutrálního atomu, jenž se pak stává kladným iontem. Ionizující záření má dostatečnou energii, aby i sekundární nabitě částice uvolněné v absorbéru při interakci těchto fotonů mohly dále ionizovat prostředí (Kubinyi, 2018, s. 18).

- Přímou ionizující záření – nabitě částice, které přímo interagují s náboji (jádry nebo elektrony) v látce. Dosah záření závisí na vlastnostech a energii částic a poté na materiálových parametrech látky a má končnou hodnotu.
- Nepřímou ionizující záření – nenabitě částice, zejména fotony a neutrony. Interaguje s látkou specifickými procesy, např. fotoefektem, Comptonovým jevem aj. Pravděpodobnost interakce závisí na energii a vlastnostech prostředí. Z tohoto důvodu mluvíme pouze o zeslabení nikoliv dosahu (Kubinyi, 2018, s. 18).

Denně jsme vystaveni záření z přírodních i umělých zdrojů. Jedná se např. o přírodní záření z kosmu, jehož intenzita s vyšší nadmořskou výškou přibývá. V průměru 80 % roční radiační dávky pro člověka pochází z přírodních pozemských a kosmických zdrojů záření. Přírodní záření pochází z mnoha zdrojů, včetně více než 60 přirozeně se vyskytujících radionuklidů obsažených v půdě, vodě a vzduchu. Radon, přirozeně se vyskytující plyn vznikající rozpadem nestabilních mateřských radionuklidů vyskytujících se zejména v horninách a půdě, je hlavním zdrojem přírodního záření. Radon se nejčastěji akumuluje v domech s podlážím bohatým na uran-thoriové nuklidy, např. žule, proto je v těchto prostorách zapotřebí pravidelně větrat. Lidé vdechují a přijímají radionuklidy ze vzduchu, potravin a vody každodenně (WHO, 2023).

Ionizující záření může pocházet také z uměle vyrobených zdrojů, např. z jaderné energetiky, elektráren, jaderných zbraní až po lékařské zdroje záření pro diagnostiku nebo terapii. Nejběžnějšími umělými zdroji ionizujícího záření jsou dnes lékařské přístroje, jako jsou rentgenové přístroje, lineární urychlovače, přístroje pro výpočetní tomografii (CT), mamografii či Leksellův gama nůž (WHO, 2023).

2.1 Zdroje ionizujícího záření

Zdroje ionizujícího záření dělíme podle jejich aktivity do 5 kategorií, a to na zdroje nevýznamné, drobné, jednoduché, významné a velmi významné (viz §12 vyhlášky č. 422 / 2016 Sb.).

2.1.1 Nevýznamné zdroje

- Jedná se o generátor IZ, který svou emítací nepřekračuje 5keV.
- Není významným zdrojem IZ.

2.1.2 Drobné zdroje

- Nejsou nevýznamnými zdroji.
- Patří sem kostní densitometr, veterinární, zubní, kabinový rentgenový zařízení.

2.1.3 Jednoduché zdroje

- Zařízení určená k radioterapii či radiodiagnostice.
- Nejsou nevýznamnými či drobnými zdroji.
- Patří mezi ně mobilní defektoskop, mobilní ozařovač.

2.1.4 Významné zdroje

- Nejsou nevýznamnými, drobnými, jednoduchými zdroji.
- Jde o uzavřené zářiče používané k radioterapii – lineární urychlovač, brachyterapii.

2.1.5 Velmi významné zdroje

- Nejsou nevýznamnými, drobnými, jednoduchými, významnými zdroji.
- Jedná se o jaderný reaktor.

2.2 Kategorizace pracovišť

Řadí se na pracoviště 4 úrovně. Dělí se podle používaných ZIZ, míry ozáření zaměstnanců a obyvatelstva, náročnosti radiační ochrany, kontaminace, vzniku IZ.

- Pracoviště I. kategorie – Používají se zde drobné neschválené ZIZ.
- Pracoviště II. kategorie – pracoviště využívající např. rentgenová zařízení k radiodiagnostice nebo radioterapii, která nejsou pracovištěm I. kategorie.
- Pracoviště III. kategorie – ve zdravotnictví především pracoviště s urychlovači částic užívanými k radioterapii a dále pracoviště, využívající otevřené zářiče, které přesahují kritéria zařazení do II. Kategorie, zejm. aktivita zpracovávaných radionuklidů a izolační a ventilační požadavky. Mimo zdravotnictví pak pracoviště určené k těžbě a zpracování uranu.

- Pracoviště IV. kategorie – pracoviště s jaderným reaktorem nebo skladem jaderného paliva. Vztah ke zdravotnictví pak mají pracoviště s jaderným reaktorem využívaným pro přípravu radionuklidů / radiofarmak (viz § 19 vyhlášky č. 422 / 2016 Sb.).

2.3 Detekce ionizujícího záření

V první řadě můžeme detekovat ionizační záření a to pomocí aktivních detektorů jako je Geiger-Müllerův počítač, ionizační komory, polovodičové detektory nebo detektory scintilační. Tyto detektory dokáží měřit o jaký druh záření se jedná a počet fotonů. Je nutno je napájet pomocí elektrické energie a pro vyhodnocování a zesílení signálu potřebují elektrické bloky (Kubinyi, 2018, s. 154).

2.4 Biologické účinky záření

Záření ionizuje atomy. Vznikají reaktivní částice kyslíku a kyslíkových volných radikálů, které narušují metabolismus buněk a tkání. Může způsobit chromozomové aberace přerušením vláken DNA. Tím může dojít ke změnám genetické výbavy buňky či smrti buňky. Poškozuje také DNA s mutagenním efektem. Taková poškození rozpoznají buněčné procesy, které buďto narušené části opraví či vyvolá apoptózu. Tímto se sníží pravděpodobnost klonování špatné genetické informace (Nečas, 2021, s.34).

Vůči poškození IZ jsou náchylnější stále se dělící buňky (kostní dřen, kůže atd.) oproti stále se nedělícím buňkám (svalové buňky, osteocyty atd.) Nejcitlivější částí buněk relativně rezistentních je endotel.

Akutním poškozením IZ dojde k záhubě buněk a/nebo zánětlivé reakci. Akutní radiační syndrom je vyvolán celotělovým ozářením nad 2 Gy (Nečas, 2021, s. 35–36).

Ionizující záření procházející tkáněmi ionizuje molekuly v okolí míst, ve kterých je pohlcováno. Existuje teorie o stimulačním účinku nízkých dávek záření – tzv. radiační hormezi. K větší absorpci záření dochází v buňkách s vysoký podílem vody. To způsobí poškození chemických vazeb a změny v tkáních (Rosina, 2021, s. 984–988).

V důsledku ozáření se nejprve sníží počet buněk, buďto jejich usmrcením nebo poškozením jejich schopnosti množit se. Pak se prohlubují změny a roste rozsah poškození funkce orgánů se zasaženými buňkami. Tímto dochází ke změnám orgánovým, což může vést k nemoci z ozáření (Rosina, 2021, s. 984–988).

2.5 Využití ionizujícího záření v medicíně

IZ se využívá ke dvěma hlavním účelům – diagnostice a radioterapii. Při diagnostice se jedná zejména o lékařské zobrazovací postupy. Fungují na principu ozařování určitých částí těla rentgenovými paprsky, které jsou v různých tkáních různě absorbovány. Tak se vytváří digitální obraz nebo film, který zobrazuje anatomické struktury, jako jsou kosti, tkáň a orgány. Snímky následně slouží k diagnostice, ke zjištění příčiny zdravotního problému nebo někdy i k vedení léčby. Tato vyšetření provádí radiologičtí asistenti ve spolupráci se zdravotními sestrami, lékaři, techniky, radiology, fyziky. Provádí se v nemocnicích, klinikách, zdravotnických centrech (CDC, 2021). Mezi zobrazovací metody se řadí: RTG – skiagrafie, skiaskopie, dále CT, MR, UZ, mamografie, denzitometrie, nukleární medicína, PETCT, SPECT

Při radioterapii se ionizující záření využívá k přímé léčbě, zejména v onkologii k ničení nádorových buněk. Jako zdroj ionizujícího záření se používají radionuklidové zdroje (včetně radiofarmak) při brachyterapii a urychlovače částic. Ionizující záření lze také využívat na sterilizaci nástrojů.

Princip odůvodnění vyšetření vyžaduje zohlednit přínosy a rizika ionizujícího záření používaného při postupech nebo léčbě. Lékaři, chirurgové, radiologové a radiologičtí asistenti mají za úkol informovat pacienty o potenciálních škodách způsobených zářením. Výhody záření musí být známy předem a svou výpovědní hodnotou přesahovat negativa spojená s IZ. Léčebné postupy, které vystavují pacienty relativně vyšším dávkám záření (např. cévní výkony), jsou často z lékařského hlediska nezbytné pro udržení funkce orgánů, a proto přínosy těchto vyšetření převažují nad riziky (Frane, Bitterman, 2023).

2.5.1 Diagnostika

Mezi nejdůležitější radiodiagnostické postupy patří následující:

Skiagrafie – vytváření rentgenových snímků pomocí přímé či nepřímé digitalizace. Jedná se o klasické snímky např. plic či kostí ruky (Malíková 2022, s. 16).

