



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

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

Radiační ochrana na oddělení nukleární medicíny

DIPLOMOVÁ PRÁCE

STUDIJNÍ PROGRAM

OCHRANA OBYVATELSTVA

Autor: Bc. Eva Antonínová

Vedoucí práce: Mgr. Zuzana Freitinger Skalická, Ph.D.

České Budějovice 2019

Abstrakt

Praxe na oddělení nukleární medicíny vyžaduje spojení radiační ochrany s péčí o pacienty a bezpečností práce u radiačních pracovníků. Nukleární medicína zahrnuje manipulaci s radioaktivními látkami, které mohou způsobit vnější nebo vnitřní ozáření pracovníků. Velikost expozice závisí na druhu radionuklidu, velikosti energie, na pracovní činnosti, kterou pracovník vykonává v rámci oddělení. Veřejnost může být vystavena vnějšímu i vnitřnímu ozáření.

Tématem diplomové práce je analýza současného stavu radiační ochrany na oddělení nukleární medicíny dle nové legislativy. Součástí práce je zhodnocení monitorování pracovníků a pacientů.

Pro výzkum monitorování pracovníků bylo zvoleno 14 radiačních pracovníků zaměstnaných na oddělení nukleární medicíny Nemocnice Znojmo p.o. Byly zhodnoceny dávky naměřené na filmovém a prstovém dozimetru. Pro monitorování pacientů bylo ze 139 pacientů randomizací vybráno 20 pacientů vyšetřených metodou statické scintigrafie kost. Z 58 pacientů bylo randomizací vybráno 20, kteří byli vyšetřeni metodou dynamické scintigrafie ledvin. Na závěr byla provedena SWOT analýza. Z naměřených hodnot efektivní a ekvivalentní dávky u radiačních pracovníků byla zjištěna minimální a maximální dávka. Pomocí PC programu Excel byl stanoven průměr a pomocí Pearsonova korelačního faktoru byla ověřena závislost dávek pracovníků na jejich počtu. Data byla dána do tabulek a graficky zpracována.

Výsledky výzkumu průměrné roční efektivní dávky z celotělového ozáření u radiačních pracovníků se pohybovaly v rozmezí od 1,35 do 1,73 mSv a měsíční byla v rozmezí od $0,1 \pm 0,65$ mSv. Průměrná roční ekvivalentní dávka $H_p(0,07)$ se pohybovala od 1,15 do 117,68 mSv. Nejnižší měsíční $H_p(0,07)$ byla 0,07 mSv a nejvyšší byla 19,92 mSv. U pacientů vyšetřených SSK byly aplikované dávky o 4% nižší než diagnostická referenční úroveň a dávka u pacientů vyšetřených DSSL byla o 22% menší než DRÚ.

Závěrem bylo zjištěno, že hodnoty z osobních dozimetrů se pohybovali pod limitem a u prstových dozimetrů ve dvou případech se dostaly hodnoty nad vyšetřovací úroveň. U ostatních pracovníků se hodnoty ve sledovaném období pohybovaly

pod monitorovací úrovní. Aplikované dávky radiofarmak byly u sledované skupiny pacientů nižší než stanovené diagnostické referenční úrovně. Na základě prezentovaných výsledků lze konstatovat, že radiační ochrana je na oddělení nukleární medicíny Nemocnice Znojmo p.o. zajištěna v souladu s platnou legislativou.

Práce bude poskytnuta pro potřeby oddělení nukleární medicíny Nemocnice Znojmo p.o.

Klíčová slova

Radiační ochrana, optimalizace, monitorování, diagnostické referenční úrovně, nukleární medicína, efektivní dávka, ekvivalentní dávka

Abstract

The practice in the department of nuclear medicine requires the involvement of radiation protection with care of patients and occupational safety of radiation workers. Nuclear medicine involves the handling of radioactive substances that may cause external or internal irradiation of workers. The amount of the dose depends on the type of radionuclide, the amount of energy, the work performed by the worker within the department. Patients or staff may be exposed to the external or internal irradiation.

The topic of this thesis is the analysis of the current state of radiation protection in the department of nuclear medicine according to the new legislation. The part of the work is the evaluation of monitoring of workers and patients.

14 radiation workers employed in the Department of Nuclear Medicine of Znojmo Hospital f.o. were selected for the research of workers monitoring. Doses measured on the film and finger dosimeters were evaluated. 20 patients examined by static bone scintigraphy were selected randomly of the 139 patients for monitoring. 20 patients examined by dynamic renal scintigraphy were selected randomly of the 58 patients. Finally, a SWOT analysis was performed. Measured values of effective and equivalent doses at radiation workers were found to be the minimum and maximum dose. Using the Excel PC program, the dose average was determined and Pearson correlation factor checked the dependence of workers' doses on their number. Data were given in the tables and graphically processed.

The research results of the average annual effective dose of total body irradiation at radiation workers ranged from 1.35 to 1.73 mSv, monthly ranged from 0.1 ± 0.65 mSv. The average annual equivalent dose of Hp (0,07) ranged from 1.15 to 117.68 mSw. The lowest monthly Hp (0,07) was 0.07 mSw and the highest one was 19.92 mSw. At SSK-treated patients the doses applied were 4% lower than diagnostic reference level and the dose at DSSL-treated patients was 22% less than DRU.

In conclusion, it was found that the values from personal dosimeters were below the limit and in the case of finger dosimeters in two cases the values were above the examination level. The values of other workers were below the monitoring level during the monitored period. The applied doses of radiopharmaceuticals were less in the

observed group of patients than the established diagnostic reference level. On the basis of the presented results it can be stated that radiation protection is in the Department of Nuclear Medicine of Znojmo Hospital f.o, secured in accordance with the applicable legislation.

The work will be provided for the needs of the Department of Nuclear Medicine of Znojmo Hospital f.o.

Keywords:

Radiation protection, optimization, monitoring, diagnostic reference levels, nuclear medicine, effective dose, equivalent dose

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47 b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové 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 kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 12.8.2019

.....

Eva Antonínová

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala Mgr. Zuzaně Freitinger Skalické, Ph.D. za odborné a vstřícné vedení diplomové práce, cenné rady a připomínky. Za poskytnutí cenných informací k této práci také děkuji Ing. Janu Vokurkovi.

Obsah

ÚVOD.....	13
1 Teoretická část	14
1.1 <i>Radioaktivita.....</i>	14
1.1.1 Základní charakteristiky radionuklidů	15
1.1.2 Typy radioaktivní přeměny.....	16
1.2 <i>Ionizující záření</i>	18
1.3 <i>Zdroje ionizujícího záření.....</i>	19
1.4 <i>Vliv ionizujícího záření na lidský organismus</i>	21
1.5 <i>Využití ionizujícího záření v nukleární medicíně.....</i>	23
1.6 <i>Radiační ochrana.....</i>	25
1.6.2 Legislativa.....	25
1.6.3 Principy radiační ochrany	27
1.6.4 Bezpečnost práce s otevřenými zářiči.....	31
1.7 <i>Dokumentace oddělení nukleární medicíny.....</i>	33
1.7.2 Program zajištění radiační ochrany.....	34
1.7.3 Optimalizace radiační ochrany	34
1.7.4 Radiologické události	36
1.7.5 Analýza a hodnocení radiační mimořádné události.....	41
1.7.6 Program zajištění radiační ochrany pracovní instrukce.....	43
1.7.7 Vymezení kontrolovaného pásma.....	43
1.7.8 Vymezení sledovaného pásma.....	44
1.7.9 Program monitorování	45
1.7.10 Vnitřní havarijní plán.....	54
2 Cíl práce a výzkumná otázka.....	57
3 Metodika výzkumu	58
3.1 <i>Monitorování pracovníků</i>	58
3.1.1 Osobní monitorován filmovým dozimetrem.....	58

3.1.2	Osobní monitorování prstovým dozimetrem	60
3.1.3	Osobní monitorování	62
3.2	<i>Monitorování pacientů</i>	62
4	Výsledky	65
4.1	<i>Monitorování pracovníků</i>	65
4.1.1	Osobní monitorován filmovým dozimetrem.....	65
4.1.2	Osobní monitorování prstovým dozimetrem	70
4.1.3	Osobní monitorování	73
4.2	<i>Monitorování pacientů</i>	76
5	Diskuze	81
6	Závěr	89
7	Seznam použitých zkratk	90
8	Seznam použitých zdrojů	92
9	Seznam grafů	96
10	Seznam tabulek	97
11	Seznam obrázků	98
12	Seznam příloh	99

ÚVOD

Zdroje ionizujícího záření se v medicíně používají od začátku 20. století k diagnostickým nebo terapeutickým účelům. Počáteční aplikace radioaktivních zdrojů mnohdy vedly ke vzniku nežádoucích účinků kvůli nedostatečné znalosti působení ionizujícího záření na živý organismus. V průběhu vývoje biologických poznatků vlivu záření na organismus člověka dochází k zvyšování bezpečnostních norem radiační ochrany, zlepšení péče o pacienty a zvýšení bezpečnosti práce pro pracovníky pracujícími se zdroji ionizujícího záření.

Praxe na oddělení nukleární medicíny vyžaduje dodržování radiační ochrany při péči o pacienty a bezpečnosti práce u radiačních pracovníků. Nukleární medicína zahrnuje manipulaci s radioaktivními látkami, které mohou způsobit vnější nebo vnitřní ozáření pracovníků. Velikost expozice závisí na druhu radionuklidu, na pracovní činnosti, kterou pracovník vykonává v rámci oddělení. Člověk může být vystavena vnějšímu ozáření od pacienta a vnitřnímu při znečištění radioaktivními tělními tekutinami.

Tématem diplomové práce je analýza současného stavu radiační ochrany na oddělení nukleární medicíny Nemocnice Znojmo p.o. Součástí práce je zhodnocení monitorování pracovníků a pacientů.

1 Teoretická část

Nukleární medicína je klinický obor medicíny, který se zabývá vyšetřováním procesů látkové výměny v lidském těle s využitím radioaktivních látek. Při vyšetření se zobrazuje nejen tvar a velikost orgánů, ale i funkce orgánů.

1.1 Radioaktivita

Základním kamenem hmotného světa je atom. Atom se skládá z jádra a elektronového obalu. V atomovém jádře se nachází kladně nabitý proton a elektricky neutrální neutron, je zde soustředěna téměř veškerá hmotnost atomu, proto počet protonů a neutronů udává nukleonové číslo neboli hmotnostní číslo A . Protonové neboli atomové číslo Z udává počet protonů v jádře a je rovno počtu negativně nabitých elektronů, jež tvoří elektronový obal jádra (Kolektiv autorů, 2013).

Stabilitu jádra zajišťují jaderné (vazebné) síly. Pokud není vazebná síla dostatečná, aby udržela jádro, dochází k přeměně, která činí jádro nestabilním.

Radioaktivita je samovolná přeměna nestabilního jádra jednoho prvku na jádro jiného prvku, při tomto jevu dochází k uvolnění velkého množství energie ve formě ionizujícího záření. Dochází vlastně k rozpadu jader, při kterém se mění počet protonů a neutronů v jádře a tím se mění chemický prvek na jiný (Lněničková L, 2014; Ullmann V, 2009).

Známe dva druhy radioaktivity:

- Přírozenou – všechna nestabilní těžká jádra se samovolně rozpadají na jádra lehčí a stabilnější.
- Umělá – vzniká při jaderné reakci v jaderných reaktorech, jinak má stejné zákonitosti jako přirozená radioaktivita.

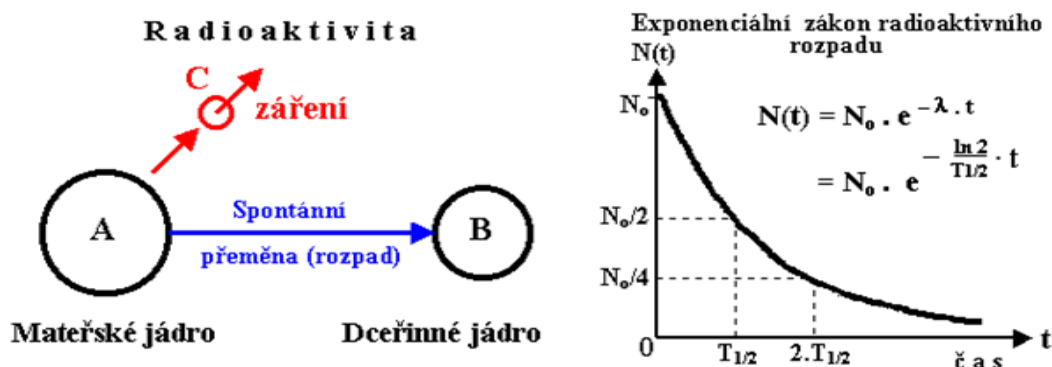
Charakteristické vlastnosti radioaktivního rozpadu:

- Mění chemickou podstatu látky.
- Je nezávislý na vnějších podmínkách.
- Je provázen emisí tří druhů záření, která působí na hmotu (Kolektiv autorů, 2013).

1.1.1 Základní charakteristiky radionuklidů

Mezi základní charakteristiky radionuklidu patří:

- Poločas rozpadu ($T^{1/2}$) – to je doba, za kterou se původní počet jader radionuklidu rozpadne na polovinu.
- Druhy radioaktivních přeměn – α přeměna, přeměna β^+ , přeměna β^- , K-záchyt, přeměna γ , Izomerní přechod.
- Energie emitovaných částic (Filip J, 2012).



Obrázek 1 Radioaktivita (Ullmann V, 2002).

Přeměna jadra je nahodilý jev, který probíhá s určitou pravděpodobností (viz obrázek č. 1). U velkého množství radioaktivních přeměn lze vypočítat kolik jader se rozpadne – rozpadovým zákonem:

$$\Delta N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Počet částic v čase $t = N$ a N_0 je počáteční počet částic v čase $t = 0$, lambda λ je rozpadová konstanta, e je Eulerovo číslo (přirozený logaritmus, $e=2,71$). Množství částic (jader) radionuklidu klesá exponenciálně s časem (Freitinger Skalická Z., et al, 2006).

S poklesem radioaktivních jader klesá i radioaktivita radionuklidu – radioaktivní přeměna:

$$\Delta A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

A je množství radioaktivity v čase t , A_0 je množství aktivity v čase $t=0$, e je přirozený logaritmus a λ je rozpadová konstanta. Pro radioaktivitu se měří v jednotce Becquerel, běžně v praxi se používají násobky kilo KBq, mega MBq, giga GBq. Jednotka popisuje intenzitu záření radionuklidového zdroje.

S radioaktivním rozpadem úzce souvisí i poločas přeměny, který je dán vztahem:

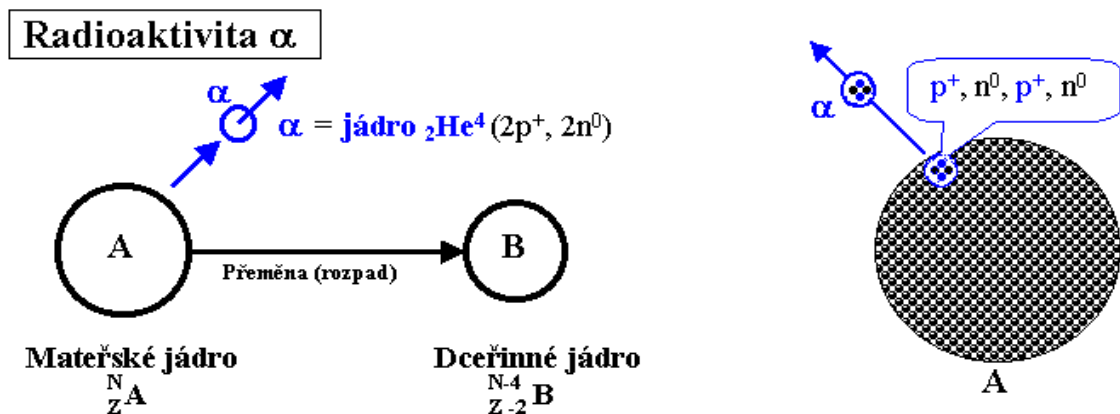
$$T = \ln 2 / \lambda$$

Poločas přeměny udává určitou dobu T , za kterou se zmenší hmotnost radionuklidu na polovinu. Rozpadová konstanta λ popisuje rychlost přeměny radionuklidu a udává pokles jader za 1 sekundu (Kolektiv autorů, 2013).