Skiaskopie – snímání za reálného času. Využívá se u dynamických jevů jako pasáže střev nebo polykací akt. Přístrojovým vybavením je sklopná skiaskopická stěna (Malíková, 2022, s. 17).

Angiografie = zobrazení cév. Jedná se především o metodu DSA, kdy se provede nativní a kontrastní vyšetření. Následně se nativní snímek odečte od obrazu s kontrastní látkou.

Výsledkem je obraz pouze cévního řečiště bez ostatních struktur jako jsou kosti či měkké tkáně. Místo diagnostické DSA se dnes využívají spíše CT, UZ, MR (Malíková, 2022, s. 17–18).

Výpočetní tomografie – vytvoří třírozměrný obraz těla pacienta složený z „řezů“, pomocí kterých můžeme zobrazit vnitřní tkáně a orgány v těle. Využívá se např. k vyobrazení krvácení, nádorů či traumat. Nejprve se pořizuje planární obraz (obvykle nazývaný topogram), na kterém se upřesňuje oblast pořízení 3D skenu (Seidl, 2012, s. 160–166).

2.5.2 Radioterapie

Společně s chemoterapií či hormonální léčbou a chirurgickým zákrokem tvoří radioterapie ionizujícím zářením léčebnou soustavu pro onkologické pacienty. Dle typu nádoru se u každého pacienta využívá individuální kombinace těchto metod (Rosina, 2021, s. 1090–1093).

K zevní terapii (teleterapii) se používá lineární urychlovač. Jedná se o svazek urychlených elektronů či brzděného záření (Rosina, 2021, s. 1094–1097).

K radiochirurgii se využívá Leksellův gama nůž. Jedná se o velký počet zdrojů záření, jejichž svazky záření směřují do stejného ohniska. V tomto ohnisku je vyvolána vysoká dávka, která způsobí biologickou odpověď tkáně. Používá se k léčbě nádorů, arteriovenózních malformací a malých metastáz na mozku (Rosina, 2021, s. 1103–1110).

Brachyterapie (kontaktní terapie) je umístění ZIZ přímo k nádoru či do postiženého orgánu/tkáně. Důvodem je malé ozáření okolních tkání a zároveň vyvolání vysoké dávky v nádoru za krátký čas. Indikací jsou nádory gynekologické, zažívacího traktu, prostaty či jazyka (Rosina, 2021, s. 1115–1119).

Stereotaxe – jedná se o přesné zaměření struktury v nitrolební oblasti. Využívá trojrozměrný systém a vhodnou vyšetřovací metodu (CT, PET, MR). Ozařuje se malý, přesně lokalizovaný objem vysokou dávkou a šetří se okolní zdravé tkáně (Šimonová, Liščák, 2011).

2.5.3 Nukleární medicína

Využívají se zde radiofarmaka, která emitují záření. Jedná se o chemické sloučeniny (nosiče), jež se značí daným radionuklidem. Radionuklidy se v naprosté většině případů vyrábí v jaderných reaktorech nebo v urychlovačích částic, zejména cyklotronech. Jako detektory slouží většinou gama kamery, které zobrazují distribuci radiofarmak v těle. Pro 3D zobrazení můžeme použít i SPECT gama kamery. Využívají se zde i PET kamery nebo hybridní PET/CT kombinující PET a CT, a to v případě pozitronových radiofarmak (Kubinyi, 2018, s. 26).

2.6 Radiační ochrana

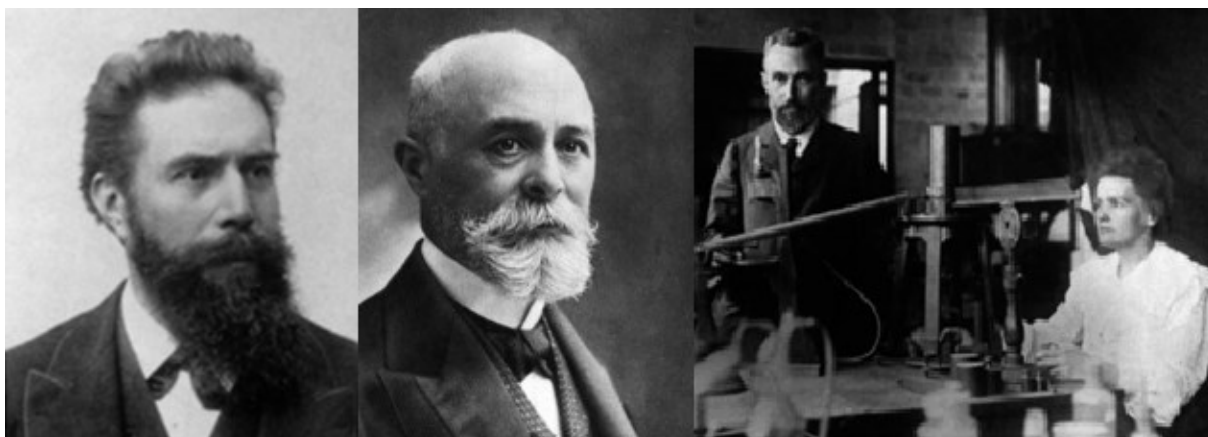
Radiační ochrana je založena na konzervativním předpokladu, že jakákoli radiační dávka pro člověka je spojena s potenciálním zdravotním rizikem, i když stále neexistuje přímý důkaz, že i velmi nízké dávky mohou způsobit škodu. Lze však říci, že dávka, kterou pacient při klasické radiodiagnostice dostane, není nebezpečná nebo představuje velmi malé riziko i při opakovaných vyšetřeních – výjimku představuje opakované CT vyšetření. Přijatelnost ionizujícího záření je však vždy před jeho použitím hodnocena. Především kvůli možným výhodám a relativním výhodám oproti ostatním postupům a možným rizikům, při stálém dodržování principů zdůvodnění a zásady optimalizace. (SÚJB, 2024)

Hlavním cílem radiační ochrany je dodržování pravidel a postupů, které vedou k nejmenšímu možnému ozáření osob a nejnižší kontaminaci okolí. Snahou je minimalizace mimořádných událostí a nehod, které způsobují větší ozáření prostředí a osob. Je nezbytné mít připravené postupy pro případ mimořádné radiační události a kontaminace. Součástí prevence těchto mimořádných událostí je monitorování a měření, na základě kterého nastavujeme obvyklé úrovně hodnot radiační ochrany a hodnoty indikující mimořádné události. To slouží k ochraně pracovníků, pacientů a veřejnosti. Dále k zajištění zdroje, jeho kvality a nastavení. Měření se provádí dozimetrickými přístroji a detektory záření, které je třeba správně kalibrovat (Kubinyi, 2018, s. 153).

S rostoucím používáním záření a radioaktivních materiálů v těchto zobrazovacích technikách se postupně zvyšuje riziko ozáření (CHEN, 2014).

2.6.1 Historie radiační ochrany

Vše začalo krátce po objevu paprsků X K.W. Roentgenem roku 1895 a následně o rok později, roku 1896 objevením radioaktivity H. Becquerelem. Roku 1898 bylo objeveno polonium a radium manžely Curiovými. Již v roce 1902 bylo nádorové onemocnění pracovníka přisuzováno účinkům IZ. Mezinárodním výborem pro ochranu před zářením rentgenovým bylo publikováno první doporučení pro kontrolu záření X roku 1928. Po použití jaderných zbraní na Hirošimu a Nagasaki během druhé světové války došlo k významnému rozvoji zkoumání a studií na účinky IZ na člověka. Mezi lety 1970–1980 nastal rozvoj výzkumů v oboru karcinogeneze a byly lépe popsány stochastické a deterministické účinky. Za posledních 20 až 30 let probíhají studie týkající se reakce těla na nízké dávky záření (SÚRO, 2024) (Kubinyi, 2018, s. 107).



Obrázek 1 – (zleva) W. C. Röntgen, H. Becquerel, Manželé Curiovi (Kubinyi, 2018, 27)

2.6.2 Historie radiační ochrany v českých zemích

Již v první polovině roku 1896 se u nás debatovalo o pokusech se zářením. U zrodu rentgenologie byl především prof. R. Jedlička. Primitivní rentgeny byly u nás brzy v lékařských střediscích. Důležitou součástí výzkumů radioaktivity byly studie ozáření v uranových doly v Jáchymově. V průběhu 20. století byly zakládány první instituce a organizace zaměřené na radiační ochranu. Pro výzkumy byl důležitou institucí Státní ústav radiologický RČS, založen 1919. Byl zřízen Ústav hygieny práce a chorob z povolání r. 1952 (Drábková, 2006). Podrobněji viz materiály na webech SÚJB, SÚRO.

2.6.3 SÚRO

SÚRO je Státní ústav radiační ochrany, zabývající se ochranou obyvatelstva před IZ. Byl založen roku 1995. Je to veřejná výzkumná instituce se sídlem v Praze a pobočkách po ČR. Zabývá se výzkumem ochrany před IZ a zajištění infrastruktury tohoto výzkumu (SÚRO, 2024).

2.6.4 SÚJB

SÚJB je Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Vznikl roku 1993. Je to ústřední orgán státní správy, který se stará o zabezpečení a mírové zacházení s jadernou energií, IZ a nešíření chemických, jaderných a biologických zbraní a ochranou těchto zdrojů. Koná podle atomového zákona 263/2016 Sb. Zabývá se také radiační ochranou, jejím monitorováním, pokyny k mimořádným radiačním situacím. Dbá na dodržování postupů užívání ZIZ a správné nakládání s radiačním odpadem a jeho přepravě. Stará se o dokumentace a povolení týkající se radiační ochrany a ZIZ a zajišťuje kontroly ZIZ na pracovištích po ČR (SÚJB, 2024).

2.6.5 ICRP

Jedná se o mezinárodní komisi pro radiologickou ochranu. Je to nezávislá a charitativní organizace. Jejím účelem je rozmach edukace obyvatelstva a veřejnosti o radiační ochraně. Poskytuje rady a postupy o všech aspektech radiační ochrany. Byla založena roku 1928 na mezinárodním radiologickém kongresu z důvodu obav z efektů IZ (ICRP, 2024).

2.7 Veličiny radiační ochrany

- Poločas rozpadu $T_{1/2}$ – doba, za kterou se rozpadne polovina jader daného radionuklidu.
- Dávka D – podíl střední sdělené energie E , kterou předá IZ látce a hmotnosti této látky. Jednotkou je Gy (Gray); $\text{Gy} = \text{J.kg}^{-1}$.
Aktivita A – podíl středního počtu radioaktivních přeměn N v určitém množství radionuklidu za časový interval dt a tohoto intervalu $A = dN/dt$, tj. počet přeměn za dobu dt . Jednotkou aktivity je Becquerel Bq, přičemž má význam jednoho radioaktivního rozpadu za 1 sekundu (1 Bq).
- Ekvivalentní dávka H_T – součin absorbované dávky a radiačního váhového faktoru w_R v tkáni T ionizujícím zářením typu R. Její jednotkou je Sv (Sievert = J.kg^{-1})
 - $H_T = \sum_R D_{TR} \cdot w_R$
- Objemová aktivita A_V – počet radioaktivních přeměn za jednotku času v daném objemu. Jednotkou objemové aktivity je Bq/m^3 (SURO, 2024)
- Efektivní dávka E – součet ekvivalentních dávek a tkáňového váhového faktoru w_T (viz tabulka 1) v určité tkáni či orgánu T (SABOL, 2011).
 - $E = \sum_T H_T \cdot w_T$
- Kerma K – podíl celkové kinetické energie všech nabitých částic uvolněných nenabitými ionizujícími částicemi v látce a hmotnosti této látky. Celkový počet nabitých částic uvolněných nenabitými částicemi. Jednotkou kermy je J.kg^{-1} .

Tabulka 1 – Tkáňový váhový faktor (Betts, 2024)

Tkáň / orgán	Tkáňový váhový faktor w_T
Žaludek	0,12
Střeva	0,12
Plíce	0,12
Kostní dřeň	0,12

Mléčná žláza	0,12
Ostatní tkáň	0,12
Gonády	0,08
Močový měchýř	0,04
Jícen	0,04
Ledviny	0,04
Štítná žláza	0,04
Povrch kostí	0,01
Kůže	0,01
Mozek	0,01
Slinné žlázy	0,01

2.7.1 Operační veličiny

Využívají se pro monitorování vnějšího ozáření, protože je lze změřit. Používají se k měření a hodnocení ozáření (Kubinyi, 2018, s. 98).

Mezi operační veličiny patří absorbovaná dávka, jež je podílem střední sdělené energie, kterou dá IZ záření látky o jisté hmotnosti. Její jednotku je Gy(Gray). Měříme ji pomocí dozimetrů.

2.7.1.1 Osobní dávkový ekvivalent

Veličina se označuje $H_p(d)$, její jednotkou je Sv. Je to dávkový ekvivalent v bodě tkáň v hloubce d pod povrchem těla (Ullmann, 2005).

2.7.1.2 Prostorový dávkový ekvivalent

Prostorový dávkový ekvivalent $H^*(10)$ [Sv] je dávkový ekvivalent, který byl vytvořen usměrněným a rozšířeným polem v kouli ICRU v hloubce $d = 10$ mm na poloměru mířícímu proti směru uspořádání pole (Ekendahl, 2013).

2.7.1.3 Směrový dávkový ekvivalent

Směrový dávkový ekvivalent $H'(d, \Omega)$ [Sv] je dávkový ekvivalent v daném bodě radiačního pole, který byl vytvořen rozšířeným polem v kouli ICRU v hloubce $d = 0,07$ mm na poloměru v určitém směru (Sabol, 2007).

2.8 Monitorování operačních veličin a hodnocení radiační zátěže

Hlavním důvodem je zabezpečení radiační ochrany a její účinnosti. Cílem je ochrana pacientů a pracovníků před IZ a kontaminací jak vnější, tak vnitřní. Při monitorování se používají dozimetry, které mají po dobu směny stále u sebe (na sobě).

Na základě monitorování je hodnocena radiační situace. Monitorování tedy spočívá v měření a monitorování radiace pro ochranu osob, dále v zajištění kvality zdrojů ionizujícího záření a vyčíslení radiace a parametrů používaných zařízení (Kubinyi, 2018, s. 153).

2.8.1 Dozimetry a detektory

V oblasti měření a monitorování existují v zásadě dvě skupiny senzorů nebo zařízení, tzn. ty, které poskytují nepřetržitou informaci o měřené veličině, a dále ty, které tyto informace poskytují až po dokončení procesu měření nebo monitorování. V prvním případě se jedná o aktivní prostředek pro sledování dávek, jež souvisejí nebo jsou přímo určeny pro potřeby radiační ochrany, zatímco v druhém případě tzv. pasivní senzory záření, které se vyhodnocují na konci měření (Kubinyi, 2018, s. 154).

Dozimetry, jež měří průběžně v čase se nazývají kontinuální či aktivní. Obvykle jsou založené na principu plynové ionizační komory. Kontinuální dozimetr poskytne informaci hned, ale musí být neustále napájen (Šinkorová, 2014). Jsou senzitivnější a mohou poskytnout mnoho parametrů o interakci záření s detektorem. Základní měřenou veličinou je počet impulzů za sekundu (minutu), tj. četnost. Četnost lze spojit s určitými měřitelnými veličinami pomocí kalibrace. Tímto spojením lze stanovit radiační úroveň (Kubinyi, 2018, s. 155).

Dozimetrická čidla či pasivní detekční čidla při ozáření mění v čase své vlastnosti. Vyhodnocují se po skončení měření. Jejich výslednou informaci můžeme získat v různých formách veličin. Odezva těchto čidel záleží na typu interakce záření. Jejich výsledek by se neměl lišit od reálné hodnoty o více jak 10 %. Výhodou těchto čidel je, že není potřeba je napájet (Kubinyi, 2018, s. 154).

Osobní dozimetrie – Osobním monitorováním zaznamenáváme osobní dávky záření pracovníků na pracovišti. Každý pracovník má během práce s IZ i při vstupu do kontrolovaného pásma osobní dozimetr stále při sobě, viz obrázek 1. Osobní dozimetr se nosí na určeném místě vlevo na hrudníku vpředu, vždy zevně na oděvu. Dozimetry se centrálně vyhodnocují obvykle po určité době (většinou jeden měsíc) nebo bezprostředně po mimořádné události. K těmto

účelům se používají osobní dozimetry filmové, termoluminiscenční, elektronické, neutronové, prstové, OSL dozimetry (Ullmann, 2005).

2.8.1.1 Plynové detektory

V plynovém detektoru vzniká působením ionizujícího záření elektrický náboj. Plynový detektor má dvě elektrody, na které je přivedeno napětí a vzniklý elektrický náboj je k nim přitahován. Vzniká elektrický proud, který se měří a vyhodnocuje v režimu jednotlivých pulzů (detekce jednotlivých částic) nebo v režimu kontinuálním (ionizační komora). Mezi plynové detektory se řadí i proporcionální detektory nebo Geiger–Mullerův počítač. Plynové detektory mají různý tvar, nejčastěji válec nebo deskové plochy (Kubinyi, 2018, s. 156).

2.8.1.2 Filmové dozimetry

Pracují na principu fotochemických účinků IZ. Skládají se z umělohmotné kazety a filtrů na vnitřní straně o různých tloušťkách. Hlavní částí je políčko fotografického filmu, který je světlotěsně zabalen v černém papíru. IZ vytváří latentní obraz po projití filmem. Dávají informaci o typu záření a dále informaci prostorovou, ze které strany přišlo (Seidl, 2012, s. 389–395).

2.8.1.3 Prstové dozimetry

Nosí se společně s filmovými dozimetry. Dávají se většinou na vnitřní stranu prsteníčku více exponované ruky, viz. obrázek 2 (Seidl, 2012, s. 394–395).



Obrázek 2 – Prstový dozimetr

2.8.1.4 Termoluminiscenční dozimetry

Používají vhodnou látku, ve které IZ vyvolá excitace elektronů se záchytem v záchytných centrech. Následným zahřátím elektrony deexcitují do základního stavu a dochází k vyzáření fotonů světla. Jako materiály se využívají např. CaF_2 , MgBeO_4 , LiF (Kubinyi, 2018, s. 171).

2.8.1.5 OSL dozimetry

K deexcitaci může dojít také v důsledku ozáření viditelným světlem, pak se elektrony se vrátí na nižší energetické vrstvy. Energie uvolněná při deexcitaci se opět vyzáří ve formě viditelného světla, v podobě modrozeleného světélkování. Jsou vysoce citlivé a mají malou náročnost na energii (Kubinyi, 2018, s. 175).