1.1.2 Typy radioaktivní přeměny

Radioaktivní přeměny dělíme podle záření, které radionuklid emituje:

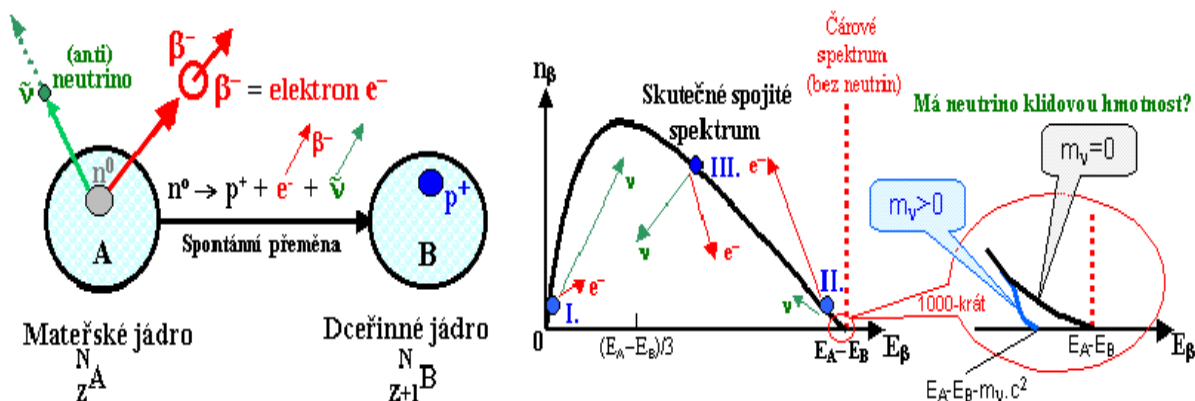
Přeměna alfa (α) – jedná se o radioaktivní přeměnu, v níž se jádro rozpadá emisí alfa částic. Jádro ztratí dva protony a dva neutrony, přičemž hmotnostní číslo jádra klesne o čtyři a protonové číslo se sníží o dvě (Kolektiv autorů, 2019).



Obrázek 2 Radioaktivita alfa (Ullmann V, 2012)

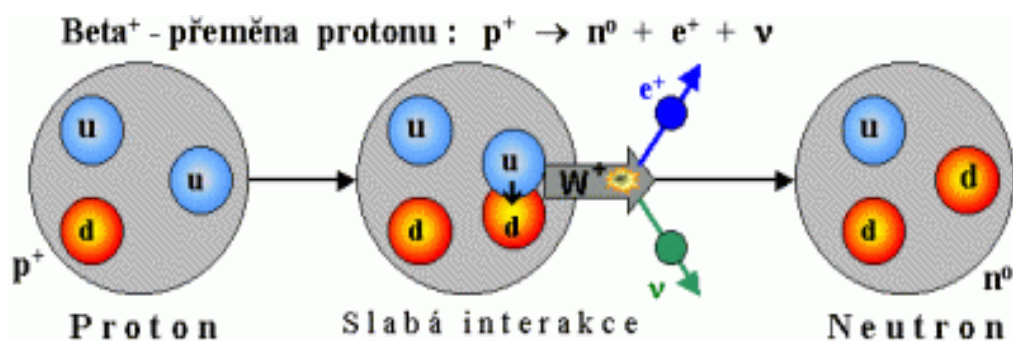
Přeměna beta minus (β^-) - nastane při změně poměrů protonů a neutronů, poměr je velmi vysoký, a to činí jádro nestabilní. Během procesu se neutron změní na proton, elektron a antineutrino. Hmotnostní číslo prvku se nemění a protonové číslo se zvětší o jedno. Prvek se v periodické soustavě posune o jedno místo vpravo (Kolektiv autorů, 2019; Kolektiv autorů 2013).

Radioaktivita β^-



Obrázek 3 Radioaktivita beta minus (Ullmann V, 2002)

Přeměna beta plus (β^+) - je proces, při které se přemění proton na neutron, pozitron a neutrino, jak nám znázorňuje obrázek č. 4. Prvek nezmění své hmotnostní číslo, ale atomové číslo se zmenší o jedno, a to posune prvek v periodické soustavě prvků o jedno místo vlevo. Tento druh přeměny se nejčastěji vyskytuje u umělých zdrojů (Kolektiv autorů, 2013; Ullmann V, 2002).

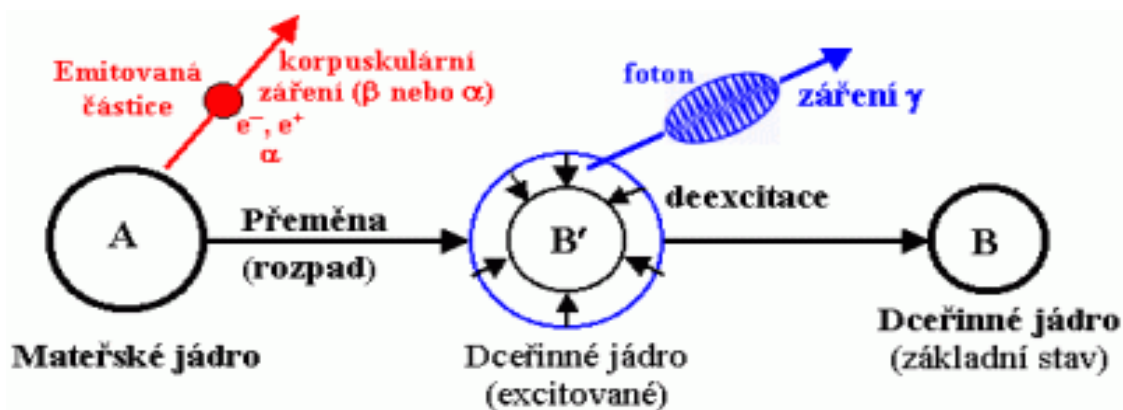


Obrázek 4 Přeměna beta plus (Freitinger Skalická Z, et al, 2006)

Elektronový záchyt (K-záchyt) – vzniká, pokud jádro obsahuje o jeden proton více a tím je narušena jeho stabilita. Zachytí jeden elektron v K – orbitu, který absorbuje. Proton se přemění na neutron a K – orbital se zaplní elektronem z vyšší hladiny orbitu, přebytečná energie se vyzáří. Hmotnostní číslo se nezmění a atomové se zmenší o jedno. Prvek se posune o jedno místo do leva (Kolektiv autorů, 2013).

Přeměna gama (γ) – záření gama má velmi krátkou vlnovou délku, velkou energii a je pronikavější než záření alfa a beta. Jedná se o elektromagnetické záření.

U radioaktivních prvků dochází k přeměně mateřského jádra na excitované dceřiné jádro. Do nižšího energetického stavu se excitované dceřiné jádro dostane deexcitací, při které přebytečnou energii vyzáří v podobě záření gama viz obrázek č.5 (Freitinger Skalická Z, et al, 2006).



Obrázek 5 Přeměna gama (Freitinger Skalická Z, et al, 2006)

1.2 Ionizující záření

Záření je děj, při kterém pomocí mikročástic nebo fyzikálních polí dochází k přenosu energie prostorem. Záření vysoké energie je schopno ionizovat atomy molekul v látce nebo v prostředí a při průchodu vytváří reaktivní ionty. Energie ionizujícího záření musí být větší než vazebná energie atomu, aby došlo k uvolnění elektronu z obalu atomu a dalším interakcím elektronu s jinými atomy či molekulami. Nabité částice nebo fotony interagují s prostředím formou excitace nebo ionizace. Excitace je velmi nestabilní stav obalového elektronu. Dochází k předání jen malé části energie, elektron je vybuzen na vyšší energeticky náročnější orbital téhož atomu a vzápětí vybuzený elektron deexcituje na původní dráhu, přičemž vyzáří svoji přebytečnou energii (Podzimek F, 2013).

Ionizující záření dělíme na:

- Elektromagnetické (fotonové) – rentgenové záření (X); gama záření (γ).
- Korpulární – elektronové záření (β^-); pozitronové záření (β^+); jádra helia (α záření); neutronové záření (0n); urychlené nabitě částice (Ullmann V, 2009).

Podle způsobu ionizace dělíme IZ na:

- Přímou ionizující – částice, které mají dostatek kinetické energie, aby mohly vyrazit elektron z atomového obalu.
- Nepřímou ionizující – je tvořeno nenabitými částicemi, které samy o sobě nejsou schopny ionizace, musí nejdříve předat svoji energii při interakci s okolním prostředím a uvolní sekundárně přímo ionizující nabitě částice (Kolektiv autorů, 2019).

Rozdělení IZ podle hustoty ionizace:

- Řídce ionizující – 100 iontových párů na 1μm tkáně (záření X, záření γ , záření β).
- Hustě ionizující – 2000 iontových párů na 1μm tkáně (záření α , záření 0n , záření ^+p) (Klener V, 2000; Kolektiv autorů, 2013).

1.3 Zdroje ionizujícího záření

Zdroje ionizujícího záření mohou být přírodní nebo umělé. Přírodní záření pochází z okolního prostoru, ze Země, z potravin. Umělé zdroje jsou například: rentgenka, radiofarmaka, urychlovače, jaderné reaktory. Zdrojem IZ je každý přístroj, předmět, látka nebo preparát, jenž emituje ionizující záření. Během života je každý člověk vystaven ionizujícímu záření, buď zdroji vytvořenými lidmi (umělým ZIZ) nebo je vystaven IZ ze zdroje nezávislého na lidské činnosti (přírodního ZIZ). Člověk je vystaven IZ z přírodních a umělých zdrojů 83 % ku 17 %.

Přehled základních složek přírodního a umělého ozáření populace:

Přírodní zdroje:

- Radon a jeho dceřiné produkty tvoří 49 % přírodního ozáření. Radon je radionuklid patřící do Uranové rozpadové řady, který vzniká rozpadem ^{226}Ra . Zdrojem radonu je nejen podlaha staveb, ale i stavební materiál, spodní vody atd. Pro člověka jsou škodlivé rozpadové produkty ^{86}Rn (radonu), které člověk vdechuje ve formě aerosolu a produkty jsou zachycené v plicních sklípcích, samotný radon je vydechnut.
- Kosmické záření tvoří 14 % přírodního ozáření. Vysokoenergetické záření pocházejícího z kosmického prostoru, dopadá na zemský povrch ve formě

spršek. Dávka záření má lineární přímo úměrný vztah s nadmořskou výškou, její nárůst je velmi významný.

- Záření gama, pocházející ze zemské kůry a patřící do přírodního ozáření, tvoří 17 %. Vzniká rozpadem radionuklidů přírodních rozpadových řad např. ^{40}K – který je přítomen prakticky všude, nejvíce ve vyvřelých horninách a nejnižší obsah je ve vápenci.
- Vnitřní ozáření je obsaženo v 11 %, jedná se ozáření intestinální nebo inhalační nejčastěji kontaminanty ^{40}K a ^{14}C , které jsou obsaženy v atmosféře a obsah je doplňován kosmickým zářením. Ostatní radionuklidy obsažené v potravě jsou méně významné (SÚRO, 2019).

Nejvýznamnějším zdrojem z pohledu ozáření populace je radon a jeho rozpadové produkty, které jsou vdechovány. Celosvětová průměrná roční hodnota ozáření způsobená přírodním pozadím je $E = 2,4 \text{ mSv}$ a v ČR je průměrná hodnota efektivní dávky $3,5 \text{ mSv}$ (SÚRO, 2019).

Umělé zdroje:

- Lékařské ozáření v rozvinutých zemích činí 93% ozáření populace v souvislosti s diagnostikou a léčbou. Největší procentuální část má rentgenová diagnostika, terapie a nukleární medicína. Vzhledem k vysokému procentu je zde nejširší pole pro snižování ozáření populace.
- Jaderná energetika zastává pouze 1 % ozáření obyvatelstva běžným provozem.
- Profesionální ozáření tvoří 2 %, týká se osob pracujících se zdroji IZ.
- Radioaktivní spád z jaderných pokusů a nehod tvoří 2% ozáření populace.
- Další zdroje tvoří 2 % zahrnují např. TV, monitory PC, drobné zdroje, výrobky s obsahem radioaktivních látek.

V ČR je průměrná dávka expozice z lékařského ozáření na jednoho člověka $1,3 \text{ mSv}$ (Ullmann V, 2009).

Zdroje IZ můžeme rozdělit podle principu a mechanismu vzniku záření, na:

- Elektronické zdroje – ionizující záření vzniká elektromagnetickým urychlením částic. Jsou to například rentgenka (brzdné záření X), urychlovače částic.

- Radioaktivní zdroje – ionizující záření vzniká při radioaktivních přeměnách jader (α , β , γ , n^0 záření). V praxi známe radioaktivní zářiče cesiové, kobaltové, brachy-terapeutické zářiče, radionuklidy a radiofarmaka, jaderné reaktory atd.
- Záření vesmírného původ – vznikají vysoce energetické procesy, termonukleární reakce, ionizace plynů, rázové vlny apod. Při těchto procesech vzniká kosmické záření (Ullmann V, 2009).

1.4 Vliv ionizujícího záření na lidský organismus

Ionizující záření procházející živým organismem vytváří vlivem své velké energie reaktivní ionty, které mění chemické vlastnosti látek a vedou k poškození živého organismu. Absorbovaná energie záření způsobuje excitace a ionizace atomů nebo molekul (Kozubek B, 2000).

Míru rizika ovlivňuje typ buňky, rychle dělící se buňky (např. pohlavní buňky, krvetvorné buňky) jsou senzitivnější na ionizující záření, než buňky dále nedělitelné (např. svalové buňky, nervové buňky). U věkově mladších jedinců je riziko vzniku stochastických účinků vyšší než u starších. Vlivem rychlejšího dělení buněk u dětí je riziko přibližně sedmkrát vyšší než u dospělého člověka. Riziko ovlivňuje i aplikovaná dávka ionizujícího záření (Pejchal J, 2013). Účinky ionizujícího záření mohou probíhat na různých biologických úrovních, od molekulární, přes buněčnou a tkáňovou úroveň, až na úroveň organismu (Hušák V., 2009)

Biologické účinky IZ na molekulární úrovni jsou velmi významné svým působením na DNA (kyselina deoxyribonukleová). Může dojít k přímému účinku záření, kdy je zasažena DNA přímo, jedná se o fyzikální stádium. Ve stádiu fyzikálně chemickém nastává sekundární disociace molekul. V chemickém stádiu dochází k radiolýze vody a vznikají volné radikály, jež závažně poškozují DNA. V biologickém stádiu se začínají projevovat změny od subcelulární úrovně přes buněčnou, orgánovou, až po celý organismus (Kupka, 2007).

Prostřednictvím volných radikálů dochází k poškození biologických struktur, především lipidů za vzniku lipidových radikálů. Vzniklý radikál poškozuje membránu, tato změna má za následek omezení či ztrátu biologické funkce, což může být letální porucha (Kuna, 2005).

Biologické účinky IZ se dělí zpravidla na:

Přímý účinek – zahrnuje fyzikální a fyzikálně-chemický děj, vedoucí k metabolickým a genetickým změnám buněčných struktur. Přímý účinek bývá nazýván zásahovou teorií, jejíž podstatou je fyzikální přenos energie. Týká se většinou buněk obsahujících málo vody (Hall, 2006).

Nepřímý účinek – způsobují především volné radikály a ostatní produkty, které vznikly při radiolýze vody a působí biologicky na molekuly a buněčné soustavy (Klener V, 2000). Nepřímý účinek (radikálová teorie) bývá nejčastěji u buněk s vysokým obsahem vody a dochází k chemickému přenosu energie. Volné radikály charakterizuje volný elektron, který se vyznačuje svojí vysokou reaktivitou, a při reakci s DNA poškozuje funkce buňky, nebo způsobí její smrt. Většina poškození v souvislosti s IZ bývá nepřímým účinkem (Saha G. B., et al, 2013).

Poškození buňky způsobují oba procesy s různým účinkem v závislosti na dávce, druhu IZ a metabolickém stavu organismu. U dělicích se buněk dochází vlivem radiace k dočasnému zastavení proliferace, reprodukční smrti nebo k okamžité smrti buňky (Kogel A. J., 2009). Konečným výsledkem přímého a nepřímého účinku, je vývoj biologických a fyziologických změn, které se mohou projevit po několika sekundách nebo až po desítkách let. Genetické a epigenetické změny se mohou podílet na vývoji těchto změn (Koturbash I., 2008).

Biologické účinky IZ dělíme do dvou skupin: na deterministické a stochastické účinky.

Deterministické účinky

Jsou účinky, k nimž dochází v důsledku smrti buněčné populace, jejichž závažnost vzrůstá s dávkou od určitého dávkového prahu, pod tímto prahem se účinek neprojeví. Vyznačují se akutním lokálním poškozením, poruchou krvetvorby, kataraktou, akutní nemocí z ozáření, sterilitou, poškozením embrya aj. Deterministické účinky jsou charakterizovány dávkovým prahem, lineárně s dávkou roste závažnost poškození, účinek se projevuje krátce po ozáření ve dnech až týdnech (kromě zákalu čočky). Pokud se dávka ozáření pohybuje pod prahem tohoto účinku – deterministické poškození nenastane (Kupka K., et al, 2007).

Stochastické účinky

Jsou pravděpodobnostní účinky, u kterých neexistuje prahová dávka. Již nízká dávka může poškodit DNA, s rostoucí dávkou se zvyšuje pravděpodobnost změn, ale nezvyšuje se závažnost. U každého jedince se účinky projevují jinak a nelze určit, zdali došlo k poškození vlivem ozáření. (Urbánek J., 2000) Stochastické účinky jsou podmíněné mutacemi, vyznačují se vznikem zhoubných novotvarů a genetickým (dědičným) poškozením (Kupka K., et al, 2007).