Obrázek 3: Osobní celotělový OSL dozimetr

2.8.1.6 Elektronické dozimetry

Elektronické dozimetry pracují na principu průrazu p-n přechodu v závěrném směru způsobeném ionty uvolněnými ionizujícím zářením. Obvykle se využívají jako doplňkové monitory. Měří celkový osobní dávkový ekvivalent, upozorní signálem na překročení úrovně, sledují ozáření jednotlivých dnů či při jednotlivých pracovních činnostech. Využívají se v případě havárie či u zařízení s radioaktivními zříči. Jejich výhodou je cena a okamžitý údaj. Dříve se využívaly dozimetry tužkové (Kubinyi, 2018, s. 176). Jejich součástí je elektronický detektor jako je ionizační komora nebo G-M trubice. Pro vyhodnocení situace a odečet obsahují elektroniku s displejem (Ullmann, 2005). Příkladem osobního elektronického dozimetru je přístroj DMC 3000 fy Mirion použitý pro měření v této práci (RDS 2024).



Obrázek 4: Osobní elektronický dozimetr DMC 3000 (RDS 2024)

2.9 Kontrolované a sledované pásmo

Jsou to vymezené části pracovišť, kde se pracuje se ZIZ a ve kterých se zavádějí specifická pravidla zvýšené ochrany před ionizujícím zářením.

2.9.1 Sledované pásmo

Sledované pásmo se vymezuje jako část pracoviště tam, kde by efektivní dávka pro radiační pracovníky mohla přesahovat 1 mSv ročně nebo ekvivalentní dávka by mohla přesáhnout 1/10 limitu na kůži a končetiny a oční čočku. V tomto pásmu mohou vykonávat radiační činnosti pracovníci kategorie A i B. Je zde nutné zajištění měření a monitorování. Je třeba, aby vchod byl na dveřích označen symbolem radiačního nebezpečí, společně s upozorněním „Sledované pásmo se zdroji ionizujícího záření“. Dále by měly být uvedeny také údaje o typu ZIZ a nebezpečí okolo něj. Ve sledovaném pásmu musí být poskytovány a používány ochranné pomůcky a zajištěné stínění podle ZIZ. (Kubinyi, 2018, s. 249–250).

2.9.2 Kontrolované pásmo

Do tohoto pásma smí vstupovat pouze pracovníci kategorie A, kteří mají osobní dozimetry a případně potřebné pomůcky a ochranné prostředky. Pracovník kategorie B smí vstoupit pouze pokud pomáhá osobě podstupující lékařské vyšetření. Je zákaz vstupu nepovolaným osobám. Vstup musí být zajištěn proti vniku těchto osob dovnitř. Smí sem vstupovat těhotná žena, pouze pokud zde pracuje nebo pokud se má podrobit lékařskému nebo nelékařskému vyšetření. Osoba mladší 18 let smí vstoupit pouze, pokud se má podrobit lékařskému či nelékařskému vyšetření či pokud se připravuje na výkon práce. Pouze osoba, která se má podrobit lékařskému či nelékařskému vyšetření nebo osoba, která byla poučena o chování a neohrožuje zdraví své či ostatních osob smí vstoupit. Kontrolované pásmo musí obsahovat dekontaminační sprchy. Je stavebně odděleno a zabezpečeno před vstupem nepovolaných osob. Vchod je označen

symbolem radiačního nebezpečí a upozorněním „Kontrolované pásmo se zdroji ionizujícího záření, nepovolaným vstup zakázán“, informacemi o typu ZIZ a rizicích s ním spojenými. Zároveň je kontrolované pásmo vymezeno všude, kde průměrný příkon prostorového dávkového ekvivalentu může překročit $2,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ za rok. (Kubinyi, 2018, s. 250)(Vyhláška § 46 č. 422 / 2016 Sb.).

2.10 Limity pro obyvatele, radiační pracovníky, studenty

Limity jsou hranice mezi dávkami ozáření zcela nepřijatelnými a dávkami, kde je potřeba určit přijatelnost na základě radiační ochrany před ozářeními.

Základní limity se určují pro:

- Obyvatelstvo – Limity vztahující se na ozáření ze všech činností, ve kterých se s ním mohou setkat kromě lékařských ozáření.
- Radiační pracovníky – Limity se vztahují na ozáření, kterému jsou v rámci povolání vystaveni pracovníci kategorie A a B
- Učně a studenty – Vztahují se na ozáření, kterému se dobrovolně vystavují z důvodu přípravy na budoucí výkon povolání. Jsou poučeni o rizicích spojených s IZ a prací se ZIZ(SÚRO, 2024)

Hodnoty limit dle vyhlášky č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, ze které pro přesnost cituji.

Limity

§ 3 – Obecné limity pro obyvatele (k § 63 odst. 6 atomového zákona)

Obecnými limity pro obyvatele z ozáření ze všech povolených nebo registrovaných činností za jeden kalendářní rok jsou

- a) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 1 mSv,
- b) pro ekvivalentní dávku v oční čočce 15 mSv a
- c) pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže 50 mSv bez ohledu na velikost ozářené plochy.

§ 4 – Limity pro radiačního pracovníka (k § 63 odst. 6 atomového zákona)

(1) Limity pro radiačního pracovníka musí být použity pro omezení profesního ozáření a jsou

- a) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 20 mSv za kalendářní rok nebo hodnota schválena Úřadem podle § 63 odst. 4 atomového zákona, nejvýše však 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních let a současně 50 mSv za jeden kalendářní rok,
- b) pro ekvivalentní dávku v oční čočce 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních let a současně 50 mSv v jednom kalendářním roce,
- c) pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže 500 mSv za kalendářní rok bez ohledu na velikost ozářené plochy a
- d) pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky 500 mSv za jeden kalendářní rok.

(2) Posuzování, zda nedošlo k překročení limitů pro radiačního pracovníka, musí

- a) být prováděno soustavně,
- b) zohlednit součet dávek ze všech cest ozáření a při všech pracovních činnostech, které radiační pracovník vykonává, a
- c) zohlednit v případě radiačního pracovníka, který není externím pracovníkem, vykonávání pracovních činností, při kterých je vystaven ozáření podléhajícím limitům pro radiačního pracovníka, pro více ohlašovatelů, registrantů nebo držitelů povolení.

(3) Radiační pracovník, u kterého bylo zjištěno překročení limitů ozáření, musí být dočasně vyřazen z práce se zdrojem ionizujícího záření do doby, než je posouzena jeho zdravotní způsobilost k další práci se zdrojem ionizujícího záření a stanoveny podmínky pro tuto práci.

(4) Překročení limitů pro radiačního pracovníka, který je shledán zdravotně způsobilým podle odstavce 3, není důvodem pro jeho vyloučení z obvyklé pracovní činnosti nebo pro přeložení na jiné pracoviště, pokud osoba, pro niž pracovní činnost vykonává, nemá k takovému vyloučení jiné závažné důvody.

§ 5 – Limity pro žáka a studenta (k § 63 odst. 6 atomového zákona)

(1) Dodržení limitů pro žáka a studenta musí posuzovat držitel povolení, na jehož pracovišti žák a student v průběhu svého studia pracuje se zdrojem ionizujícího záření.

(2) Posuzování, zda nedošlo k překročení limitů pro žáka a studenta, musí

- a) být prováděno soustavně a

b) zohlednit součet dávek ze všech cest ozáření a při všech činnostech, které žák a student se zdrojem ionizujícího záření vykonává.

(3) Limity pro žáka a studenta ve věku od 16 do 18 let, kteří jsou povinni v průběhu svého studia pracovat se zdrojem ionizujícího záření, jsou za jeden kalendářní rok

a) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 6 mSv,

b) pro ekvivalentní dávku v oční čočce 15 mSv,

c) pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže 150 mSv bez ohledu na ozářenou plochu a

d) pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky 150 mSv.

(4) Limity pro žáka a studenta mladšího než 16 let, kteří jsou povinni v průběhu svého studia pracovat se zdrojem ionizujícího záření, jsou shodné s obecnými limity pro obyvatele.

(5) Limity pro žáka a studenta staršího než 18 let, kteří jsou povinni v průběhu svého studia pracovat se zdrojem ionizujícího záření, jsou shodné s limity pro radiačního pracovníka.

2.11 Principy radiační ochrany, ALARA

Cílem obecných principů je zajištění sledování osob, zejména pracovníků, ale i dalších osob či pacientů při expozičních činnostech, souvisí s ochranou před vnějším i vnitřním zářením (Kubinyi, 2018, s. 179).

Existují čtyři základní principy radiační ochrany sloužící ke snížení radiační zátěže při činnostech s IZ. Mezi tyto principy patří:

- princip zdůvodnění,
- princip optimalizace radiační ochrany,
- princip limitování,
- princip zajištění bezpečnosti ZIZ.

2.11.1 Princip zdůvodnění

Činnost s využitím IZ musí být jasně zdůvodněna a prospěch musí převažovat nad rizikem plynoucím z této činnosti. Možnost využití jiných metod před IZ. U dětí dbáme na zvýšenou citlivost vůči IZ (Marková, 2016, s. 27).