1.5 Využití ionizujícího záření v nukleární medicíně

V medicíně se setkáváme s obory, které využívají umělé zdroje ionizujícího záření v oblasti diagnostiky a terapie. Nukleární medicína je klinický obor, který se zabývá diagnostikou a léčbou otevřenými radioaktivními zářiči. Posuzuje klinický stav pacienta, funkci a morfologii orgánů a tkání. Obor NM používá k diagnostice a léčbě otevřené zářiče v podobě radiofarmak aplikované in vivo. Na některých pracovištích se provádí i laboratorní diagnostika in vitro. K zobrazovacímu vyšetření se používají moderní přístroje SPECT, PET, nebo hybridní přístroje SPECT/CT, PET/CT a PET/MR. Na ONM se používá IZ v podobě otevřených i uzavřených zářičů. Uzavřeným zářičem jsou např. etanoly pro kalibraci měřících přístrojů; CT přístroj, který je součástí hybridních přístrojů SPECT a PET.

V nukleární medicíně všechny radionuklidy pro in vivo i in vitro vyšetření jsou otevřenými zářiči. Na ONM v Nemocnici Znojmo p.o. se používají k vyšetření a k terapii otevřené zářiče (viz tabulka č.1).

Diagnostické zářiče			
Izotop	Fyzikální poločas rozpadu	Způsob rozpadu	Vyzařovaná energie (KeV)
^{81m} Kr	13 sec	γ	190
^{99m} Tc	6,05 hod.	γ	140
¹²³ I	13 hod.	γ	160
²⁰¹ Tl	73,5 hod.	γ	140; 170
⁶⁷ Ga	78 hod.	γ	90; 180; 300
⁵¹ Cr	27,8 dne	γ	320
¹¹¹ In	2,8 dne	γ	170; 250
¹³¹ I	8,05 dne	γ	360; 640
		β ⁻	330, 610
Terapeutické zářiče			
Izotop	Fyzikální poločas rozpadu	Způsob rozpadu	KeV
¹⁵³ Sm	47 hod.	γ	70; 110
		β ⁻	640; 700; 800
⁹⁰ Y	64,5 hod.	β ⁻	2,27 MeV
⁸⁹ Sr	54 dnů	β ⁻	1,16 MeV
¹⁸⁶ Re	90 hod.	γ	140
		β ⁻	0,94; 1,07 MeV

Tabulka 1 Otevřené zářiče používané v Nemocnici Znojmo p.o. (vlastní zdroj) dle Programu monitorování

Zobrazovací metodou nukleární medicíny je scintigrafie (název je odvozen od scintilačního detektoru). V scintilačním detektoru dochází k absorpci fotonů záření gama, které vyvolává světelné záblesky – scintilaci, jež jsou elektronicky zpracovány a vyhodnoceny. Výsledný scintigrafický obraz zobrazí rozložení RF v organismu. Vyšetření může být statické (zobrazuje rozložení RF) nebo dynamické (zachycuje RF v čase). Emisní jednofotonová tomografie (SPECT z anglického názvu Single-Photon Computed Emission Tomography) se používá v Nemocnici Znojmo p.o. (viz příloha č. 1) a je tomografickou variantou běžné planární scintigrafie. Aplikované množství radionuklidu do organismu je velmi malé. Radioaktivní indikátory a radiofarmaka se aplikují v malém objemu a chemickým složením mohou funkci vyšetřovaných orgánů v průběhu vyšetření ovlivnit (Kupka K., 2019).

Radiační zátěž, při diagnostické aplikaci RF, se pohybuje v rozmezí 1 až 100 mGy, což je 1 až 20 mSv efektivní dávky. Aplikovaná dávka orgánům a tkáním je nižší než prahová dávka deterministických účinků (deterministické účinky nemohou nastat).

Riziko vzniku stochastických účinků je v rozmezí 10^{-6} až 10^{-4} . Deterministické účinky můžeme pozorovat při léčbě štítné žlázy radiojódem ^{131}I , kde je aplikovaná dávka v jednotkách Gy (Koranda P., 2014).

Nejčastěji používaný radionuklid $^{99\text{m}}\text{Tc}$ je na ONM NZ p.o. čistý gama zářič a získává se elucí v molybden/techneciovém generátoru (viz příloha č.2).

1.6 Radiační ochrana

Radiační ochrana je systém technických a organizačních opatření, které vedou k omezení ozáření osob a k ochraně životního prostředí před účinky ionizujícího záření, jak se píše v zákoně 263/ 2016 Sb., §2, odst. 2 písm. g) (Richter R, 2018). Koncepce radiační ochrany vychází z doporučení Mezinárodní komise radiační ochrany (ICRP), s ohledem na standardy vydané Mezinárodní atomovou agenturou (IAEA) a opírá se o legislativu Evropské unie (direktivy EURATOMU) (Seidl Z, 2012). Podstatou koncepce je bezpečné nakládání se ZIZ, aby nedošlo k poškození zdraví obyvatel a životního prostředí.

1.6.2 Legislativa

Základní legislativa, která řeší problematiku radiační ochrany v ČR, je atomový zákon č.263/2016 Sb. a prováděcí vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č.422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. Legislativa upravuje veškeré nakládání se zdroji, zásahy při ozáření, klasifikaci zdrojů, podmínky lékařského ozáření, technické a organizační podmínky. Starý atomový zákon č.18/1997 Sb. je částečně ponechá. Ponechaná část se týká odpovědnosti za jaderné škody. V souvislosti s přijetím nového atomového zákona byl vydán zákon č.264/2016 Sb., který ruší vybrané zákony související se starým atomovým zákonem (zákon č.18/1997 Sb.). Vyhláška SÚJB č.359/2016 Sb. o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události, zpracovává příslušné předpisy a Směrnice Rady 2013/59/ Euratom (SÚJB, 2019).

Nový atomový zákon (NAZ) vznikl na základě získaných zkušeností, kdy bylo potřeba doplnit a zejména zpřesnit právní úpravu. Atomový zákon a související

legislativa využívá nových odborných poznatků, procesních a nových doporučení mezinárodních institucí. NAZ respektuje doporučení IAEA (Mezinárodní agentura pro atomovou energii) (SÚJB, 2016). Organizace je kontrolním a vědeckým orgánem, který dohlíží a stanovuje pravidla o dodržování „Smlouvy o nešíření jaderných zbraní“ u členských států včetně České republiky, která je členem (IAEA, 2019). Vedle jednotlivých doporučení IAEA se opírá o legislativu např. směrnice Rady 2009/71/Euratom, kterou je stanovený rámec Společenství pro jadernou bezpečnost jaderných zařízení, a její novelizace Rady 2014/87/Euratom, a směrnice Rady 2013/59/Euratom, která stanoví základní bezpečnostní standardy ochrany před nebezpečím vystavení IZ. NAZ respektuje doporučení Mezinárodní komise pro radiační ochranu ICRP 103 (ICRP, 2007), např. expoziční situace je spojena s ozářením fyzické osoby nebo životního prostředí IZ a publikace ICRP 101 doplňuje např. stanovení dávky pro účely radiační ochrany obyvatelstva a optimalizaci RO. Součástí právního rámce jsou i mezinárodní úmluvy v dané oblasti (SÚJB, 2016).

Atomový zákon je soubor požadavků k zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany pro společnost i pro jednotlivce. Atomový zákon č. 263/2016 Sb. se zabývá i radiologickými událostmi, např. v § 60 (2)

(e) jsou uvedeny definice radiologické události, § 69 pojednává o způsobu hodnocení zajištění radiační ochrany, § 84 (5) se zabývá optimalizací lékařského ozáření (diagnostické referenční úrovně).

Na radiační události myslí i vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje např. § 80 pojednává o chybné ozáření pacienta; § 81 klasifikuje radiologické události; § 43 zajišťuje hodnocení způsobu zajištění radiační ochrany dohlížející osobou; § 52 se zabývá programem zajištění radiační ochrany; § 79 (3) c) řeší diagnostické referenční úrovně. Součástí Vyhlášky č.422/2016 Sb. je příloha č. 23, která uvádí kritéria pro zařazení radiologické události (RU). Stanoví lhůty pro informování o RU (SÚJB, pacient, atd). Dále uvádí rozsah informování o RU, včetně souhrnné informace, („protokol o RU“) a obsah a dobu uchovávání záznamů o RU a pro případ, kdyby mohlo k RU (SÚJB, 2019).

1.6.3 Principy radiační ochrany

Hlavní cíl RO je vyloučit deterministické účinky ionizujícího záření a snížení pravděpodobnosti stochastických účinků na rozumně dosažitelnou úroveň (Koranda P, 2014). K dosažení cíle radiační ochrany se používají čtyři principy – zdůvodnění, limitace, optimalizace a zabezpečení zdrojů z důvodu např. odcizení neoprávněnou osobou, poškození stínícího obalu atd. V době, kdy se objevuje nebezpečí terorismu, je zvýšené zabezpečení ZIZ obzvláště důležité. (Freitinger Skalická Z. et al 2016).



Obrázek 6 Princip radiační ochrany (Freitinger Skalická Z, et al, 2006)

1. Zdůvodnění:

Činnost, která vede k ozáření, může být povolena, pokud přináší dostatečný prospěch pro jednotlivce nebo společnost. Přínos činnosti musí převýšit radiační újmu, kterou způsobí, nebo by mohla způsobit. Lékařské ozáření je nejčastější způsob ozáření člověka, proto se zde aplikuje princip zdůvodnění při lékařském využití záření. Lékařské ozáření musí být zdůvodněno individuálním zdravotním prospěchem pacienta. Do procesu zdůvodnění je zapojen jak indikující lékař, tak i aplikující odborník (Seidl Z, 2012). Před každým použitím zdroje IZ k lékařskému ozáření se u pacienta zjišťuje předchozí aplikace radionuklidu a IZ, které by mohly mít význam pro následující vyšetření nebo léčbu. U žen v reprodukční věku se zjišťuje možnost těhotenství nebo kojení, tyto údaje se zaznamenávají do zdravotní dokumentace pacienta. U těhotných

žen se vyšetření spojené IZ provádí v nekladných případech nebo z důvodu porodnické indikace.

2. Limitování

Ozáření osob je vymezeno limity ve vyhlášce č 422/2016 Sb. v prvního dílu §3 až §6 (viz tabulka), limity pro obyvatelstvo v §3 se nevztahují k lékařskému ozáření. Limity jsou kvalitativním ukazatelem pro celkové ozáření z radiační činnosti, jejich překročení je nepřipustné. Zavedení limitů brání vzniku deterministických účinků (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016). Limity jsou vlastně regulačním nástrojem radiační ochrany.

	Obecné limity	Limity pro radiační pracovníky	Limity pro učně a studenty
Součet efektivních dávek ze zevního ozáření z úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření	1 mSv/rok	20 mSv/rok nejvýše 100 mSv za pět po sobě jdoucích let	6 mSv
Pro ekvivalentní dávku v čočce	15 mSv/rok	50 mSv/rok nejvýše 100 mSv za pět po sobě jdoucích let	15 mSv/rok
Pro ekvivalentní dávku na 1 cm² kůže	50 mSv/rok	500 mSv/rok	150 mSv/rok

Tabulka 2 Limity (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016).

Odvozené limity:

Odvozené limity vycházejí ze zákona č.263/2016 Sb. a z vyhlášky 422/2016 Sb. §6, kde se praví: „*Limity pro radiační pracovníky se považují za nepřekročitelné*“ (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016). Odvozené limity pro zevní ozáření jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Odvozené limity pro zevní ozáření – osobní dávkový ekvivalent H_p	
H_{10} v hloubce 10 mm	20 mSv/rok
H_3 v hloubce 3 mm	20 mSv/rok
$H_{0,07}$ v hloubce 0,07 mm	500 mSv/rok

Tabulka 3 Odvozené limity (SÚJB, 2016)

Odvozené limity pro vnitřní ozáření se stanoví za pomoci konverzního faktoru h , který se liší podle použitého radionuklidu (faktory ke každému RN jsou v příloze 3, vyhlášky č.422/2016 Sb.). Pomocí konverzního faktoru se převádí příjem daného RN vyjádřený v aktivitě Bq na hodnotu v Sv.

Při požití $= \frac{hing}{0,02}$ limit pro vnitřní ozáření za rok ingescí.

Při vdechnutí $= \frac{hinh}{0,02}$ limit pro vnitřní ozáření za rok inhalací.

Pokud dojde k vnitřní i zevní kontaminaci radiačního pracovníka, tak hodnoty lze sčítat (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016).

Posuzování, zda nebyly překročeny limity RO, musí být prováděno soustavně při vykonávání pracovní činnosti radiačním pracovníkem. Sčítají se všechny druhy ozáření při výkonu činnosti. Radiační pracovník, u kterého bylo zjištěno překročení limitů a je shledán pracovně způsobilým po zdravotní stránce, není důvod ho přeradit nebo vyloučit z jeho dosavadní pracovní činnosti (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016). V případě těhotenství radiačního pracovníka, pokud je zajištěna RO podle NAZ §63, neměla by být překročena efektivní dávka na plod 1 mSv za rok (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016).

Limity jsou regulačním nástrojem radiační ochrany, určují přijatelné riziko z hlediska společnosti. Radiační pracovník je osoba vystavená profesnímu ozáření. Pracovníci jsou podle výkonu povolání zařazeni do kategorie A nebo B. V kategorii A je pracovník, který by mohl při výkonu povolání obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv za rok, ostatní radiační pracovníci jsou zařazeni do kategorie B (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016).

3. Optimalizace:

Optimalizace radiační ochrany se začíná provádět již před zahájením činnosti vedoucí k ozáření, analyzují se varianty RO podle NAZ §66 a podle vyhlášky 422/2016

Sb. Ten, kdo provádí činnost vedoucí k radiační expozici, musí zvolit optimální variantu s možností snížení plánovaných a možných expozic pro jedince nebo skupiny obyvatel na co nejnižší rozumnou úroveň. Provádí se při vykonávání činnosti vedoucí k ozáření pravidelným rozbořem dávek ve vztahu k prováděným úkolům. Po rozboru dávek se uskuteční opatření k zajištění radiační ochrany v rámci existující a nevhodné expoziční situace. Rozbořem obdržných dávek jsou prováděna opatření a popřípadě změny zvolených opatření a postupů. Optimalizace radiační ochrany vychází z požadavků, aby všechny dávky byly co nejnižší, jaké lze dosáhnout z ekonomické a sociálního hlediska.

Při lékařském ozáření se optimalizace dosahuje zejména:

- zavedením systému jakosti – sem patří vypracování standartu pro přípravu radiofarmak, vypracování standartu pro klinické postupy, pravidelné ověřování a testování přístrojové techniky, stanovení a hodnocení dávek pacientů. Dodržování uvedených postupů je kontrolováno klinickými audity.
- aplikací pouze nezbytného množství radioaktivní látky, jež zaručuje dostatečnou diagnostickou informaci při co nejnižší radiační zátěži pacienta.
- nepřekročení diagnostických referenčních úrovní, překračování diagnostických referenčních úrovní se nepředpokládá. Pokud dojde k překročení, prošetřuje se důvod lékařského ozáření s cílem nápravy. Každé pracoviště provádějící expoziční činnost má stanovené Místní diagnostické referenční úrovně, které stanoví dávky IZ specifické pro dané vyšetření a 70 kg pacienta, jak ukládá zákon č 263/2016 §2 odst. 3 c. §6 odst. 2 d, §84. MDRÚ vychází z Národních diagnostických referenčních úrovní, které jsou uvedeny ve vyhlášce 422/2016 v příloze 22.

4. Zabezpečení radionuklidového zdroje

Držitel povolení vykonávající činnost v rámci plánované expoziční situace je povinen:

- a) zabezpečit radionuklidový zdroj před nepovoleným přístupem, použitím a přemístěním odstupňovaným přístupem s ohledem na kategorii zabezpečení a způsob nakládání s radionuklidovým zdrojem,
- b) poučit pracovníka s přístupem k radionuklidovému zdroji o jeho zabezpečení a ověřit jeho znalosti.

Pracoviště nukleární medicíny jsou podle vyhlášky 422/2016 zařazena do tří kategorií podle používaných zdrojů IZ, od nevýznamných přes drobné až po významné zdroje. Systém zabezpečení RNZ (radionuklidového zdroje) je založen na povinnostech, plynoucích z NAZ. Vyhláška 422/2016 Sb. stanovuje v příloze č.1 D-hodnotu, která určuje u vybraných radionuklidových zdrojů aktivitu. Podle D-hodnoty jsou pracoviště zařazena do 5 kategorií zabezpečení, kdy 1. kategorie je z hlediska zabezpečení zdroje nejrizikovější a 5. kategorie je s nejmenším rizikem podle § 61 odstavce 2 NAZ. Zabezpečení zdrojů podle kategorií je uvádí §17 vyhlášky 422/2016 Sb. (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2017).

Oddělení nukleární medicíny znojemské nemocnice je zařazeno do II. kategorie pracovišť s významným zdrojem ionizujícího záření a pro nakládání se zdroji ionizujícího záření dle §9 odst. 2, písm. f., bod 7 zákona č.263/2016 Sb. a z hlediska používaných zdrojů IZ je pracoviště zařazeno do 4. kategorie zabezpečení. Veškeré radionuklidové zdroje jsou uskladněny v KP (Kontrolovaném pásmu). Přístup do KP je zajištěnými dveřmi s kontrolovaným vstupem osob. Volný přístup mají pouze radiologičtí pracovníci kategorie A pracující na ONM NZ p.o. (Nemocnice Znojmo p.o. 2017).

1.6.4 Bezpečnost práce s otevřenými zářiči

Vyšetření v nukleární medicíně přináší několik problémů z pohledu RO. Především je potřeba si uvědomit, že se jedná o emisní vyšetření, u kterého se záření šíří všemi směry a malá část je detekována. Je nutné aplikovat takové množství radiofarmaka, aby výtěžnost vyšetření byla dostatečná, z tohoto pohledu není moc velký prostor pro snižování dávek pacientům. Pacient, kterému bylo aplikováno RF, se vlastně stává zářičem. Proto není možné zcela ochránit personál od účinků ionizujícího záření. Velmi důležité je poučení radiačních pracovníků o dodržování zásady ochrany. Pozornost je třeba věnovat i zajištění bezpečnosti obyvatelstva a minimalizaci dopadů použití radiofarmak na životní prostředí. Expoziční plánované situace vychází z požadavků, vyplývajících z vyhlášky Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a přihlíží rovněž k posledním doporučením Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu, jakož i ke směrnicím Evropské unie a standardům Mezinárodní agentury

pro atomovou energii, které se týkají nejen nukleární medicíny, ale i dalších aplikací otevřených radioaktivních zářičů v průmyslu, vědě a technice (Kubinyi J., 2018).

Způsoby radiační ochrany

S principy radiační ochrany je třeba mít na paměti tři způsoby RO, které lze doplnit z pohledu nukleární medicíny 4. zásadou:

- ochrana časem – délka expozice je úměrná dávce, čím je kratší čas pobytu u ZIZ, tím je nižší získaná dávka (obdržená dávka je přímo úměrná době expozice).
- ochrana bezpečnou vzdáleností – čím je větší vzdálenost od ZIZ, tím je nižší radiační zátěž pro radiační pracovníky (intenzita záření tedy i dávkový příkon jsou nepřímo úměrné druhé mocnině vzdálenosti od zdroje záření).
- ochrana dostatečným stíněním – použití vhodných absorpčních materiálů ke stínění, pro dané záření. Pro gama záření musí mít materiály velkou měrnou hmotnost, jako je především olovo, ze stavebních materiálů pak beton, který může být s příměsí barytu apod.
- zabránění kontaminace – správná manipulace s otevřenými zářiči, dodržování hygieny, používání ochranných pomůcek a pracovat s otevřenými zářiči pouze v kontrolovaném pásmu (Klener V, 2000).

Základní veličiny v radiační ochraně

Ekvivalentní dávka je součin dávky a radiačního váhového faktoru W_R (radiační faktor závisí na druhu záření – alfa, beta, gama, neutrony a záření X)

Efektivní dávka je součet středních vážených hodnot ekvivalentních dávek v tkáních lidského těla (každý orgán nebo tkáň má svůj váhový faktor, vyjadřující relativní zdravotní újmu spojenou se stochastickými účinky vlivu na biologickou hmotu).

Dávkový ekvivalent je součin absorbované dávky a jakostního činitele Q vyjadřujícího rozdílnou biologickou účinnost různých ZIZ (jakostní činitel je závislý na energii záření).

Osobní dávkový ekvivalent $H_p(d)$ je dávkový ekvivalent v daném bodě pod povrchem těla v hloubce d . $H_p(10)$ odpovídá efektivní dávce a $H_p(0,07)$ odpovídá ekvivalentní dávce na ruce.

Kolektivní dávka je součet efektivních dávek jednotlivců ve skupině. Hodnoty se používají k hodnocení radiační ochrany. Veličina má statistický význam (Ullmann V., 2009).

Monitorování pracovníků a pracoviště

Všichni pracovníci podílející se na vyšetřovacím procesu jsou vystaveni profesní expozici. Počínaje farmaceutem, přes fyzika, všeobecné sestry, radiologické asistenty a lékaře, kteří se podíleli na manipulaci s pacientem. Nutno podotknout, že na oddělení nukleární medicíny nelze dosáhnout nulové hodnoty při profesní expozici. Dobré zajištění radiační ochrany se hodnotí monitorováním a ověřováním (Kubiny J, 2018).

1.7 Dokumentace oddělení nukleární medicíny

Každý, kdo chce nakládat se zdroji ionizujícího záření, musí žádat o povolení Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Žádost o povolení obsahuje vypracované opatření k ochraně pracovníků, pacientů, obyvatel a životního prostředí.

Dokumentace posuzovaná SÚJB:

1. Program zajištění radiační ochrany
2. Optimalizace radiační ochrany
3. Radiologické události
4. Analýza a hodnocení radiační mimořádné události
5. Program zajištění radiační ochrany pracovní instrukce
6. Vymezení kontrolovaného pásma
7. Vymezení sledovaného pásma
8. Program monitorování
9. Vnitřní havarijní plán

Dokumenty oddělení

1. Provozní předpisy
2. Hodnocení způsobu zajištění radiační ochrany
3. Hygienicko-epidemiologický řád
4. Standardní operační postupy
5. Ošetrovatelský manuál (Nemocnice Znojmo p.o.)

1.7.2 Program zajištění radiační ochrany

Pro pracoviště II. kategorie s významným zdrojem ionizujícího záření a pro nakládání se zdroji ionizujícího záření dle §9 odst. 2, písm. f., bod 7 zákona č.263/2016 Sb., na Oddělení Nukleární medicíny Nemocnice Znojmo, p.o obsahuje:

- vysvětluje použité pojmy a zkratky
- identifikuje držitele povolení
- popisuje místo vykonávání radiační činnosti a rozsah činnosti
- uvádí funkční strukturu pracoviště
- stanoví způsob řízení dokumentace
- specifikuje zdroje ionizujícího záření používaných na pracovišti
- charakterizuje radiační ochranu na oddělení ONM
- uvádí způsob poskytování pracovnělékařských služeb pro radiační pracovníky
- stanovuje způsob vzdělávání pracovníků oddělení
- popisuje způsob zabezpečení kvality diagnostických přístrojů a metrologické ověřování měřidel
- stanovuje metrologické zajištění přístrojů
- uvádí způsob řízení neshod a radiologických událostí
- udává, jak se na oddělení nakládá s radioaktivním odpadem
- popisuje systém ověřování v podobě interních a externích auditů
- popisuje způsob kontroly zajištění RO
- na závěr uvádí navazující dokumentaci (Nemocnice Znojmo p.o.)

1.7.3 Optimalizace radiační ochrany

V rámci optimalizace radiační ochrany jsou všechna ozáření plánována a udržována na co nejnižší rozumně dosažitelné úrovni, k dosažení tohoto cíle se optimalizace provádí.

U zdroje ionizujícího záření

Před započítáním činností vedoucích k ozáření posouzení a porovnání variant řešení radiační ochrany.

Je vypracován projekt stavebních konstrukcí a použitého stínění při výstavbě prostor, kde se budou zdroje ionizujícího záření používat.

V prostředí mezi zdrojem ionizujícího záření a pracovníky

Při vykonávání činností vedoucích k ozáření se provádí pravidelný rozbor dávek pracovníků ve vztahu k prováděným činnostem. Rozbor provádí dohlížející osoba pravidelně při měsíčním vyhodnocování expozic pracovníků. Z rozboru se neprovádí zápis. Vyplývají-li z rozboru nápravná opatření, provedou se, je-li to možné, okamžitě. Pro optimalizaci radiační ochrany pracovníků jsou stanoveny Dávkové optimalizační meze, jejichž překročení je podnětem k přezkoumání optimalizace radiační ochrany.

Dávkové optimalizační meze pro celotělovou dozimetrii jsou stanoveny:

- Dávková optimalizační mez pro vyhodnocovací interval jeden měsíc: 2 mSv
- Dávková optimalizační mez pro vyhodnocovací interval jeden rok: 5 mSv

Dávkové optimalizační meze pro prstovou dozimetrii jsou stanoveny:

A) Dávková optimalizační mez pro radiační pracovníky připravující radiofarmaka:

- Dávková optimalizační mez pro vyhodnocovací interval jeden měsíc: 80 mSv
- Dávková optimalizační mez pro vyhodnocovací interval jeden rok: 200 mSv

B) Dávkové optimalizační meze prstové dozimetrie pro ostatní radiační pracovníky:

- Dávková optimalizační mez pro vyhodnocovací interval jeden měsíc: 10 mSv
- Dávková optimalizační mez pro vyhodnocovací interval jeden rok: 50 mSv

Optimalizace radiační ochrany je zajišťována pravidelnou kontrolou ochranných pomůcek, stínících krytů a boxů. (provádí dohlížející osoba) pravidelnými kontrolami dodržování pracovních postupů při přípravě RF (SOP) i při aplikaci RF a vlastním vyšetřování pacienta a dodržování principů ochrany před ionizujícím zářením (provádí primář ve spolupráci s farmaceutem a dohlížející osobou). Pravidelné provádění všech určených testů a zkoušek přístrojové techniky s cílem udržení přístrojové techniky na standardně vysoké úrovni (provádí fyzik oddělení).

V prostředí mezi zdrojem ionizujícího záření a fyzickými osobami:

Atomový zákon požaduje pro fyzickou osobu, která není radiačním pracovníkem a vstupuje do kontrolovaného pásma stanovit operativní hodnoty pro zajištění nepřekročení dávkových optimalizačních mezí. Dávková optimalizační mez pro reprezentativní osobu je zákonem stanovena na 0,25 mSv/rok. Pro nepřekročení dávkových optimalizačních mezí jsou stanoveny Operativní hodnoty, jsou pro fyzické osoby v kontrolovaném pásmu 50 μ Sv/ rok a mimo kontrolovaná pásma 20 μ Sv/ rok. Překročení operativních hodnot je podnětem ke zkoumání optimalizace radiační ochrany a k provedení nápravných opatření.

V prostředí mezi zdrojem ionizujícího záření a pacientem

Důsledné je dodržování a nepřekračování Diagnostických referenčních úrovní při aplikaci RF. Kontrolu provádí primář oddělení ve spolupráci s dohlížející osobou. Překračování Diagnostických referenčních úrovní se nepředpokládá, v opačném případě je to podnět k šetření se zaměřením na správné nastavení diagnostických referenčních úrovní a správné nastavení přístrojové techniky. Odpovědnost za provádění optimalizace RO má fyzik (dohlížející osoba) (Nemocnice Znojmo p.o.).

1.7.4 Radiologické události

Pro pracoviště II. kategorie s významným zdrojem ionizujícího záření a pro nakládání se zdroji ionizujícího záření dle §9 odst. 2, písm. f., bod 7 zákona č.263/2016 Sb., na Oddělení Nukleární medicíny Nemocnice Znojmo, p.o.

Radiologická událost je nezáměrná událost při užití ionizujícího záření v nukleární medicíně, zahrnující chybu obsluhy, selhání přístrojů nebo jinou nepředvídanou nehodu, jejíž důsledky nemohou být opomenuty z hlediska radiační ochrany a která vede k chybnému ozáření pacienta nebo k možnému zvýšenému ozáření personálu nebo veřejnosti.

Radiologické události mohou vést k nepřijatelnému ozáření:

- pacientů – lékařské ozáření
- veřejnosti – ozáření obyvatelstva (např. doprovod pacienta)

Radiologická událost v nukleární medicíně kategorie A

1. Jedenkrát a vícekrát radiologická událost kategorie B

2. Dvakrát a vícekrát radiologická událost kategorie C

Po zjištění, že k této radiologické události došlo, musí být přijata opatření:

- aby nebyla navyšována nežádoucí dávka pacientovi a aby se radiologická událost nemohla opakovat u jiného pacienta.
- musí být zjištěny příčiny radiologické události
- musí být shromážděny všechny dostupné údaje o události
- musí být informován Úřad, pacient nebo jeho zákonný zástupce, aplikující odborník a indikující lékař
- musí se uchovávat záznamy o radiologické události, záznamy o jejím šetření a přijatých opatřeních k jejímu předejití

Po zjištění, že by k této radiologické události mohlo dojít, musí být přijata opatření:

- k jejímu předejití
- zjištěny příčiny proč radiologické události téměř došlo, zda standartní postupy zajišťují zabránění takové radiologické události a v případě, že ne, tyto postupy změnit tak, aby radiologické události nemohlo v budoucnu dojít.

Informování úřadu:

- datum odhalení radiologické události a jejího vzniku
 - povaha, rozsah a závažnost radiologické události
 - možný dopad radiologické události
 - opatření přijatá k tomu, aby následek radiologické události byl co nejmenší
 - další skutečnosti zjištěné během vyšetřování radiologické události, které ovlivňují její povahu, rozsah, dopad a závažnost
 - opatření přijatá k předcházení vzniku podobné radiologické události v budoucnu
- Úřad musí být informován nejpozději do jednoho měsíce od zjištění, že došlo k radiologické události kategorie A.

Informování pacienta nebo jeho zákonného zástupce, indikujícího lékaře a aplikujícího odborníka

- neprodleně po zjištění, že došlo k radiologické události a o všech známých skutečnostech o ní
- datum odhalení radiologické události a jejího vzniku
- povaha, rozsah a závažnost radiologické události
- možný dopad radiologické události
- opatření přijatá k tomu, aby následek radiologické události byl co nejmenší

- další skutečnosti zjištěné během vyšetřování radiologické události, které mají vliv na zdravotní stav a léčbu pacienta

Pacient nebo jeho zákonný zástupce musí být informován neprodleně, že došlo k radiologické události kategorie A.

Záznamy o radiologické události kategorie A–v případě, kdy došlo nebo mohlo dojít k radiologické události, musí být uchovávány po dobu 30 let od odhalení radiologické události. Záznamy musí obsahovat všechny informace o radiologické události nebo o případu, kdy k radiologické události mohlo dojít, pokud nebyly včas zjištěny a odstraněny příčiny, které byly v rámci vyšetřování zjištěny.

Radiologická událost v nukleární medicíně kategorie B – se může jednat, kdy aplikovaná aktivita je více než dvacetinásobná oproti předepsané aktivitě. Opakovaná radiologická událost je kategorie B.

Po zjištění, že k této radiologické události došlo, musí být přijata opatření:

- aby nebyla navyšována nežádoucí dávka pacientovi a aby se radiologická událost nemohla opakovat u jiného pacienta.
- musí být zjištěny příčiny radiologické události
- musí být shromážděny všechny dostupné údaje o události
- musí být informován Úřad, pacient nebo jeho zákonný zástupce, aplikující odborník a indikující lékař
- musí se uchovávat záznamy o radiologické události, záznamy o jejím šetření a přijatých opatřeních přijatých k jejímu předejití

Po zjištění, že by k této radiologické události mohlo dojít, musí být přijata opatření:

- musí být přijata opatření k jejímu předejití
- zjištěny příčiny, proč radiologické události téměř došlo, zda standartní postupy zajišťují zabránění takové radiologické události a v případě, že ne, tyto postupy změnit tak, aby radiologické události nemohlo v budoucnu dojít.

Informování úřadu:

- datum odhalení radiologické události a jejího vzniku
- povaha, rozsah a závažnost radiologické události
- možný dopad radiologické události
- opatření přijatá k tomu, aby následek radiologické události byl co nejmenší
- další skutečnosti zjištěné během vyšetřování radiologické události, které ovlivňují její povahu, rozsah, dopad a závažnost

- opatření přijatá k předcházení vzniku podobné radiologické události v budoucnu

Úřad musí být informován nejpozději do tří měsíců od zjištění, že došlo k radiologické události kategorie B.

Informování pacienta nebo jeho zákonného zástupce, indikujícího lékaře a aplikujícího odborníka.

- datum odhalení radiologické události a jejího vzniku
- povaha, rozsah a závažnost radiologické události
- možný dopad radiologické události
- opatření přijatá k tomu, aby následek radiologické události byl co nejmenší
- další skutečnosti zjištěné během vyšetřování radiologické události, které mají vliv na zdravotní stav a léčbu pacienta

Pacient nebo jeho zákonný zástupce musí být informován nejpozději do tří měsíců od zjištění, že došlo k radiologické události.

Záznamy o radiologické události kategorie B a případech, kdy k radiologické události mohlo dojít, musí být uchovávány po dobu 10 let od odhalení radiologické události. Záznamy musí obsahovat všechny informace o radiologické události nebo o případu, kdy k radiologické události došlo, nebo mohlo dojít, pokud nebyly včas zjištěny a odstraněny příčiny, které byly v rámci vyšetřování zjištěny.

Radiologické události v nukleární medicíně kategorie C:

- záměna pacienta s následnou aplikací RF
- aplikace nesprávného RF, aplikace aktivity, která byla chybně předepsána
- porucha zobrazovacího systému v době od aplikace radiofarmaka pacientovi do ukončení vyšetření
- úmrtí naaplikovaného pacienta

1. Záměna pacienta, která byla zjištěna po aplikaci RF

- provede se zápis do knihy neshod na příjmu
- vyšetří se příčina záměny.
- do dokumentace pacienta se zapíše aplikovaná aktivita a druh RF
- pacient se poučí o opatřeních k co nejrychlejší eliminaci RF
- po prošetření příčiny neshody se přijmou nápravná opatření k maximální eliminaci neshody

2. Aplikace nesprávného radiofarmaka – může se jednat o plánované vyšetření, které je možno zpravidla provést až v jiném termínu.

- Proveďte se zápis do dokumentace pacienta a sdělení odesílajícímu lékaři proč nelze požadované vyšetření provést.
- Dle podaného radiofarmaka se poučí pacient o opatřeních k co nejrychlejší eliminaci radiofarmaka.
- Událost se podrobně vyšetří, zjistí se odpovědnost za tuto událost, přijmou se opatření k eliminaci této chyby v budoucnu.