2.11.2 Princip optimalizace radiační ochrany

Jedná se o nutnost dodržování úrovně radiační ochrany, jak je jen možné při výkonech využívajících IZ. Snahou je nepřesáhnout dané limity a zajistit co největší radiační ochranu vzhledem k ekonomickým možnostem pracoviště (Marková, 2016, s. 27).

Vychází z dodržování určitých speciálních postupů, jejichž účelem je zajistit, aby byla za normálních podmínek ozáření osob nebo radioaktivní zamoření prostředí co nejnižší. V žádném případě by limit neměl překročit příslušný mezní nebo referenční úroveň. Dalším ochranným úkolem je minimalizovat pravděpodobnost havárií nebo nehod, které obvykle vedou k dočasnému překročení příslušných dávkových limitů (Kubinyi, 2018, s. 153).

ALARA – (As Low As Reasonably Achievable). Jeden z hlavních principů radiační ochrany. Jedná se o snížení radiace na nejnižší možnou úroveň s ohledem na příslušné okolnosti (Kubinyi, 2018, s. 177).

Vzhledem k tématu této práce „Optimalizace radiační ochrany na oddělení zobrazovacích metod“ cituji také Zákon č. 263/2016 Sb. atomový zákon § 66 Optimalizace radiační ochrany.

§ 66 – Optimalizace radiační ochrany

(1) Každý, kdo vykonává činnosti v rámci expozičních situací, je povinen při optimalizaci radiační ochrany zohlednit rozsah ozáření, jeho pravděpodobnost a počet fyzických osob vystavených ozáření.

(2) Každý, kdo vykonává činnosti v rámci expozičních situací, je povinen provést optimalizaci radiační ochrany

a) před zahájením činnosti v rámci plánované expoziční situace posouzením variant řešení radiační ochrany, které přicházejí v úvahu, s ohledem na nutné náklady, kolektivní dávku, dávky reprezentativních osob a správnou praxi,

b) při vykonávání činnosti v rámci plánované expoziční situace pravidelným rozbohem vztahu obdržených dávek k prováděným úkonům, s uvážením dalších opatření k zajištění radiační ochrany a porovnáním s podobnou provozovanou a společensky přijatelnou činností,

c) před uskutečněním opatření k zajištění radiační ochrany v rámci existující a nehodové expoziční situace a před zahájením uvolňování radioaktivní látky z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření posouzením možných variant opatření a volbou takové, která svým způsobem provedení, rozsahem a dobou trvání přinese co největší čistý přínos,

d) při uskutečňování opatření k zajištění radiační ochrany v rámci existující a nehodové expoziční situace rozbohem obdržených dávek ve vztahu k prováděným opatřením a uvážením změny zvolených opatření a postupů.

(3) Každý, kdo vykonává činnosti v rámci plánované expoziční situace, je povinen pro optimalizaci ozáření obyvatelstva používat dávkové optimalizační meze podle § 82 odst. 1.

(4) Pro optimalizaci ozáření pracovníků při plánované expoziční situaci držitel povolení stanoví příslušné dávkové optimalizační meze pro stanovené časové období v programu monitorování.

(5) Každý, kdo vykonává činnosti v rámci existující a nehodové expoziční situace, je povinen pro optimalizaci radiační ochrany obyvatelstva, radiačních pracovníků a zasahujících osob používat referenční úrovně a optimalizaci přednostně zaměřit na ozáření přesahující referenční úroveň.

(6) Prováděcí právní předpis stanoví

a) referenční úrovně,

b) způsob použití referenčních úrovní,

c) postupy používané při optimalizaci radiační ochrany včetně způsobu stanovení dávkových optimalizačních mezí.

2.11.3 Princip limitování

Každý, kdo má povolení k nakládání se ZIZ, musí dle vyhlášky č. 422/2016 Sb. zajistit, aby tyto limity radiační ochrany nebyly žádným způsobem přesáhnuty. Jedná se o zabránění deterministických efektů a snížení rizika stochastických efektů expozice na co nejnižší úroveň (Marková, 2016, s. 30).

2.11.4 Princip zajištění bezpečnosti ZIZ

Pro nakládání se ZIZ musí být v účinnost zavedena opatření k zamezení zneužití a odcizení ZIZ. Tyto zdroje musí být v dobrém technickém stavu bez poškození. Technické kontroly a zkoušky zajišťují firmy. Zkoušky jsou popsány a kontrolovány ve vyhlášce č. 422/2016 Sb. (Marková, 2016, s. 30).

2.12 Vnitřní a vnější kontaminace

Kontaminaci dělíme na dva typy: vnější a vnitřní kontaminaci podle způsobu požití, kontaktu nebo konstrukce zdroje záření.

Vnější kontaminace je znečištění povrchů, předmětů, oděvu osob radioaktivní látkou. K vnitřní kontaminaci dochází požitím, vdechnutím radioaktivní látky či jejím vniknutím přes povrch těla (SÚRO, 2024).

2.12.1 Vnitřní kontaminace

K vnitřní kontaminaci může dojít například vdechováním nebezpečných chemikálií, konzumací kontaminovaných potravin či vody. Nebo také přímým kontaktem s toxickými látkami na kůži z např. rozbitého otevřeného zářiče. Může mít pro lidský organismus vážné následky, způsobovat například různá onemocnění jako dýchací potíže, otravy nebo dokonce rakovinu. Nutná prevence této kontaminace a zajištění optimálních podmínek v pracovním i domácím prostředí (Kučerová, 2010).

2.12.2 Vnější kontaminace

Vnější kontaminace je znečištění životního prostředí, ploch, povrchů. To může zahrnovat různé kontaminanty, jako jsou chemikálie, radioaktivní látky. Znečištění může být způsobeno přímým stykem s látkami nebo vypouštěním průmyslového odpadu, nekontrolovaným skládkováním, únikem nebezpečných látek z nádrží nebo radiačními katastrofami. Kontaminovaná půda, voda nebo vzduch může mít negativní vliv na zvířata, rostliny a osoby (Kučerová, 2010).

Podle konstrukce dělíme ZIZ na dva typy:

1. Uzavřený zářič – Je vyroben tak, aby nedošlo k úniku látek do okolí za správného způsobu používání a jeho opotřebnosti. Patří sem např. lineární urychlovače, rentgenové přístroje, generátory, rentgenky. Uzavřené zářiče mohou způsobit vnější kontaminaci.
2. Otevřený zářič – Jedná se o nejrůznější radioaktivní plyny, aerosoly, roztoky. Používají se především v nukleární medicíně jako radiofarmaka. Otevřené zářiče mohou způsobit jak

vnitřní, tak i vnější kontaminaci. Kontaminace vzniká právě vdechnutím, pozřením či projitím přes kůži. Tyto látky v těle způsobují přímé ozáření orgánů a tkání (Ullmann, 2005).

2.12.3 Ochrana před kontaminací

Základní ochranou před ozářením způsobeným kontaminací radionuklidy je zkrácení doby ozáření, zvětšení vzdálenosti od zdroje IZ a používání ochranných pomůcek. Je nutno dodržovat tato opatření:

- v kontrolovaném pásmu je zakázáno konzumovat jídlo, pití a kouřit,
- do kontrolovaného pásma mohou vstupovat pouze zaměstnanci vybaveni dozimetrem,
- po případné kontaminaci okamžitě dochází k dekontaminaci podle havarijního plánu pracoviště,
- opustíme místnost, ve které dochází k ozařování. Držíme si dostatečnou vzdálenost od pacienta, jenž je po aplikaci radiofarmaka. Radiační dávka klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje.
- s pacientem, který v sobě má radiofarmakum, trávíme co nejméně času,
- používáme osobní ochranné pomůcky jako jsou gumové rukavice, ochranná maska, rouška, brýle (s olověným sklem).
- při práci s radionuklidy je nutno použít pracovní pomůcky jako jsou pinzety, pipety, kleště (Kučerová, 2010).

Konkrétní postupy pro konkrétní pracoviště jsou pak uvedeny ve vnitřním havarijním plánu tohoto pracoviště.

2.12.4 Dekontaminace

V případě zjištění kontaminace prostředí je třeba vyhodnotit míru kontaminace a postupovat podle programu monitorování a vnitřního havarijního plánu. Zjištění kontaminace je nutno nahlásit pracovníku s dohledem nad radiační ochranou a vedoucímu pracovníkovi, zamezit kontaminaci šíření do okolí a varovat ostatní, případně vyznačit kontaminovanou plochu.

Obvykle buničinou co nejvíce vysušíme rozlité radioaktivní tekutiny a poté plochu čistíme vhodným dekontaminačním prostředkem. Rozbité zářiče a pomůcky použité k dekontaminaci zavážeme do sáčků a necháme vyzářit v místnosti k tomu určené (skladu radioaktivního odpadu). Pomocí radiometru následně přeměříme účinnost dekontaminace.

Dojde-li ke kontaminaci osob, svleče pracovník veškeré kontaminované věci jako je oděv a pomůcky. Poté použije dekontaminační sprchu. V případě vnitřní kontaminace je třeba postupovat podle zdravotnických opatření v kooperaci se SÚJB (Ullmann, 2005).

2.13 Stochastické a deterministické účinky záření

Rozlišujeme dva druhy účinků záření – stochastické a deterministické. V radiační ochraně se jedná především o absolutní vyloučení účinků deterministických a snížení účinků stochastických na přijatelnou úroveň.