3. Porucha zobrazovacího systému v době od aplikace radiofarmaka pacientovi do ukončení vyšetření

Dojde-li k poruše zobrazovacího systému v době od aplikace radiofarmaka pacientovi do ukončení vyšetření, je třeba:

V případě statických vyšetření provést akvizici na jiném dostupném zařízení, popřípadě po odstranění závady (časově limitováno farmakokinetikou a poločasem přeměny radiofarmaka) dokončit vyšetření. V případě dynamických studií pokus o neprodlené dokončení vyšetření na jiném zařízení. Po vyhodnocení studie posoudit, zda je možno z nálezu poskytnout dostatečně validní informace k požadavkům odesílajícího lékaře. V negativním případě je nutné pacienta poučit a vyšetření opakovat. Závadné zobrazovací zařízení uvést do provozuschopného stavu dle patřičných postupů (zpravidla autorizovaný servis).

4. Úmrtí naaplikovaného pacienta

- a) V případě úmrtí krátce po aplikaci radiofarmaka značeného ^{99m}Tc s ohledem na krátký poločas přeměny izotopu a jeho charakteristiku nelze předpokládat větší ozáření okolí, než ke kterému by došlo v okolí pacienta živého. Případnou zdravotní pitvu dle možnosti odložit za 30 hodin od aplikace, kdy po 5 poločasech přeměny technecia je zbytková aktivita minimální s minimálním rizikem ozáření personálu patologie
- b) V případě úmrtí krátce po aplikaci radiofarmaka značeného ^{123}I s ohledem na poločas přeměny izotopu, fyzikální charakteristiku a aplikované aktivity (do 200 MBq) stejný postup jako v bodě a)
- c) V případě úmrtí po intra artikulární aplikaci beta zářiče ^{90}Y se neočekává ozáření okolí, není nutno provádět speciální opatření
- d) V případě úmrtí po terapeutické aplikaci ^{89}Sr Metastronu do 90 dnů (očekávaná doba retence stroncia v metastatických lézích dle SPC) kontaktovat SÚJB, dále postupovat dle jeho doporučení.

Pacient nebo jeho zákonný zástupce, indukující lékař je informován ihned od zjištění, že došlo k radiologické události kategorie C.

Záznamy o radiologické události kategorie C a případech, kdy k radiologické události mohlo dojít, musí být uchovávány po dobu 10 let od odhalení radiologické události. Záznamy musí obsahovat všechny informace o radiologické události nebo o případu, kdy k radiologické události mohlo dojít, pokud nebyly včas zjištěny a odstraněny příčiny, které byly v rámci vyšetřování zjištěny (Nemocnice Znojmo p.o.).

1.7.5 Analýza a hodnocení radiační mimořádné události

pro pracoviště II. kategorie s významným zdrojem ionizujícího záření a pro nakládání se zdroji ionizujícího záření dle §9 odst. 2, písm. f., bod 7 zákona č.263/2016 Sb., na Oddělení Nukleární medicíny Nemocnice Znojmo, p.o. Dokument obsahuje:

Identifikační údaje držitele povolení – držitelem povolení pro nakládání se zdroji ionizujícího záření je Nemocnice Znojmo příspěvková organizace, v čele s ředitelem nemocnice. Dále je uvedena adresa zařízení.

a) *Předmět povolované činnosti* – je nakládání se ZIZ a používání zdroje ionizujícího záření

b) *Rozsah výkonu povolované činnosti* – používání hybridního zobrazovacího zařízení SPECT/CT a otevřených jednoduchých radionuklidových zářičů.

c) *Místo výkonu činnosti* – je pracoviště nukleární medicíny Nemocnice Znojmo, které pracuje s jednoduchými otevřenými radionuklidovými zářiči používanými pro lékařskou diagnostiku in vivo a významným zdrojem rtg záření. Oddělení je umístěno v přízemí hlavní budovy a je zařazeno do II. kategorie. Pracoviště je držitelem certifikátu jakosti ISO 9001-2000.

d) *Doba povolované činnosti* – povolení pro nakládání se ZIZ a způsob používání má pracoviště na dobu neurčitou.

e) *Evidenční číslo držitele povolení přidělené úřadem*

Výčet možných radiačních mimořádných událostí

Radiační mimořádná událost I. stupně:

Za radiační mimořádnou událost prvního stupně se považuje radiační mimořádná

událost zvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální směně osoby, při jejíž činnosti radiační mimořádná událost vznikla,

- 1) *rozlití nebo rozstříknutí většího množství radiofarmaka nebo radionuklidu do prostor pracoviště.* Tato událost je zapříčiněna neopatrností pracovníků při manipulaci s RF. Může vést ke kontaminaci pracovního prostředí, kontaminaci pracovníků nebo pacientů
- 2) *kontaminace pracovníků.* Tato událost je zapříčiněna neopatrností pracovníků při manipulaci s RF nebo s odpadem. Dopad této události je pouze na pracovníka zvýšeným ozářením jeho osoby.
- 3) *nepřípustné ozáření radiačního pracovníka svazkem CT* (pouze v případě uzavření pracovníka v místnosti kamery za chodu CT). Příčinou je neopatrnost a nedůsledná kontrola při provádění vyšetření. Dopad této události může být zvýšené ozáření uvedeného pracovníka.

Radiační nehoda:

Za radiační nehodu se považuje radiační mimořádná událost nezvládnutelná pouze silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální směně osoby, při jejíž činnosti radiační mimořádná událost vznikla, nebo vzniklá v důsledku nálezu, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje, která nevyžaduje zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo

- 1) *Mechanické zničení Tc generátoru na oddělení* spojené s kontaminací prostředí a osob. Příčina této radiační nehody může být neopatrnost při přenášení generátoru – může spadnout ze stolu na podlahu, nebo neopatrnou manipulací při jeho rozbalování a přípravě k používání. Dopad této nehody může být kontaminace větší části pracoviště a pracovníků. Nehoda musí být řešena s dodavatelskou firmou.
- 2) *Zcizení Tc generátoru* – příčina této nehody může být buď špatné zabezpečení generátoru nebo zcizení generátoru po překonání zábran zajišťující jeho zabezpečení. Dopad této nehody může být na více osob, případně na obyvatelstvo. Řešení nehody se musí provádět v součinnosti policie a SÚJB.

Zařazení pracoviště do kategorie ohrožení.

Dle §2 vyhlášky č.359/2016 Sb. lze pracoviště zařadit do kategorie ohrožení D. Řešení mimořádných událostí je v dokumentu Vnitřní havarijný plán (Nemocnice Znojmo p.o.).

1.7.6 Program zajištění radiační ochrany pracovní instrukce

Obsahuje pracovní instrukce v oblasti kontroly jakosti u přístrojů, kterými je vybavené oddělení nukleární medicína v Nemocnici Znojmo p.o.:

- planární gamakamery MB 9301
- měřiče aktivity CURIEMENTOR 2
- analyzátoru MC 1256
- hybridní gamakamery SPECT/CT Symbia Intevo Excel

Dokument obsahuje specifikaci přístroje, pracovní postupy a způsoby hodnocení kontrol u výše uvedených přístrojů. Uvádí, kdo kontroly provádí a v jaké frekvenci. Výsledky kontrol jsou s příslušným datem a jménem provádějící osoby jsou zaznamenány do protokolu v tištěné podobě nebo do deníku kontrol viz příloha č. 4 a tabulka č 4. V dokumentaci je dále uvedeno, jak postupovat při nevyhovujícím hodnocení (Nemocnice Znojmo p.o.).

Datum	Touchpad Provedeno úspěšně/neúspěšně ano/ne	Checksum CT Provedeno úspěšně/neúspěšně ano/ne	Kontrola kvality CT Provedeno úspěšně/neúspěšně ano/ne	Teplota místnosti	Kontrolu provedl Podpis	Poznámka

Tabulka 4 Deník kontrol pro hybridní gamakamery SPECT/CT Symbia Intevo Excel (Nemocnice Znojmo p.o.)

1.7.7 Vymezení kontrolovaného pásma

Kontrolované pásmo se zřizuje v částech pracoviště, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávka vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny.

Dokumentace obsahuje:

- Identifikace pracoviště

- Rozsah kontrolovaného pásma
- Stavební a technické zajištění kontrolovaného pásma
- Označení kontrolovaného pásma
- Vstup fyzických osob do kontrolovaného pásma
- Zajištění proti vstupu nepovolané osoby
- Zajištění radiační ochrany v kontrolovaném pásmu
- Práce v kontrolovaném pásmu
- Pokyny pro vstup do kontrolovaného pásma
- Poučení jiné fyzické osoby vstupující do kontrolovaného pásma
- Hodnocení ozáření jiné fyzické osoby vstupující do kontrolovaného pásma
- Opuštění kontrolovaného pásma (Nemocnice Znojmo p.o.)

1.7.8 Vymezení sledovaného pásma

Sledované pásmo se zřizuje v místnosti, kde se manipuluje s otevřenými zářiči a existuje tam možnost kontaminace osob nebo vnějšího ozáření.

Místnost sledovaného pásma je označena nápisem „Sledované pásmo“ se zdroji ionizujícího záření, nepovolaným vstup zakázán“, údaji o zdrojích a rizicích a znakem radiačního nebezpečí. Práci ve sledovaném pásmu může radiační činnost vykonávat pouze radiační pracovník kategorie A nebo B. Pracovní místo ve sledovaném pásmu je vybaveno ochrannými prostředky, pomůckami a stíněním (stínění na inj. stříkačky, kontejnery na přenášení inj. stříkaček, stíněná nádoba na radiologický odpad).

Pro vstup jiné fyzické osoby je v programu monitorování pro nepřekročení optimalizačních mezí pro obyvatele stanovena operativní hodnota na hodnotu 20 $\mu\text{Sv/rok}$. Hodnota povrchové kontaminace nesmí na pracovních plochách překročit hodnotu 0,4 Bq/cm^2 .

Dokumentace obsahuje:

- Identifikace pracoviště
- Rozsah sledovaného pásma
- Označení sledovaného pásma
- Radiační ochrana ve sledovaném pásmu
- Zajištění proti vstupu nepovolané osoby

- Práce ve sledovaném pásmu
- Činnosti prováděné ve sledovaném pásmu (Nemocnice Znojmo p.o)

1.7.9 Program monitorování

V Programu monitorování je uvedeno, kromě základních pojmů a zkratek:

Charakteristika pracoviště:

ONM Nemocnice Znojmo p.o. je pracoviště s jednoduchými otevřenými radionuklidovými zářiči a významným RTG/CT zdrojem používanými pro lékařskou diagnostiku a je zařazeno do II. kategorie.

Kontrolované pásmo na oddělení je vymezeno v rozsahu, který zahrnuje přípravnu radiofarmak, vstupní filtr k přípravně radiofarmak, výdejnu RF, planární kameru, hybridní kameru SPECT/CT, svlékací boxy, místnost odpadů, která je umístěna v suterénu. Kontrolované pásmo je fyzicky i organizačně zajištěno tak, aby do něj měli přístup pouze radiační pracovníci kategorie A a pacienti v jejich doprovodu. Všem ostatním je vstup do kontrolovaného pásma zakázán. V odůvodněných případech (servis, opravy) mají jiné osoby vstup do kontrolovaného pásma povolen po náležitém poučení a v doprovodu pracovníka kategorie A. Vstupující osoba je prokazatelně poučena o chování a rizicích v kontrolovaném pásmu, je zapsána do knihy návštěv, svým podpisem stvrzuje, že byla poučena. Do kontrolovaného pásma nesmí vstupovat těhotné ženy, které tam nepracují nebo se nepodrobují lékařskému vyšetření a osoby mladší 18 let (kromě pacientů). Kontrolované pásmo je označeno nápisem Kontrolované pásmo a znakem radiačního nebezpečí a informacemi o charakteristikách používaných radiačních zdrojů. Všechny vstupní dveře kontrolovaného pásma jsou opatřeny kulatými klikami.

Vzhledem k charakteru používaných zářičů (jednoduché otevřené zářiče, lowdose CT) a možným předvídatelným odchylkám od běžného provozu jsou všichni pracovníci oddělení zařazeni do kategorie A. Pracovnice externí uklízecké firmy je rovněž zařazeny do kategorie A (provádí úklid i v kontrolovaném pásmu).

U pracovníků kategorie A je v souladu s legislativou zajištěno:

- pravidelná výměna a vyhodnocení osobních dozimetřů

- okamžitá výměna a vyhodnocení osobních dozimetrů v případě podezření nebo vzniku radiační nehody
- seznámení pracovníků s výsledky vyhodnocení dávek z jejich osobních dozimetrů

Osobní monitorování:

V programu je popsán rozsah osobního monitorování, který je rozdělen do dvou skupin:

Osobní soustavné monitorování, které slouží ke kontrole zevního ozáření jednotlivých pracovníků, kteří jsou vybaveni osobními dozimetry. Všichni pracovníci kategorie A jsou vybaveni osobními filmovými dozimetry. Pracovníci připravující a aplikující radiofarmaka, jsou opatřeni prstencovým termoluminiscenčním dozimetrem. Oba typy dozimetrů jsou vyhodnocovány 1 x za měsíc.

Osobní operativní monitorování, tento typ monitorování se zavádí v případě ztráty kontroly nad ZIZ. V případě, kdy nelze vyloučit radiační nehodu a používá se pro stanovení radiační zátěže pracovníků, k měření se používá dozimetr Isotrak Dose GUARD, který přímo odečítá radiační zátěž.

Osobní dozimetry:

Osobní filmový dozimetr poskytuje informace o osobním dávkovém ekvivalentu od fotonového záření a elektronů, druhu a energii záření, směru a časovém rozložení ozáření a o případné kontaminaci. Dozimetr se nosí na referenčním místě na přední levé straně hrudníku. Při použití ochranné zástěry se nosí vně zástěry. Při překročení stanovené referenční úrovně se provádí korekce naměřené hodnoty, která odpovídající zeslabení IZ zástěrou a stanoví se efektivní dávka. Za správné a soustavné nošení dozimetrů a jejich včasné předávání k výměně zodpovídá každý nositel dozimetru. Kontrolu provádí pracovník pověřený výkonem soustavného dohledu (dohlížející osoba).

Osobní termoluminiscenční dozimetr poskytuje informace o hodnotě ekvivalentní dávky na rukách pracovníků při manipulacích v polích fotonového záření s energií vyšší než 30 KeV. Dozimetr se nosí na vnitřní straně prostředníčku více exponované ruky.

Osobní operativní přímo odečítací dozimetr Isotrak Dose GUARD měří osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$, lze nastavit alarm pro překročení nastavené úrovně. Dozimetr se používá pro návštěvy v kontrolovaném pásmu nebo v případech, kdy je

možno očekávat vyšší efektivní dávky pracovníků (např. při mimořádné události). Dozimetr se nosí připnutý na levé straně hrudníku.

Způsob zajištění osobního monitorování

Službu osobní dozimetrie zajišťuje Nuvia Dozimetry s.r.o., Na Truhlářce 39/64 Praha 8, jež je držitelem povolení k poskytování této služby a jejím prostřednictvím je zajištěno předávání výsledků osobní dozimetrie do celostátního systému sledování ozáření pracovníků.

Služba osobní dozimetrie zahrnuje:

- jednoměsíční zasílání a vyhodnocování dozimetrů
- pravidelné zasílání protokolů o naměřených dávkách
- přidělení plastových kazet na dozimetrický film
- hlášení vyhodnocených dávek na Státní úřad pro jadernou bezpečnost v souladu s legislativou
- automatické vyhodnocení havarijního dozimetru v případě podezření na nestandardní ozáření

Zjištěné výsledné dávky naměřené dozimetry jsou bez zbytečného odkladu kontrolovány dohlízející osobou a porovnány s referenčních úrovní. Zjistí-li dohlízející osoba překročení vyšetřovací nebo zásahové úrovně, záležitost prošetří.

Uchovávání záznamů

Držitel povolení vede k evidenci osobních dávek pracovníků tyto doklady:

- jména a příjmení pracovníků
- rodná čísla (pouze se souhlasem pracovníka)
- evidenci o délce práce se zářením
- osobní dávky pracovníků kategorie A
- protokoly o přešetřování překročení vyšetřovacích nebo zásahových úrovní

Záznamy se vedou po celou dobu trvání pracovní činnosti pracovníka až do doby, kdy pracovník dosáhne 75 let věku, v každém případě alespoň po dobu 30 let po ukončení pracovní činnosti, během které byl pracovník vystaven ionizujícímu záření.

Provozovatel Kontrolovaného pásma vede přehled o všech osobách, které vstoupily do Kontrolovaného pásma a nejsou pracovníci kategorie A, nebo pacienti. Tyto údaje z „Knihy vstupu do kontrolovaného pásma“ se uchovávají po dobu nejméně 10 let. Záznamy z výjimečného ozáření (např. havarijní ozáření zasahujících osob) se zaznamenává odděleně.

Zajištění informovanosti pracovníků s výsledky monitorování

S měsíčními výsledky osobní dozimetrie jsou pracovníci seznamováni okamžitě po každém vyhodnocení a průběžně na počítači v evidenci, kde je vedena agenda osobní dozimetrie. Po obdržení sumárních ročních expozic od Nuvia Dozimetry s.r.o. jsou s nimi seznamováni pracovníci i pověřený lékař nemocnice, který seznámení stvrzuje podpisem.