2.13.1 Stochastické účinky

Jsou to biologické účinky, ke kterým dochází již po absorpci nízkých dávek IZ. Na rozdíl od deterministických efektů, kde k nim dochází po dosažení určité prahové hodnoty. To znamená, že i když je absorbována velmi malá dávka záření, je možné, i když s malou pravděpodobností, že později nastanou biologické účinky. Tyto efekty souvisejí především s rizikem rakoviny a genetickým poškozením a nelze předvídat, kdy a u koho se tato rizika objeví. Je důležité snížit IZ na nejnížší možnou úroveň – ALARA a stanovit bezpečné limity dávek. Čím vyšší dávka záření, tím větší pravděpodobnost jejich výskytu.

Je spousta zdravotních problémů spojených s expozicí IZ. Jedním z nejznámějších příkladů je rozvoj rakoviny, který může být způsoben dlouhodobým zářením. Mezi další příklady patří genetické defekty a mutace, jež mohou být přeneseny na potomky, neplodnost, vrozené vady, kožní onemocnění. Příklady naznačují, že stochastické účinky mohou mít vážné dlouhodobé účinky na lidské zdraví a vyžadují preventivní opatření.

Pro stanovení potencionálních stochastických účinků se používá efektivní dávka (jednotka Sv) (Kubinyi, 2018, s. 82–83).

2.13.2 Deterministické účinky

Mají prahovou dávku – tzn. dávku, po které se projeví. Projevy deterministických účinků záření se objevují až při vystavení vyšší dávce záření a jejich průběh závisí na této dávce. Každá tkáň či orgán je jinak radiosenzitivní. K těmto účinkům dochází po smrti ozářené části buněčné populace (Ullmann, 2005).

Typickými projevy deterministického účinku záření jsou např. spálení kůže, ovlivnění funkce orgánů. Popáleniny kůže jsou způsobeny intenzivním ozářením částí kůže a projevují se bolestí, zarudnutím, otokem a v nejhorsším případě puchýři nebo vředy. Větší ozáření může způsobit

nevolnost, zvracení, průjem, horečku a další systémové reakce. Účinky záření na orgány mohou způsobit například poškození kůže, očí, štítné žlázy nebo ledvin (SÚJB, 2024).

VÝZKUMNÁ (PRAKTICKÁ) ČÁST

Cílem praktické části bylo zjistit hodnoty obdržené dávky z dozimetrů na různých pracovištích na radiodiagnostickém oddělení jako jsou např. magnetická rezonance, CT, rentgen a poté PETCT. K měření byly použity operativní dozimetry, které používali vybraní pracovníci na různých pracovištích radiodiagnostického oddělení a PETCT v nemocnici A.

3 METODIKA VÝZKUMNÉ (PRAKTICKÉ) ČÁSTI

Monitorování pracovníků RDG oddělení bylo provedeno dvěma způsoby – rutinním monitorováním pomocí OSL dozimetrů a pomocným monitorováním pomocí elektronických dozimetrů. Předpokládáme, že u téhož pracovníka je měsíční dávka ionizujícího záření zjištěna pomocí OSL dozimetru a měsíční součet denních dávek zjištěných pomocí elektronického dozimetru přibližně stejný.

Zjištěné hodnoty byly tabelovány, porovnány a vyhodnoceny. Monitorovací postupy jsou podrobně uvedeny v oddíle *Monitorování radiační zátěže na různých pracovištích RDG*.

3.1 Cíl

Cílem bylo získat hodnoty obdržené dávky na jednotlivých pracovištích oddělení RDG, vzájemně je porovnat a zjistit, na kterém z nich je radiologický asistent nejvíc vystaven ionizujícímu záření, tj. kde obdrží největší dávku záření.

Primárním podnětem byly výsledky monitorování pracovníků oddělení RDG, kteří vykonávali radiační činnosti na pracovišti PET/CT a kteří se obávali zvýšené radiační zátěže z používaných pozitronových radiofarmak.

3.2 Charakteristika PET/CT pracoviště

Pracoviště PET/CT využívá postupy nukleární medicíny především ke stanovení novotvarů u onkologických pacientů. Využívá se princip pozitronové emisní tomografie. Pozitronové radiofarmakum uvolňuje β^+ rozpadem pozitron, který anihiluje s elektronem atomu látkového prostředí těla pacienta. Vznikají dva fotony, které od sebe letí kolmo v úhlu 180° , tj. každý letí opačným směrem. Dva detektory následně tyto fotony zachycují. Využívají se zde speciální scintilátory s vyšší účinností, které mají vyšší atomové číslo. Nejprve získáme 3D obraz distribuce PET radiofarmaka pomocí počítačové rekonstrukce. Následně je provedeno CT

vyšetření pacienta a spojením těchto dvou obrazů vznikne kombinovaný PET/CT 3D obraz tkání a orgánů pacienta. (Seidl, 2012, s. 267–270)

Pracoviště, na kterém byla praktická část bakalářské práce realizována, provádí PETCT vyšetření pomocí následujících radiofarmak:

- 1) ^{18}F -FDG,
- 2) ^{18}F -Fluorocholine,
- 3) ^{18}F -Fluciclovium (Axumin).

Počet vyšetření sub 1) pomocí ^{18}F -FDG výrazně převyšuje ostatní. Vyšetření jsou prováděna dle místních a národních radiodiagnostických standardů pro příslušná PET/CT vyšetření.

3.3 Monitorování radiační zátěže na různých pracovištích RDG

Monitorování radiační zátěže bylo provedeno na různých pracovištích RDG oddělení.

3.3.1 Pracoviště RDG oddělení

Pracovníci RDG oddělení jsou zařazováni do směn na následujících pracovištích RDG oddělení:

- 1) MR – magnetická rezonance, bez zdroje ionizujícího záření (např. Vantage fy Canon)
- 2) CT – výpočetní tomografie (např. Aquilion fy Canon)
- 3) PETCT – hybridní pozitronová emisní tomografie s výpočetní tomografií (Biograph fy Siemens)
- 4) MAMO – mamografická vyšetření pomocí mamografického RTG přístroje (Selenia Dimensions)
- 5) RTG – pracoviště se stacionárními rentgenovými přístroji (např. Sedecal)
- 6) SKIA – převážně RTG přístroje s C-ramenem (např. Zeihm)
- 7) SONO – ultrazvuková vyšetření, bez zdroje ionizujícího záření
- 8) AG – angiografie (systém Allura fy Philips)

K měřitelné expozici ionizujícím zářením generátorů záření nebo radionuklidových zdrojů může docházet na všech pracovištích s výjimkou pracovišť MR a SONO.

3.3.2 Monitorovací přístroje

Monitorování bylo prováděno následujícím způsobem:

- 1) Monitorování radiačních pracovníků RDG oddělení zařazených do kategorie „A“ dle vyhlášky 422/2016 Sb. provádí dodavatelským způsobem *Služba osobní dozimetrie VF, a.s.* K monitorování jsou používány osobní OSL dozimetrie a prstové

termoluminiscenční dozimetry s jednoměsíčním intervalem vyhodnocování.

Dodavatel zasílá výsledky monitorování ve formě tabulky hodnot efektivní dávky E [mSv], osobního dávkového ekvivalentu $H_p(007)$ a $H_p(10)$ a ekvivalentní dávky na ruce H_T dohlížející osobě pracoviště RDG.

- 2) Za účelem rozdělení jednoměsíčních efektivních dávek na jednotlivá pracoviště bylo provedeno pomocné monitorování vybraných pracovníků pomocí elektronických dozimetrů DMC 3000, které byly použity pro stanovení dávkového ekvivalentu $H_p(10)$. Pracovníci si dozimetr převzali ráno, bezprostředně po začátku směny. Na konci směny odečetli naměřené hodnoty a zapsali je spolu s identifikací pracoviště do tabulky, viz příloha č. 1. Tabulka obsahuje identifikaci pracovníka, datum, pracoviště, hlavní zdroj ionizujícího záření při výkonu práce a dávku za směnu (μSv).

Pozadí: Pracovníci jsou všude exponováni pozadím, jehož hodnota dávkového příkonu zjištěná dlouhodobým měřením na sledovaném pracovišti RDG činí cca $0,2 \mu\text{Sv/hod}$. Tato hodnota je pod detekčním limitem použitých dozimetrů.

3.3.3 OSL osobní dozimetr VF-SOD

Osobní OSL dozimetr fy VF Nuclear využívá moderní technologii OSL (Opticky Stimulovanou Luminiscenci) a má následující základní charakteristiky:

- Vyhodnocení je nedestruktivní, dovolující opakované měření pro verifikaci naměřené dávky.
- Nízký fading umožňuje vyhodnocení i po dlouhé době.
- Standardní perioda monitorování: 1 měsíc (prac. kategorie A i B)
- Dozimetry nevyžadují další manipulaci na pracovišti, jsou přímo připraveny k použití.
- Rozsah měření pro záření X a γ : $0,05 \text{ mSv} \leq H_p(0,07) \leq 10 \text{ Sv}$
- Rozsah energií pro záření X a γ : $0,016\text{--}6 \text{ MeV}$ ($E_{\text{max}} = 18 \text{ MeV}$) (Dozimetrie 2024)

Dále v textu budou tyto dozimetry označovány jako **OSL**.

3.3.4 Elektronický dozimetr DMC 3000

Elektronické osobní dozimetry DMC 3000 (viz obr. 4) má vysoce kontrastní a podsvícený displej a poskytuje zřetelnou indikaci dávky a okolního dávkového příkonu. Přístroj má následující základní charakteristiky:

- energie X a gama 15 keV až 7 MeV ,
- dávkový ekvivalent $H_p(10)$,
- ekvivalent dávkového příkonu,
- napájení z alkalické baterie,
- hlasitý alarm (typicky 85 dB), vibrační alarm, dvojí ultra zářivý LED alarm,

- výborně čitelný podsvícený displej,
- přesnost $H_p(10)$: $< \pm 10\%$ (^{137}Cs při 24 mSv/h)
- zobrazovaná dávka: 1 μSv až 10 Sv
- jednoduché ovládání dvěma tlačítky (RDS 2024)

Dále v textu budou tyto dozimetry označovány jako **DMC**.

3.4 Výsledky monitorování

Výsledky monitorování pracovníků RDG oddělení za měsíc únor 2024 jsou uvedeny v tabulce

Tabulka 2 – Měsíční úhrny dávek IZ za únor 2024

Měsíční úhrny dávek ionizujícího záření vybraných pracovníků RDG oddělení – únor 2024				
Pracovník/pracoviště	A	B	C	D
MR	neměří se	neměří se	neměří se	neměří se
CT	0	nebyl	nebyl	nebyl
PETCT (mSv)	0,028	0,027	0,078	0,031
MAMO	Nebyl	nebyl	nebyl	nebyl
RTG	Nebyl	0	nebyl	nestanoven o
SKIA (mSv)	0,037	nestanoveno	nestanoveno	nestanoven o
SONO	neměří se	neměří se	neměří se	neměří se
AG	nestanoveno	nestanoveno	nestanoveno	nestanoven o
E (OSL) mSv	0,11	0,09	0,07	nestanoven o
$H_p(10)$ (DMC)	0,065	0,04	0,078	0,031
Předpoklad $H_p(10)$ (AG + SKIA)	0,045	0,05	-0,008	nestanoven o
Rel. příspěvek H_p/E pro PET/CT [%]	25	30	111	nestanoven o
Rel. příspěvek H_p/E pro (AG + SKIA) [%]	41	56	-11	nestanoven o
Pomocný údaj H_t (prstový OSL)	<0,1	<0,1	0,2	nestanoven o

V tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty dávek vybraných pracovníků. Pracovník označený „D“ přicházel jako nový na pracoviště PET/CT, neodevzdal však OSL dozimetr k vyhodnocení (označeno „nestanoveno“) a proto nebylo možno stanovit rozdělení dávek na jednotlivá pracoviště. Dávky nebyly měřeny na pracovištích MR a SONO (označeno „neměří se“) z toho důvodu, že na těchto pracovištích není vykonávána radiační činnost vedoucí k ozáření

pracovníků. Pokud pracovníci nebyli v únoru vůbec zařazeni do směny na daném pracovišti, je v tabulce uvedeno „nebyl“.

Dávky na pracovištích SKIA a AG nebylo možno stanovit proto, že dozimetr DMC má nastavenou akustickou signalizaci překročení úrovně dávky. Signalizační úroveň byla při snímkování opětovně překračována pulzem RTG záření a akustická signalizace rušila lékaře při provádění výkonu – proto lékař s měřením pomocí tohoto typu dozimetru nesouhlasil.

Na základě dat uvedených v tabulce č. lze konstatovat následující:

- 1) Činnosti na pracovištích MR a SONO nevedou k radiační zátěži pracovníků a lze je využít k prostřídání s pracovišti, na kterých je radiační zátěž vyšší.
- 2) Naměřené hodnoty dávky jsou velmi nízké, do 0,1 mSv. V měsíčním úhrnu činí méně než 10 % limitu ozáření pro obyvatelstvo (1 mSv), resp. 0,5 % limitu pro radiační pracovníky kat. „A“ (20 mSv). Z hlediska měřicích rozsahů použitých přístrojů se naměřené hodnoty pohybují jen mírně nad detekčními limity a jsou zatíženy velkou relativní chybou, což se projevilo u pracovníka „C“.
- 3) Porovnání radiační zátěže na různých pracovištích lze provést pro pracovníky „A“ a „B“. Ze zjištěných dat vyplývá, že radiační zátěž na pracovišti PET/CT činí menší část (do 30 %) celkové radiační zátěže (dávky) pracovníků RDG oddělení.
- 4) K optimalizaci radiační zátěže lze s výhodou využít prostřídání s pracovišti MR a SONO.
- 5) Bylo by žádoucí provést analogické monitorování s jinými dozimetry než DMC, resp. vypnout jejich signalizační funkci tak, aby bylo možno stanovit přímým monitorováním také radiační zátěž na pracovištích SKIA a AG.

Monitorování pracovníků RDG oddělení pokračovalo i v měsíci březnu r. 2024. V tomto měsíci byly však ve větším rozsahu čerpány dovolené (jarní prázdniny) a získaná data nebylo možno považovat za úplná a věrohodná. Proto nebyla hodnocena.

3.5 Návrh optimalizace radiační ochrany pracovníků

Optimalizace radiační ochrany pracovníků je důležitý krok k minimalizaci radiační expozice zaměstnanců. Je nezbytné:

- pravidelné monitorování radiace na všech pracovištích, kde je to potřeba, především kontrolované pásmo,
- upravení pracovních postupů pro minimalizaci expozice na pracovištích, kde dochází k největšímu ozáření personálu,

- poskytnutí pravidelného školení zaměřeného na bezpečné pracovní postupy a nakládání se ZIZ,
- informovat zaměstnance o nebezpečí z ozáření a o tom, jak minimalizovat svou expozici.,
- aktualizace a návrhy pracovních postupů tak, aby byly v souladu s nejnovějšími pokroky v oblasti radiační ochrany. To může zahrnovat změny v rozvržení a konstrukce pracoviště.
- vypracování nouzových plánů pro případ nehody spojené s radiací. Musí obsahovat kroky k okamžité evakuaci zaměstnanců z kontaminované oblasti a následné dekontaminaci.
- pravidelné kontroly a zkoušky ZIZ, aby nedocházelo k nehodám a technickým problémům.

Hlavním faktorem je dodržování základních principů radiační ochrany. Jedná se o používání ochranných pomůcek, ochranu časem a vzdáleností. Výsledky naznačují, že na odděleních, jako je nukleární medicína a PETCT, jsou pracovníci vystaveni většímu ozáření. Tuto expozici způsobují především radiofarmaka a kontakt s pacienty. Je třeba používat správně kalibrované dozimetry a měřidla. Při práci na pracovišti PETCT a nukleární medicíny je nutno, aby se radiologičtí asistenti a zdravotní personál co nejvíce střídali při směnách. Mezi pracovníky by mělo docházet k efektivní komunikaci a předávání informací.

4 DISKUZE

Cílem této práce bylo ověřit správnost měření různých dozimetrických zařízení a jejich vyhodnocení. Několik radiologických asistentů a sester v nemocnici A zapisovalo své hodnoty z osobních dozimetrů do tabulky. Tyto osobní dozimetry nosili zaměstnanci na každou směnu po různých pracovištích. Po skončení směny napsali své hodnoty z osobních dozimetrů do předem vypracované tabulky. Hodnotily se osobní dozimetry, průběžné zapisování dávek z dozimetrů na PETCT, vyhodnocení z celotělových osobních dozimetrů a prstových dozimetrů.

Pracovníci při tom dodržovali zásady ochrany proti IZ. Střídali se ve směnách. Byli edukováni a znali rizika práce s ionizujícím zářením.

Roku 2013 ve Fakultní nemocnici Motol proběhla studie zaměřená na radiační ochranu pracoviště. Zde pomocí osobních a prstových dozimetrů hodnotili průměrnou kolektivní efektivní dávku a průměrnou kolektivní efektivní dávku na ruce. Výsledkem bylo, že se radiační zátěž pracovníků neměla ani přes zvyšující se aplikovanou aktivitu nebo se zvyšovala nevýznamně. Hodnoty byly vždy pod stanovenými limity.

Např. v roce 2013 probíhala studie ve Fakultní nemocnici Ostrava v letech 2006–2012, kde porovnávaly průměrné hodnoty efektivní dávky a roční ekvivalentní dávky na ruce. Výsledkem bylo, že ke snížení dávek došlo dodržováním základní radiační ochrany, stavebními úpravami a organizací práce.

V roce 2014 v Hradci Králové zjistili, že největší dávka na kůži na ruce byla na pracovišti PET 0,48mSv. (Kohutová, 2015)

V zásadě jsou hodnoty na sledovaném pracovišti výrazně nižší než na srovnatelném pracovišti PET/CT v Novém Jičíně.

Další výzkum by se mohl zaměřit na optimalizaci radiační ochrany personálu a dodržování pravidel, využívání ochranných prostředků.

5 ZÁVĚR

V teoretické části předložené práce byly popsány a vysvětleny základní pojmy spojené s využitím zdrojů ionizujícího záření v nukleární medicíně. Dále základní pojmy spojené s radiační ochranou a její optimalizací. V praktické části bylo provedeno monitorování vybraných pracovníků radiodiagnostického oddělení na různých pracovištích tohoto oddělení, byla stanovena a porovnána jejich radiační zátěž a byla formulována doporučení k optimalizaci radiační zátěže.