Stanovené monitorovací úrovně

Monitorovací úrovně jsou hodnoty nebo kritéria rozhodné pro určité předem stanovené postupy nebo opatření. Stanovují se tyto monitorovací úrovně:

záznamová úroveň – tyto úrovně oddělují hodnoty zasluhující pozornost od hodnot bezvýznamných

vyšetřovací úroveň – překročení těchto úrovní je podnětem k následnému šetření o příčinách a možných důsledcích zjištěného výkyvu sledované veličiny.

zásahové úrovně – překročení těchto úrovní je podnětem k zahájení nebo zavedení opatření k odstranění výkyvu sledované veličiny.

Osobní filmová dozimetrie – monitorovací úrovně ONM Nemocnice Znojmo p.o. jsou uvedeny v kapitole 1.7.2 Optimalizace radiační ochrany. Překročení zásahové úrovně se považuje za mimořádnou událost I. stupně. V případě potvrzení osobního dávkového ekvivalentu $H_p(10)$ převyšujícího limit 20 mSv je nutno vyloučit pracovníka do konce kalendářního roku z práce se zářením.

Osobní termoluminiscenční dozimetrie – monitorovací úrovně ONM Nemocnice Znojmo p.o. jsou uvedeny v kapitole 1.7.2 Optimalizace radiační ochrany. Překročení zásahové úrovně se považuje za mimořádnou událost I. stupně. V případě potvrzení osobního dávkového ekvivalentu $H_p(0,07)$ převyšujícího limit 500 mSv je nutno vyloučit pracovníka do konce kalendářního roku z práce se zářením.

Dávkové optimalizační meze – je omezení individuální dávky ze zdroje v plánované expoziční situaci (mimo lékařskou expozici pacientů), která slouží jako horní hranice předpokládané dávky v optimalizaci ochrany pro tento zdroj. Je to úroveň dávky, při jejímž překročení je nepravděpodobné, že ochrana pro daný zdroj expozice je optimalizována, a pro kterou tedy téměř vždy musí být provedeno opatření.

Stanovení dávkových optimalizačních mezí pro osobní filmovou dozimetrii, vychází z analýzy hodnot dozimetrie radiačních pracovníků za období 5 let a na základě výsledků dozimetrie pro všechny pracovníky, jsou stanoveny dávkové optimalizační

meze (viz kapitola 1.7.2 Optimalizace radiační ochrany). V případě soustavného překračování dávkových optimalizačních mezí je třeba zkoumat, zda radiační ochrana byla optimalizována.

Stanovení dávkových optimalizačních mezí pro osobní termoluminiscenční prstovou dozimetrii, se vychází z analýzy hodnot dozimetrie radiačních pracovníků za období 5 let a na základě výsledků dozimetrie pro všechny pracovníky, jsou stanoveny dávkové optimalizační meze (viz kapitola 1.7.2 Optimalizace radiační ochrany).

Monitorování neradiačních pracovníků v kontrolovaném pásmu

Podle atomového zákona je pro fyzickou osobu, která není radiačním pracovníkem a vstupuje do kontrolovaného pásma, je stanovena operativní hodnota dávková optimalizační mez 0,25 mSv/rok.

Stanovení operativních hodnot – pro zajištění nepřekročení dávkových optimalizačních mezí pro obyvatele jsou na základě měření dávkových příkonů v kontrolovaném pásmu a jsou stanoveny v Nemocnici Znojmo p.o. Operativní hodnoty takto:

- V kontrolovaném pásmu v nejvíce exponovaném místě (na stěně digestoře při zasunutém generátoru a ostatní zářiče v krytech) byl naměřen expoziční příkon asi 1 μSv / hod.
- Operativní hodnota pro kontrolované pásma je stanovena na 50 μSv / rok
- Ve sledovaném pásmu byl v nejvíce exponovaném dni, kdy je používána největší aktivita (cca 13 GBq v připravených stříkačkách, které jsou umístěny v přenosném trezoru) ve vzdálenosti 1 m naměřen dávkový příkon 0,12 μSv .
- Operativní hodnota pro sledované pásmo byla stanovena na 20 μSv / rok

Způsob přešetření vyšších dávek

Kontrolu a vyhodnocení výsledků osobní dozimetrie provádí pracovník se zvláštní odbornou způsobilostí k vykonávání dohledu nad dodržováním RO (dohlížející osoba).

Při překročení *vyšetřovací úrovně* se ve spolupráci s příslušným nositelem dozimetru provede šetření. Důraz se klade především na rozbor pravděpodobných příčin, které mohly vést k ozáření, zda se jedná o dávku osobní či neosobní. Vyplyne-li ze šetření návrh preventivních a nápravných opatření, budou tato opatření realizována do 10 pracovních dnů. Osnova protokolu o šetření je viz příloha č. 5.

Při překročení *zásahové úrovně* se provede šetření s důrazem na zjištění procedury, při níž došlo k vyšší expozici, přičemž se klade důraz na možnost zasažení očí. Součástí

šetření je zejména potvrzení či vyvrácení hypotézy, že jde skutečně o obdrženou osobní dávku a rekonstrukce postupu, při němž došlo k vyšší expozici. O výsledku šetření se sepíše protokol (viz příloha č 5), jehož kopie bude do 24 hodin odeslána na regionální centrum Úřadu a originál bude archivován na pracovišti. V případě, že dávka byla vyhodnocena jako neosobní, nezapočítává se do profesionální kontaminace pracovníka.

Návrh kontrolních a nápravných opatření v případě vyšších dávek

Je nutno se zaměřit na:

- kontrolu pouzder osobních dozimetrů, kontrolu filtračních plíšků u OFD a u prstových TLD na přítomnost olověného stínění ze spodní a vrchní strany.
- kontrolu ochranných pomůcek (nošení rukavic, zástěr, stav a používání ochranných krytů stříkaček a manipulátorů)
- kontrolu ochranných krytů a zástěr požívaných při skladování a odebírání radioizotopů
- kontrolu pracovních postupů, při nichž může dojít k expozici
- kontrolu dodržování zásad bezpečné práce a využívání všech možností ochrany při práci se ZIZ

Nápravná opatření k zamezení nadexpoze jsou realizována okamžitě po přešetření příčin. Při osobních i neosobních dávkách převyšujících 20 mSv, musí být stanoveno nápravné opatření, které zabraňuje nebo zmenšuje pravděpodobnost opakování takovýchto expozic. Pracovníkovi, který prokazatelně obdrží osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$, resp. $E = 20$ mSv a více, bude vysloven zákaz práce se ZIZ do konce kalendářního roku.

Zdravotní péče o pracovníky s vyššími expozicemi

U případů, kdy lze předpokládat, či je dokonce potvrzeno, překročení ozáření pracovníka na úrovni stovek mSv, se zajišťuje konzultace lékaře a jsou přijata opatření vzhledem k pracovníkovi.

Je-li osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$ vyšší jak 0,1 Sv, je pracovník odeslán na odběr krve a v laboratoři SSZP vyšetří vzorek na chromozomové aberace.

Pokud osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$ překračuje 0,3 Sv, postupuje se stejně, jako v první případě, a navíc je u pracovníka sledován jeho zdravotní stav minimálně 72 hodin. Během sledování se provádí se kontrola krevního obrazu pracovníka.

V případě překročení osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$ 0,7 Sv, je pracovník poslán na jednotku intenzivní hematologické péče v Hradci Králové

V případě překročení osobní dávkový ekvivalent $H_p(0,07)$ nad 1 Sv, lze očekávat deterministické projevy, proto je postižený pracovník sledování lékařem po dobu alespoň 2-4 týdnů vzhledem k latenci kožních projevům.

Monitorování pracovního prostředí

Dokument popisuje:

Rozsah monitorování (prostředí, vynášené věci, odpady). Vzhledem ke spektru používaných RN se v Nemocnici Znojmo p.o. monitoruje u pracovního prostředí povrchová kontaminace, která signalizuje odchylky od správných pracovních postupů. Překročení referenční úrovně pro povrchovou kontaminaci je k podmíněm k vyšetření. Limit pro vynášené věci z kontrolovaného pásma je 0,4 Bq/cm².

		Mimo kontrolované pásmo				Kontrolované pásmo							
Datum	Kontrolní zářič (Bq/cm ²)	Čekárna pac. (Bq/cm ²) lůžko podlaha	Interní amb. (Bq/cm ²) lůžko podlaha	SPECT (Bq/cm ²) lůžko podlaha	Planár (Bq/cm ²) lůžko podlaha	Přípravná RF (Bq/cm ²) stůl podlaha		Aplikace (Bq/cm ²) lůžko podlaha				Podpis	
2.1. 16	132	0,1					3	3				podpis	

Tabulka 5 Monitorování pracovního prostředí (Nemocnice Znojmo p.o.)

Způsob zajištění monitorování pracovního prostředí – provádí se měřením dávkového příkonu IZ a plošné kontaminace v jednotkách plošné aktivity přístrojem Isotrak AB 100, který lze použít pro každý používaný radioizotop v Nemocnici Znojmo p.o. Monitorování je prováděno denně dohlížející osobou na místech uvedených v seznamu. V případě kontaminace pracovníků se postupuje dle Vnitřního havarijního plánu.

Záznamy a jejich uchování vede pracovník, který monitorování provádí, záznam do knih „Měření plošné kontaminace in vivo“. Denně se zaznamenávají pouze hodnoty převyšující vyšetřovací úroveň a jednou týdně se zaznamenávají všechny naměřené hodnoty. Knihy záznamů se uchovávají na oddělení 10 let.

Limity povrchové kontaminace – pro kontrolované pásmo i mimo pásmo jsou 0,4 Bq/cm².

Způsob přešetření vyšší kontaminace – při překročení limitu povrchové kontaminace se vyšetřuje příčina kontaminace, provádí se dekontaminace pod vedením dohlížející osoby nebo osoby s přímou odpovědností za radiační ochranu. Dekontaminace se provádí opakovaně do doby, kdy kontaminaci již opakovaným dekontaminací nelze snížit. Při vyšetřování se klade důraz na zjištění příčiny kontaminace a zamezení jejího opakování. Vyplnou-li z šetření nápravná opatření, budou provedena neprodleně.

Monitorování radioaktivních odpadů

Dokument uvádí:

Kritéria pro likvidaci odpadů – radioaktivní materiál je ukládán v NZ do místnosti odpadů (je označena nápisem kontrolované pásmo), která se nachází v suterénu nemocnice. Podmínky uvolnění odpadu:

- v žádném kilogramu uvolňovaného materiálu není součet podílů průměrných hmotnostních aktivit jednotlivých RN a uvolňovacích úrovní hmotnostní aktivity příslušných RN větší než 1
- na žádných 100 cm² povrchu uvolňovaného materiálu není součet podílů průměrných plošných aktivit jednotlivých uváděných RN a uvolňovacích úrovní plošné aktivity příslušných RN větší než 1
- uložení je provedeno takovým způsobem, že nepůsobí ve vzdálenosti 1 m od povrchu skládky zvýšení příkonu dávkového ekvivalentu o více než 0,1 μSv proti původnímu pozadí.
- příkon dávkového ekvivalentu nesmí být vyšší než 0,4 μSv/h
- uvolňovací úroveň je stanovena na 0,4 Bq/cm²

Tuhé radioaktivní odpady – se třídí podle poločasu rozpadu a ukládá do lepenkových krabic nebo umělohmotných kontejnerů.

Opad se třídí:

Krátkodobý pro RN s fyzikální poločasem rozpadu do 14 dnů (^{81m}Kr, ^{99m}Tc, ¹²³I, ²⁰¹Tl, ⁶⁷Ga, ¹¹¹In, ¹³¹I, ¹⁵³Sm, ⁹⁰Y, ¹⁸⁶Re). Odpad se uvolní po uplynutí 5 měsíců do životního prostředí. Dohlížející osoba provede záznamy o uvolnění do knihy odpadů.

Dvouletý pro RN s fyzikální poločasem delší než 14 dnů (⁵¹Cr, ⁸⁹Sr). Po dvou letech předává a měří aktivitu odpadu dohlížející osoba a provede záznam o uvolnění.

Dlouhodobý pro RN s fyzikální poločasem rozpadu je delší než 100 dnů (^{57}Co). Odpad se uvolní po 5 letech. Před uvolněním odpadu dohlížející osoba přeměří aktivitu, jestli odpad určený k likvidaci nepřekračuje uvolňovací úroveň.

Uvolňovací úroveň pro kontaminovaný odpad:

Dávkový příkon odpadu ve vzdálenosti 1 m nesmí překročit dávkový ekvivalent o více než $0,1 \mu\text{Sv/hod}$ proti původnímu přírodnímu pozadí a celkový příkon dávkového ekvivalentu ve vzdálenosti 1 m nesmí být vyšší než $0,4 \mu\text{Sv/hod}$.

Uvolňovací úroveň je stanovena na ONM ZN $0,4 \text{ Bq/cm}^2$.

Kapalné radioaktivní odpady:

- Nespotřebovaný eluát $^{99\text{m}}\text{Tc}$, nespotebované připravené radiofarmakum nebo jiný otevřený ZIZ
- Vyloučená aktivita močí pacientů

Při propočítání celkové spotřeby vody v nemocnici a vyloučená roční aktivita močí pacientů vyšetřených na ONM do nemocniční kanalizace (propočty jsou uvedeny v dokumentaci), dojdeme k závěru, že nemocnice vypouští do veřejné kanalizace $0,09157 \cdot 10^{-2} \text{ Sv/m}^3$ a limit pro vypouštění odpadních vod do kanalizace je $1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv/m}^3$.

Hlášení úřadu SÚJB

Držitel povolení musí oznamovat Úřadu neprodleně:

- efektivní dávky ze zevního ozáření převyšující hodnotu 10 mSv za monitorovací období
- ekvivalentní dávky na oční čočku ze zevního ozáření převyšující 10 mSv za monitorovací období
- ekvivalentní dávku 150 mSv na končetiny nebo kůži, dosaženou za monitorovací období nebo jednorázově, s vyhodnocením příčin takové situace a přijatými závěry,
- efektivní dávky ze zevního ozáření převyšující hodnotu 15 mSv , které byly dosaženy sečtením v jednotlivých monitorovacích obdobích
- ekvivalentní dávky na oční čočku ze zevního ozáření převyšující 15 mSv , které byly dosaženy sečtením v jednotlivých monitorovacích obdobích

- ekvivalentní dávku 300 mSv na končetiny nebo kůži, které byly dosaženy sečtením v jednotlivých monitorovacích obdobích, a to též v průběhu roku, s vyhodnocením příčin takové situace a přijatými závěry

Pokud hodnota překročí zásahovou úroveň v osobní dozimetrii držitel povolení musí skutečnost oznámit SÚJB. U všech událostí musí být provedeno šetření, vypracován protokol, jehož kopie se odesílá do 24 hod na regionální centrum Úřadu (Nemocnice Znojmo p.o.).

1.7.10 Vnitřní havarijní plán

Vnitřní havarijní plán je dokument, ve kterém jsou popsány činnosti a opatření, které vedou ke zmírnění nebo odstranění následků mimořádné události. Zpracovávají je provozovatelé činnosti nebo majitelé objektu (HZS, 2019)

Radiační mimořádná událost je událost, která vede nebo může vést k překročení limitů ozáření a která vyžaduje opatření, jež by zabránila jejich překročení nebo zhoršování situace z pohledu zajištění radiační ochrany.

Radiační mimořádnou událostí prvního stupně je radiační mimořádná událost zvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální směně osoby, při jejíž činnosti radiační mimořádná událost vznikla,

Radiační nehoda je radiační mimořádná událost nezvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální směně osoby, při jejíž činnosti radiační mimořádná událost vznikla, nebo vzniklá v důsledku nálezu, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje, která nevyžaduje zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo.

Radiační havárie je radiační mimořádná událost nezvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální směně osoby při jejíž činnosti radiační mimořádná událost vznikla, nebo vzniklá v důsledku nálezu, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje, která vyžaduje zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo.

V dokumentaci ONM NZ v části A je uvedeno:

1. Identifikační údaje držitele povolení
 - předmět povolené činnosti
 - rozsah povolené činnosti

- místo výkonu činnosti
 - doba povolené činnosti
 - evidenční číslo držitele povolení
2. Osoba odpovědná za zpracování vnitřního havarijního plánu
 3. Komunikační spojení na osoby určené k řízení odezvy
 4. Charakteristika používaných zdrojů
 5. Popis a adresa pracoviště
 6. Výčet činností v rámci expozičních činností při nakládání se ZIZ
 7. Zařazení pracoviště do kategorie ohrožení

V dokumentaci ONM NZ v části B je uvedeno:

1. Výčet a popisy radiačních událostí

Radiační mimořádná událost I. stupně – může nastat při:

- rozlití většího množství RF nebo RN do prostor pracoviště
- kontaminace pracovníků
- nepřípustné ozáření radiačního pracovníka (pouze v případě uzavření pracovníka v místnosti kamery za chodu CT)
- překročení zásahové úrovně v osobní dozimetrii

Radiační nehoda – může nastat při:

- mechanické zničení Tc generátoru na oddělení spojené s kontaminací prostředí a osob
 - zcizení Tc generátoru
2. Ovlivnění sousedící osoby vznikem radiační mimořádné události prvního stupně nebo radiační nehodou není možné, protože tyto mimořádné události jsou omezeny na oddělení.