6 POUŽITÁ LITERATURA

BETTS, Richard, 2024. Tissue weight factor. In: radiopaedia.org [online]. © 2005–2024 Radiopaedia.org [cit. 2024–04–18]. Dostupné z: [https://radiopaedia.org/articles/tissue-weighting-factor#:~:text=The%20tissue%20weighting%20factor%20\(W,the%20body%20to%20ionizing%20radiation](https://radiopaedia.org/articles/tissue-weighting-factor#:~:text=The%20tissue%20weighting%20factor%20(W,the%20body%20to%20ionizing%20radiation)

CDC, 2021. Radiation in Healthcare: Imaging Procedures. In: *cdc.gov* 1600 Clifton Road Atlanta, GA 30329-4027 USA [cit. 2024–04–11]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/nceh/radiation/ionizing.htm>

ČESKO. Vyhláška č. 307/2002 Sb., Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010–2024 [cit. 2024–04–18]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-307>

ČESKO. Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010–2024 [cit. 22. 4. 2024]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>

ČESKO. Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010–2024 [cit. 2024–04–11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>

DOZIMETRIE.CZ 2024. Celotělová dozimetrie [on-line] [cit. 2024–02–02] Dostupné z: <https://www.dozimetrie.cz/dozimetrie/1/celotelova-dozimetrie>

DRÁBKOVÁ, Alena, 2006. Historie radiační ochrany v ČR, 10 let Státního ústavu radiační ochrany. Státní ústav radiační ochrany, 83 s. ISBN 80-239-6594-8

EKENDAHL, Daniela, 2013. Stanovení $H^*(10)$ pomocí integrálních dozimetrů v rámci RMS. In: *suro.cz* [online]. Bartoškova 28, 140 00 Praha 4. [cit. 2024–04–10]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/files/2021-03/Methodika%20M3%20stanoveni%20H10%20pomoci%20int%20doz%20v%20RMS.pdf>

FRANE, Nicholas a Adam BITTERMAN, 2023. Radiation safety and protection. In: *ncbi.nlm.nih.gov*. [online]. Copyright © 2024, StatPearls Publishing LLC. [cit. 2024–04–09]. Dostupné z:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557499/#:~:text=There%20are%20three%20basic%20principles,radiation%20for%20procedures%20or%20treatments>

CHEN, Man Yu, 2014. Radiation Protection and Regulations for the Nuclear Medicine Physician. *Seminars in Nuclear Medicine* [online]. New York Stratton, **44**(3), 215-228 [cit. 2023-11-26]. ISSN 00012998. Dostupné z: doi:10.1053/j.semnuclmed.2014.03.005

ICRP, 2024. Main commision. In: icrp.org [online]. Ottawa, Kanada. [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: https://www.icrp.org/icrp_group.asp?id=6

ICRP, 2024. Main commision. In: icrp.org [online]. Ottawa, Kanada. [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: <https://www.icrp.org/page.asp?id=9>

JAIN, Sunil. 2021. Radiation in medical practice & health effects of radiation: Rationale, risks, and rewards. *Journal of Family Medicine and Primary Care* [online]. Mumbai : Medknow, roč. 10, č. 4. [cit. 2024-02-01]. ISSN 2249-4863. Dostupné z: https://doi.org/10.4103/jfmpe.jfmpe_2292_20.

KOHUTOVÁ, R. et al., 2015. Radiační ochrana zdravotnického personálu na PET/CT pracovištích. *Nukleární medicína* [online] Česká lékařská společnost Jana Evangelisty Purkyně, Sokolská 31, 120 26 Praha 2, 2015(4), 28-33 [cit. 2024-04-20]. 1805-1146

KUBINYI, J. et al., 2018. Principy radiační ochrany v nukleární medicíně. Praha: Grada. 308 s. ISBN 978-80- 271-2162-5

KUČEROVÁ, Lenka. Vnější a vnitřní kontaminace radioaktivními látkami (výukový program). Č. Bud., 2010. bakalářská práce (Bc.). JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. Zdravotně sociální fakulta. Vedoucí práce Havránková Renata.

MALÍKOVÁ, Hana a kol., 2022. Základy radiologie a zobrazovacích metod. Karolinum, 120s. ISBN 978-80-246-5344-0

MARKOVÁ, Andrea. Současná praxe radiační ochrany zdravotnických pracovišť se zdroji ionizujícího záření ve vztahu k její optimalizaci a legislativě České republiky. Univerzita Pardubice, 2016. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta zdravotnických studií. Vedoucí práce Nechvíl Karel.

NEČAS, Emanuel, 2021. Obecná patologická fyziologie. Karolinum, 312s. ISBN: 978-80-246-4633-6

- RDS 2024. Osobní elektronický dozimetr DMC 3000 [on-line] [cit. 2024–02–02] Dostupné z: <https://rdsys.cz/dmc-3000/>
- ROSINA, J. et al., 2021. Biofyzika. Praha: Grada, 304s. ISBN: 978-80-271-2526-5
- SABOL, J. et al., 2011. Současný systém veličin a jednotek v radiační ochraně. In.: *iaea.org* [online]. ČVUT, Nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno [cit. 2024–02–02] Dostupné z: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/43/130/43130864.pdf
- SABOL, Jozef, 2007. Aktuální problémy spojené s důsledným používáním veličin a jednotek v radiační ochraně. In.: *inis.iaea.org* [online]. Fakulta biomedicínského inženýrství ČVUT Praha. [cit. 2024–04–10]. Dostupné z: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/43/124/43124146.pdf
- SEIDL, Zdeněk et al., 2012. Radiologie pro studium i praxi. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4108-6
- SÚJB, 2024. Používání rentgenů – lékařské ozáření. In.: *sujb.cz* [online]. Senovážné náměstí 9, Praha 1. [cit. 2024–02–02]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/pouzivani-rentgenu-lekarske-ozareni>
- SÚJB, 2024. Stručný přehled biologických účinků záření. In.: *sujb.cz* [online]. Senovážné náměstí 9, Praha 1. [cit. 2024–04–18]. Dostupné z: <https://sujb.gov.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologickych-ucinku-zareni/#:~:text=Deterministické%20účinky%3A%20Jde%20o%20účinky,ozáření%20nebo%20radiační%20záněť%20kůže>
- SÚJB, 2024. Úvod. In.: *sujb.cz* [online]. Senovážné náměstí 9, Praha 1. [cit. 2024–04–09]. Dostupné z: <https://sujb.gov.cz/o-sujb/uvod>
- SÚRO, 2024. Historie. In.: *suro.cz* [online]. SÚRO, v.v.i., Praha 4, 2024 [cit. 2024–04–09]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/historie>
- SÚRO, 2024. Principy radiační ochrany. In.: *suro.cz* [online]. SÚRO, v.v.i., Praha 4, 2024 [cit. 2024–04–22]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/principy-radiacni-ochrany>
- SÚRO, 2024. Úvod. In.: *suro.cz* [online]. SÚRO, v.v.i., Praha 4, 2024 [cit. 2024–02–02]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/index.php/cz>

SÚRO, 2024. Základní pojmy. In.:*suro.cz* [online]. SÚRO, v.v.i., Praha 4, 2024 [cit. 2024–02–02]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/zakladni-pojmy>

ŠIMONOVÁ, Gabriela a Roman LIŠČÁK, 2011. Stereotaktická radiochirurgie a radioterapie gama nožem. *Onkologie* [online]. Solen, s.r.o, 5(2), 77-82 [cit. 2024–04–15]. ISSN 1803-5345

ŠINKOROVÁ, Zuzana a Leoš NAVRÁTIL, 2014. Biomedicínská detekce ionizujícího záření: organizace zdravotnické péče po zevní kontaminaci radionuklidy. Praha: České vysoké učení technické v Praze, ISBN 978-80-01-05626-4.

ULLMANN, V., 2005. Biologické účinky ionizujícího záření, Radiační ochrana. [online]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm>

ULLMANN, V., 2005. Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření. [online]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/Fyzika-NuklMed.htm>

WHO, 2023. Ionizing radiation and health effects. In:*who.int* © Copyright World Health Organization (WHO), 2021. All Rights Reserved [cit. 2024–04–09]. Dostupné z: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-and-health-effects>

7 PŘÍLOHY

PŘÍLOHA A – Záznam o monitorování dávek IZ na pracovištích radiodiagnostického oddělení	50
---	----

PŘÍLOHA A – Záznam o monitorování dávek IZ na pracovištích radiodiagnostického oddělení

*Záznam o monitorování dávek IZ
na pracovištích radiodiagnostického oddělení*

Jméno pracovníka			
Datum (r. 2024)	Pracoviště	Hlavní zdroj ionizujícího záření při výkonu práce	Dávka za směnu [μSv]

Pracoviště:

D1/D2/D3/LŮŽKA/ARO/SKIA/MAMO/COS1/COS2/COS3/PETCT/CT1/CT2/MR1/MR2/AG/
SONO1

Zdroj IZ: CT/RF=radiofarmaka/rentgen 0 = bez IZ

V případě potřeby kontaktujte: Alena Petržílková: st65381@upce.cz, +420 775 488 330, nebo

Dr. Pavel PEŠAT, dohlížející osoba RA, tel. +420 723 639 133