V dokumentaci ONM NZ v části C je uvedeno:

1. Zjištění mimořádné události
 - Vyhlášení mimořádné události na pracovišti
 - Aktivace zasahujících osob
2. Technické a organizační opatření pro řízení a provádění odezvy
3. Řízení a provádění odezvy
4. Omezení havarijního ozáření
5. Zdravotnické zajištění
6. Prověřování připravenosti k odezvě

7. Ověřování havarijních plánů a zásahových instrukcí
8. Ověřování funkčnosti technických prostředků
9. Ukončení odezvy
10. Seznam osob a orgánů
11. Osoba odpovědná za zajištění seznámení s připraveností k odezvě
12. Zásahové postupy a instrukce
13. Předávání údajů úřadu
14. Dokumentování činností při mimořádné události
15. Hlášení mimořádné události (Nemocnice Znojmo p.o.)

2 Cíl práce a výzkumná otázka

Cíl práce

1. Analýza současného stavu radiační ochrany na oddělení nukleární medicíny v nemocnici Znojmo, p.o. v souladu s novou legislativou.
2. Analýza monitorování pracovníků a pacientů.

Výzkumná otázka

Je dostatečná optimalizace radiační ochrany na oddělení nukleární medicíny v Nemocnici Znojmo, p.o?

3 Metodika výzkumu

Diplomová práce byl kvalitativní výzkum, který se zabýval analýzou radiační ochrany na oddělení nukleární medicíny Nemocnice Znojmo p.o. a analýzou monitorování pracovníků a pacientů. Pro výzkum byla stanovená dvě kritéria. První kritérium se zabývalo efektivní a ekvivalentní dávkou radiačních pracovníků ONM NZ p.o. Druhé měřítko bylo hodnocení dávek pacientů vyšetřených nejčastější vyšetřovací metodou „Statickou scintigrafií kostí“ a pacientů vyšetřených metodou „Dynamickou scintigrafií kostí“.

3.1 Monitorování pracovníků

Sledovanou skupinu tvořili pracovníci oddělení nukleární medicíny v Nemocnici Znojmo p.o., kteří patřili do skupiny radiačních pracovníků kategorie A. Z efektivních dávek radiačních pracovníků byla vypočítaná kolektivní dávka, průměrná dávka a byla stanovena maximální a minimální dávka. Veličina efektivní dávky měla pro výzkum statistický význam z pohledu hodnocení radiační ochrany.

Dále byli pracovníci zařazeni do tří skupin s ohledem na jejich pracovní činnost a získané hodnoty byly porovnány. Retrospektivní studie se vztahuje k období od roku 2008 do roku 2018. Data byla čerpána od dozimetrické služby, které provádí měsíční vyhodnocení osobních dozimetrů všech pracovníků ONM Nemocnice Znojmo p.o. zařazených do kategorie A. Jedná se o dozimetrickou službu CSOD s.r.o. Praha, která v roce 2017 změnila svůj název na NUVIA Dosimetry s.r.o. (NUVIA Dosimetry, 2017).

3.1.1 Osobní monitorován filmovým dozimetrem

Získané hodnoty efektivní dávky $H_p(10)$ byly zpracovány a u radiačních pracovníků byla vypočítaná kolektivní dávka, průměrná dávka a byla stanovena maximální a minimální dávka. Hodnoty byly porovnány se stanovenou „Dávkovou optimalizační mezí“ na ONM Nemocnice Znojmo p.o., která určuje horní hranici předpokládané dávky v optimalizaci RO.

Dávkové optimalizační meze pro všechny radiační pracovníky:

Dávková optimalizační mez pro interval jeden měsíc 2 mSv

Dávková optimalizační mez pro interval jeden rok 5 mSv

Jelikož na ONM ZN se měnil počet zaměstnanců během sledovaného období, byla provedena korelace mezi kolektivní efektivní dávkou a počtem radiačních pracovníků. Pro korelace byla provedena v programu v Microsoft Excelu a byla zvolena statistická funkce PEARSON (Microsoft Excel, 2019).

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Pracovníci ONM NZ p.o. byli rozděleni pro analýzu do tří skupin. První skupinu tvořilo 6 zdravotních sester, tato skupina připravovala jednotlivé dávky radiofarmak podle aktivity a váhy pacienta do injekčních stříkaček a ve vybraných případech farmakum aplikovala intravenózně. Následně podle daných vyšetřovacích postupů všeobecné sestry pacienty vyšetřovaly na SPECT/CT a během vyšetření dohlížely na zdravotní stav pacienta. Druhou skupinu tvořili farmaceutičtí asistenti, kteří prováděli eluci v molybdenovém generátoru, prováděli test radiochemické čistoty a připravovali radiofarmaka pro všechna vyšetření a léčbu na ONM ZN p.o. Třetí skupinu tvořili ostatní pracovníci, mezi ně patřili lékaři, kteří aplikovali vybraná radiofarmaka pacientům. Dále fyzik, který zabezpečoval kontrolu a kalibraci scintilačních přístrojů, a zároveň byl dohlížející osobou na práci se ZIZ. Do třetí skupiny byla zařazena v pracovnice zajišťující úklid, který se starala o dezinfekci a čistotu oddělení a odnášela radioaktivní odpad do vymírací místnosti.

Monitorovací úrovně pro filmové dozimetry na ONM ZN jsou:

Záznamová úroveň 0,1 mSv

Vyšetřovací úroveň 0,7 mSv za kalendářní měsíc

E resp. H_p (10) 4,0 mSv od počátku roku

Zásahová úroveň 2 mSv

E resp. H_p (10) 6,0 mSv od počátku roku

Překročení zásahové úrovně je považována za mimořádnou událost I. Stupně.

Byla vypočtena kolektivní efektivní dávka pro jednotlivé skupiny a navzájem porovnána mezi jednotlivými skupinami.

Všichni pracovníci při práci používají ochranné pomůcky, nástroje, stínící boxy a ochranná zařízení např. stínící digestoře. Snaží se pohybovat v místech se zvýšenou radioaktivitou jen nezbytně nutnou dobu, chrání se dostatečnou vzdáleností od ZIZ. Filmový dozimetr nosí na ochranné zástěře na levé straně hrudníku, a to na referenčním místě.



Obrázek 7 Osobní filmový dozimetr (Faktum design, 2004)

3.1.2 Osobní monitorování prstovým dozimetrem

Hodnoty ekvivalentní dávky z prstového dozimetru byly získány, od autorizované dozimetrické služby CSOD Praha. Hodnoty ekvivalentní dávky $H_p(0,07)$ byly zpracovány a u radiačních pracovníků byla vypočítaná součet dávek, průměrná dávka a byla stanovena maximální a minimální dávka. Hodnoty byly porovnány se stanovenou „Dávkovou optimalizační mezí“ na ONM Nemocnice Znojmo p.o., která určovala horní hranici předpokládané dávky v optimalizaci RO. Dávkové optimalizační meze byly stanoveny dohlížející osobou Pro radiační pracovníky, kteří připravovali radiofarmaka, byly optimalizační meze vyšší než pro ostatní radiační pracovníky.

Dávkové optimalizační meze pro radiační pracovníky připravující radiofarmaka:

Dávková optimalizační mez pro interval jeden měsíc	80 mSv
Dávková optimalizační mez pro interval jeden rok	200 mSv

Dávkové optimalizační meze pro ostatní pracovníky:

Dávková optimalizační mez pro interval jeden měsíc	10 mSv
Dávková optimalizační mez pro interval jeden rok	50 mSv

Ekvivalentní dávky byly porovnány s monitorovacími úrovněmi pro osobní termoluminiscenční dozimetrii.

Stanovené hodnoty ONM ZN pro monitorovací úrovně TLD jsou:

Záznamová úroveň	0,1 mSv
Vyšetřovací úroveň	15,0 mSv za kalendářní měsíc
E resp. H _p (0,07)	150,0 mSv od počátku roku
Zásahová úroveň	50,0 mSv
E resp. H _p (0,07)	500,0 mSv od počátku roku

Překročení zásahové úrovně je považována za mimořádnou událost I. Stupně.

Na ONM ZN se měnil počet zaměstnanců během sledovaného období, byla provedena korelace mezi kolektivní efektivní dávkou a počtem radiačních pracovníků. Pro korelace byla provedena v programu v Microsoft Excelu a byla zvolena statistická funkce PEARSON (Microsoft Excel, 2019).

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Radiační pracovníci byli stejně jako u filmových dozimetrie rozděleni do tří skupin. První skupinu tvořily všeobecné sestry, druhá skupina patřila farmaceutickým asistentům a ve třetí skupině byli lékaři. U všech skupin byla vypočtena kolektivní ekvivalentní dávka a byla navzájem porovnána mezi jednotlivými skupinami.



Obrázek 8 Prstový termoluminiscenční dozimetr (VF, 2008)

Termoluminiscenční prstový dozimetr nosili radiační pracovníci na ruce, která mohla obdržet největší expozici během výkonu práce. Prstovým dozimetrem lze měřit ekvivalentní dávku – rentgenového záření, gama záření a beta záření (VF, 2008).

3.1.3 Osobní monitorování

Pro analýzu osobních dávek v oblasti efektivní a ekvivalentní dávky byli zvoleni radiační pracovníci skupiny A, kteří používali filmový i prstový dozimetr. Obdržené roční hodnoty efektivní a ekvivalentní dávky byly rozděleny podle profese do tří skupin – sestry, farmaceutičtí asistenti a lékaři. Hodnoty byly zaznamenány do grafu. Jednotlivé skupiny byly porovnány.

3.2 Monitorování pacientů

Pro analýzu monitorování dávek pacientů byly zvoleny dvě vyšetření nejčastěji prováděná statická scintigrafie kosti a dynamická scintigrafie ledvin:

1. **Statická scintigrafie kostí** – vyšetření kosti je nejčastější vyšetření ONM ZN. Randomizovaným výběrem bylo vybráno 20 pacientů z 139 pacientů o různé hmotnosti. Pacientům 2–3 hodiny před vyšetření byl aplikován radionuklid ^{99m}Tc (technecium) při pravené s kitem HDP. Jednalo se

o celotělové scintigrafické vyšetření provedené na přístroji SPECT/CT (hybridní gamakamera SPECT/CT Symbia Intevo Excel).

2. **Dynamická scintigrafie ledvin** – jednalo se o dynamické vyšetření ledvin. Randomizovaným výběrem bylo vybráno 20 pacientů z 58 pacientů o různé hmotnosti. Aplikováno těsně před vyšetřením ^{99m}Tc + MAG3. Pacienti byly vyšetřeny na planární scintigrafické kameře (gamakamera MB 9301).

U jednotlivých vyšetření byla vypočítána průměrná aktivita v MBq pro pacienta vážícího 70 kg. Vypočítaná aktivita byla porovnána s „Místní diagnostickou referenční úrovní“ (MDRÚ) a s „Národní diagnostickou referenční úrovní“ (DRÚ). Diagnostické referenční úrovně národní i místní se vztahovaly k aplikované aktivitě dospělému pacientovi o referenční hmotnosti 70 kg (viz tabulka č. 6).

Druh vyš.	Radiofarmakum	MDRÚ v MBq	DRÚ V MBq	Zákl.akt.pro výpočet u dětí v MBq	Poznámka
SSK	^{99m}Tc HDP	800	800	35	Max. 1200 MBq
DSSL	^{99m}Tc MAG3	200	250	34	max.300 MBq

Tabulka 6 Diagnostické referenční úrovně (vlastní zdroj)

Denní rozpočet aplikovaných dávek na ONM NZ p.o byl generován v počítačovém programu Excel, ve kterém byly nastavena makra s funkcemi, jež zohledňovaly koeficienty např. radionuklidu, času, pro odhad efektivní dávky, váhy pacienta atd. Průvodní list pro přípravu radiofarmak se vytiskl do papírové podoby a byl schválen lékařem. Sestra nachytala radiofarmaka podle původního listu připraveného radiofarmaka (viz obrázek č. 9).

Po aplikaci byla dávka v MBq zapsána i s čase aplikace do dokumentace pacienta. Příprava radiofarmaka, chystání jednotlivých dávek a aplikace byla v dokumentaci stvrzena jménem a podpisem radiačního pracovníka.

Průvodní list připraveného radiofarmaka.

Přípravek je určen do rukou lékaře

Vyšetření:	DSSL	Název RF:	TechneScan MAG 3
Radionuklid :	99mTc	Datum exp. kitu :	8.2.19
Číslo šarže kitu:	363417	Datum exp. fyz. roztok :	31.3.19
Číslo šarže fyziolog.roztoku:	02090314A	Celková aktivita :	2471 MBq
Datum příprav :	24.8.18	Celkový objem:	10,0 ml
Čas přípravy :	06:45 hod.	Měrná aktivita :	247,1 MBq/ml
Inkubace do:	07:05 hod.		
Použitelnost :	15:05 hod.		
Způsob podání:	PNC lahvička		
RF připravil :		Podpis :	

Rozpočet jednotlivých dávek RF aplikovaných pacientům na den:

24.8.18

Neobracíme!! Přípravek nesmí přijít do styku s pryžovou zátkou!!

Aplikovaná aktivita pacientovi s hmotnostním koef. =1 je:

200

Max.možná apl.aktivita 400 MBq

Označení dávky RF	čas aplikace		jméno pacienta	dítě <15 r [x]	hmotnost kg	koef. hmot.	Aplikované		Aktivita v době přípravy (MBq)	Celotělová dávka pacienta (mSv)	
	hod.	min.					objem (ml)	aktivita (MBq)			
K dispozici je ještě :							4,32 ml.				
1	7	30			105		1,17	266	289	0,53	
2	8	0			56		0,80	171	197	0,34	
3	8	30			70		0,99	200	244	0,40	
4	9	0			139		1,69	323	418	0,65	
5	9	30			63		1,03	186	255	0,37	
							5,68 ml		1404		

Dávky připravila:

Podpis:

Kontrola lékařem:

Podpis:

Obrázek 9 Průvodní list připraveného radiofarmaka (ONM NZ p.o.)

4 Výsledky

4.1 Monitorování pracovníků

Analýza monitorování pracovníků na ONM Nemocnice Znojmo p.o. od roku 2008 až do konce roku 2018.

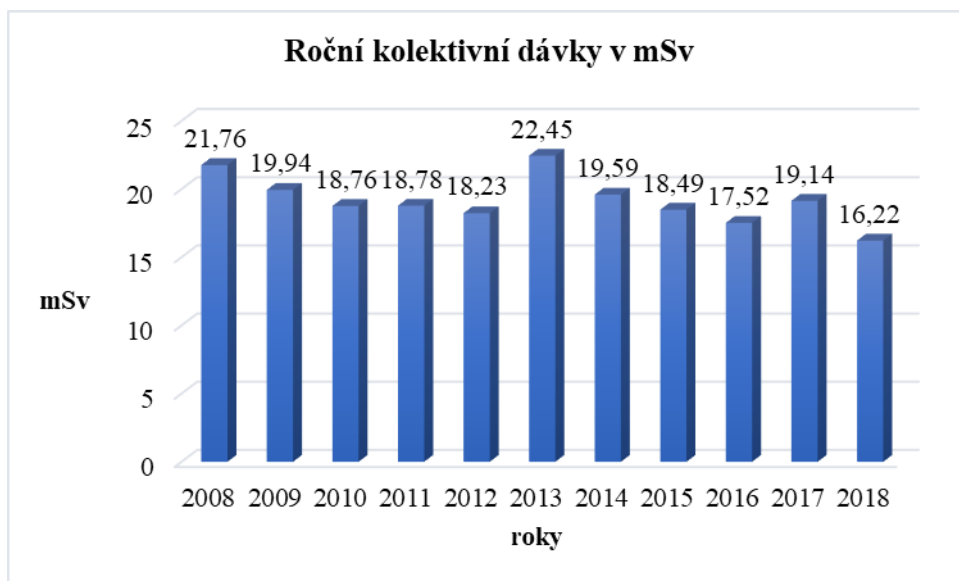
4.1.1 Osobní monitorován filmovým dozimetrem

Měsíční efektivní dávky byly sečteny u jednotlivých radiačních pracovníků a byly od roku 2008 do roku 2018 zaneseny do tabulky č.7.

Efektivní dávka na celé tělo (mSv)											
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
sestra 1	1,49	1,41	1,29	1,29	1,36	2,43	1,66	1,39	1,41	1,62	1,08
sestra 2	2,95	2,5	1,32	1,33	1,38	1,61	1,43	1,28	1,28	1,28	1,1
sestra 3	2,03	1,47	1,2	1,54	1,66	2,5	1,94	1,91	1,41	1,6	1,23
sestra 4	2,12	1,94	1,29	2,79	2,98	1,98	1,44	1,4	1,37	1,46	1
sestra 5	2,84	1,77	1,45	1,76	1,49	2,63	2,41	2,1	1,32	2,06	1,55
sestra 6	1,39	1,37	1,5	2,23	1,98	2,7	1,96	1,84	1,97	2,11	1,39
farmaceut 1	1,77	1,51	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	0,6	1,05
farmaceut 2	0,6	1,2	1,2	0,1						0,5	1,22
farmaceut 3	1,2	1,2	1,29	1,39	1,2	1,34	1,2	1,2	1,2	1,26	1,1
farmaceut4			1,98			0,8	1,2	1,2	1,2	1,2	1,16
lékař 1	1,47	1,97	1,44	1,55	1,38	1,66	1,55	1,37	1,3	1,5	1,23
lékař 2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,55	1,11
ing.	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1
úklid	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,56	1,2	1

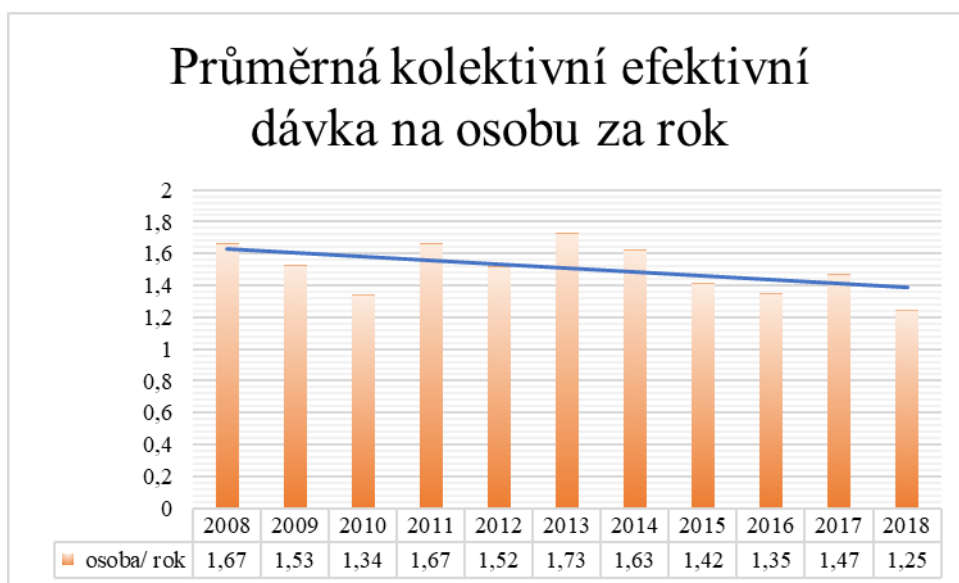
Tabulka 7 Roční efektivní dávka z filmového dozimetru $H_p(10)$ (vlastní zdroj)

Následně byla vypočítána roční kolektivní efektivní dávka (viz graf č.1).



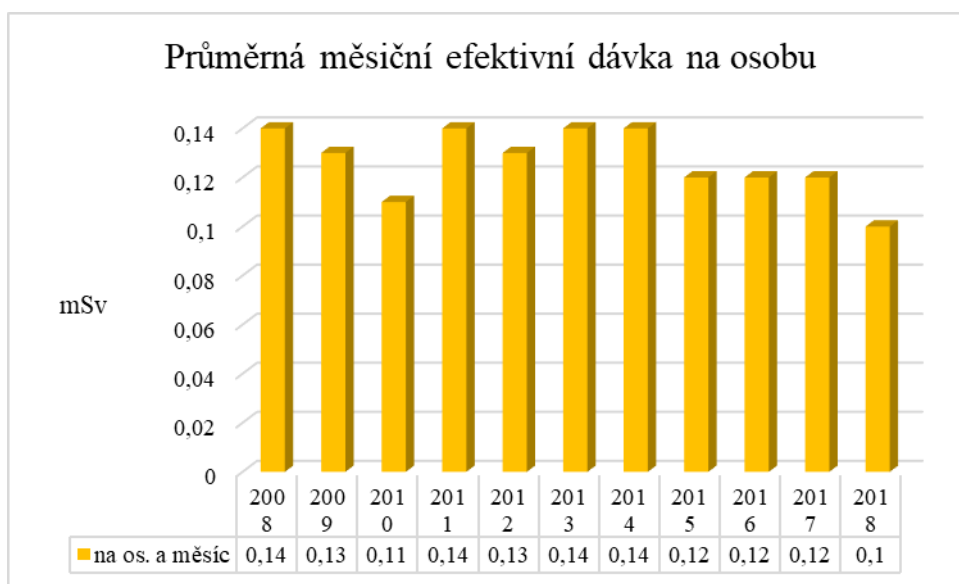
Graf 1 Roční součet kolektivních efektivních dávek (vlastní zdroj)

Roční kolektivní efektivní dávky se pohybovaly v rozmezí od 16,22 do 22,45 mSv a průměrná roční kolektivní dávka byla 19,17 (viz graf č. 1). Průměrná kolektivní dávka na osobu a rok se pohybovala od 1,35 do 1,73 mSv jak uvádí graf č. 2.



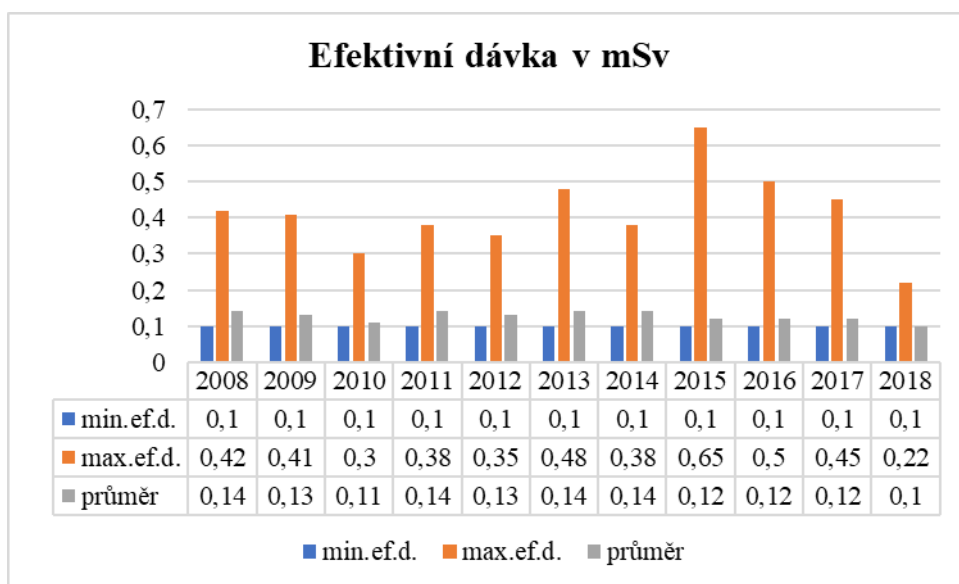
Graf 2 Průměrná efektivní dávka na osobu za rok v mSv (vlastní zdroj)

Roční optimalizační mez byla nastavena na 5 mSv, podle grafu č. 2 nebyla tato mez překročena v žádném roce sledovaného období. Průměrná efektivní dávka na osobu a měsíc se pohybovala od $0,1 \pm 0,14$ mSv (viz graf č. 3).



Graf 3 Průměrná měsíční efektivní dávka na osobu (vlastní zdroj)

Efektivní měsíční dávky minimální, maximální a průměrné v sledované období pohybovaly (viz graf č. 4). Přičemž průměrná měsíční efektivní dávka za sledované období byla 0,13 mSv, a měsíční efektivní dávky se pohybovaly od $0,1 \pm 0,65$ mSv.

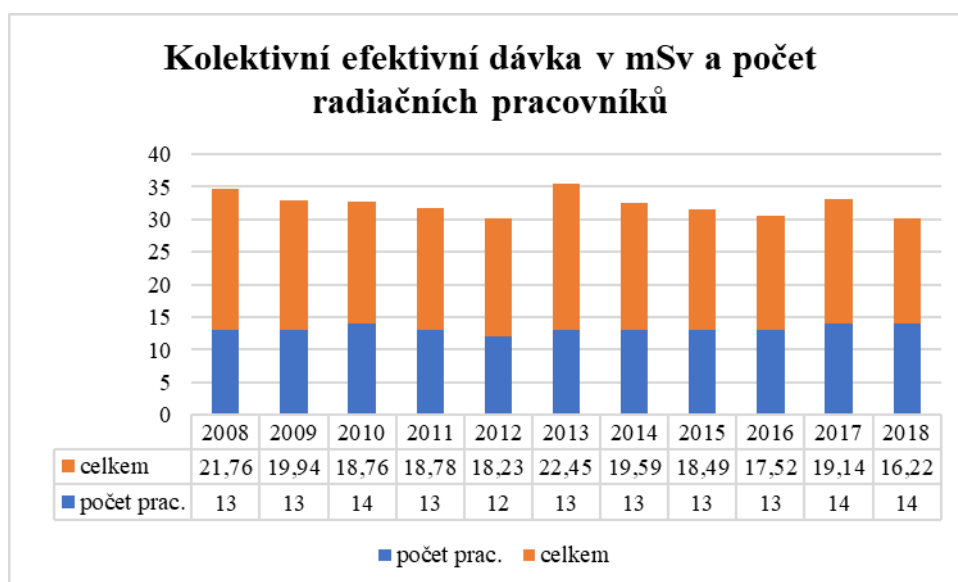


Graf 4 Efektivní měsíční dávka v mSv - min., max. a průměrná (vlastní zdroj)

Z pohledu monitorovacích úrovní se všechny hodnoty filmových dozimetrů pohybovaly v záznamové bezvýznamné úrovni. Nejnižší měsíční hodnota efektivní

dávky $H_p(10)$ byla 0,1 mSv a nejvyšší byla 0,65 mSv. Nejvyšší hodnotě 0,65 mSv, která byla naměřena u sestry 5, podle šetření sestra pracovala déle v prostředí se zvýšeným rizikem možné expozice. Dále byla věnována pozornost měsíční efektivní dávce u pracovnice úklidu, která měla měsíční efektivní dávku 0,54 mSv. Zde bylo zjištěno, že pracovnice byla na vyšetření na radiodiagnostickém oddělení a během tohoto vyšetření měla dozimetr připnutý na referenčním místě.

Měsíční hodnoty vyšetřovací a zásahové úrovně efektivní dávky nebyly překročeny u žádného radiačního pracovníka. Dávková optimalizační mez pro vyhodnocovací interval jeden měsíc byla stanovena na ONM Nemocnice Znojmo p.o. na 2 mSv. Optimalizační mez v oblasti efektivní dávky nebyla překročena u žádného radiačního pracovníka ve sledovaném období.



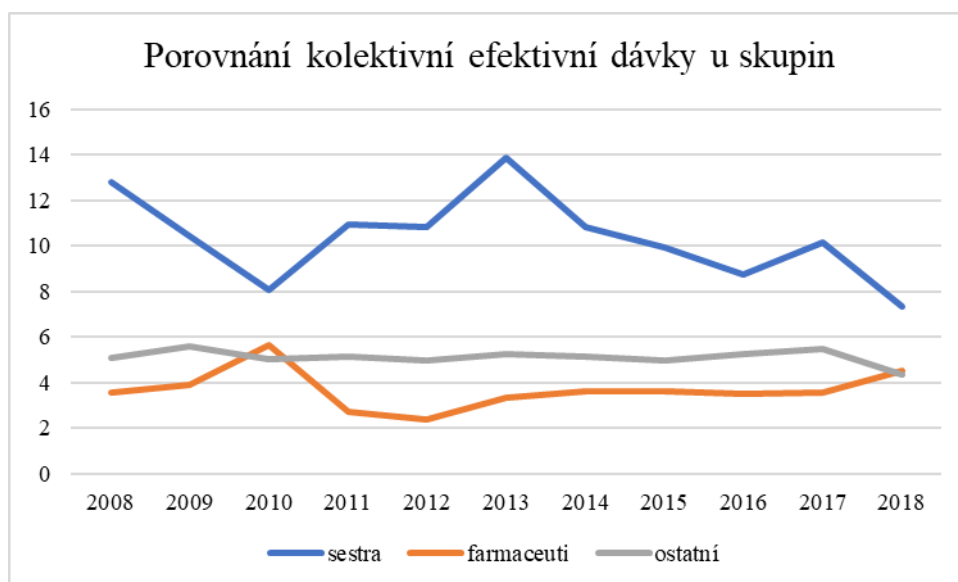
Graf 5 Kolektivní efektivní dávka a počet radiačních pracovníků (vlastní zdroj)

Graf č. 5 uvádí porovnání kolektivní efektivní dávka s počtem radiačních pracovníků v daném období. Byla provedena korelace mezi kolektivní efektivní dávkou a počtem pracovníků $r = - 0,23$ viz tabulka č.8. Výsledná korelace byla nízká, vztah mezi počtem pracovníků a roční kolektivní dávkou je velmi slabý.

rok	počet prac.	kol.ef.dávka
2008	13	21,76
2009	13	19,94
2010	14	18,76
2011	13	18,78
2012	12	18,23
2013	13	22,45
2014	13	19,59
2015	13	18,49
2016	13	17,52
2017	14	19,14
2018	14	16,22
směr.odchylka	0,6	1,77
průměr	13,18	19,17
Korelační k.	-0,23	

Tabulka 8 Korelace kolektivní ef. dávky v mSv a počtu pracovníků (vlastní zdroj)

Byly porovnány roční kolektivní efektivní dávky v mSv u celotělového ozáření u jednotlivých skupin ve sledovaném období. U skupiny sester byly dávky nejvyšší pohybovaly se od 7,35 do 13,85 mSv. Dávky u skupiny farmaceutických asistentů se nacházely v rozmezí od 2,4 do 5,67 mSv. Roční hodnoty u skupiny ostatních pracovníků se pohybovaly v rozmezí od 4,34 do 5,57 mSv (viz graf č. 6).



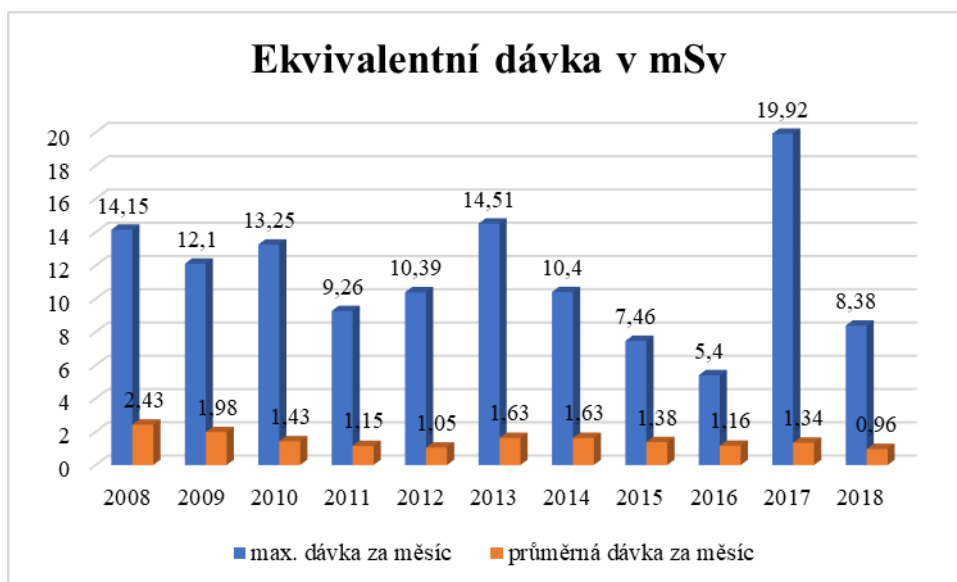
Graf 6 Porovnání kolektivních dávek vybraných skupin za období od 2008 do 2018 (vlastní zdroj)

4.1.2 Osobní monitorování prstovým dozimetrem

Ekvivalentní dávky byly sečteny u jednotlivých radiačních pracovníků, zahrnuty byly údaje od roku 2008 do roku 2018 a výsledné roční $H_p(0,07)$ dávky byly zapsány do tabulky č.9.

Ekvivalentní dávka na ruce a prsty											
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
sestra 1	8,96	7,07	8,85	6,2	3,88	10,39	9,12	11	4,6	2,23	1,41
sestra 2	12,59	10,34	10,65	9,85	11,55	11,11	13,34	10,38	10,29	9,63	6,22
sestra 3	4,62	13,25	7,17	6,28	9,05	9,89	9,94	8,08	7,92	8,1	6,95
sestra 4	12,1	7,05	1,59	3,24	3,2	1,54	8,56	4,83	6,62	4,77	4,54
sestra 5	9,56	8,46	8,37	6,98	6,2	5,44	6,65	5,25	4,5	5,69	23,58
sestra 6	20,15	10,42	10,34	8,49	7,26	9,49	5,69	5,79	9,16	6,42	5,53
farmaceut 1	117,68	49,72	58,79	68,79	65,21	48,86	42,09	44,55	18,09	63,1	33,62
farmaceut 2	11,18	94,63	53,66	14,35	1,22	0	0	0	0	19,14	14,17
farmaceut 3	66,48	57,94	29,56	35,39	40,07	41,01	47,65	39,38	38,84	24,01	18,99
farmaceut 4	44,91		14,08	2,99	1,32	74,63	69,62	49,5	50,08	36,46	20,29
lékař 1	1,28	1,66	1,58	1,29	1,24	1,41	1,21	1,28	1,21	1,2	1,15
lékař 2	1,2	1,2	1,33	1,26	1,22	1,22	1,24	1,18	1,2	1,29	1,28

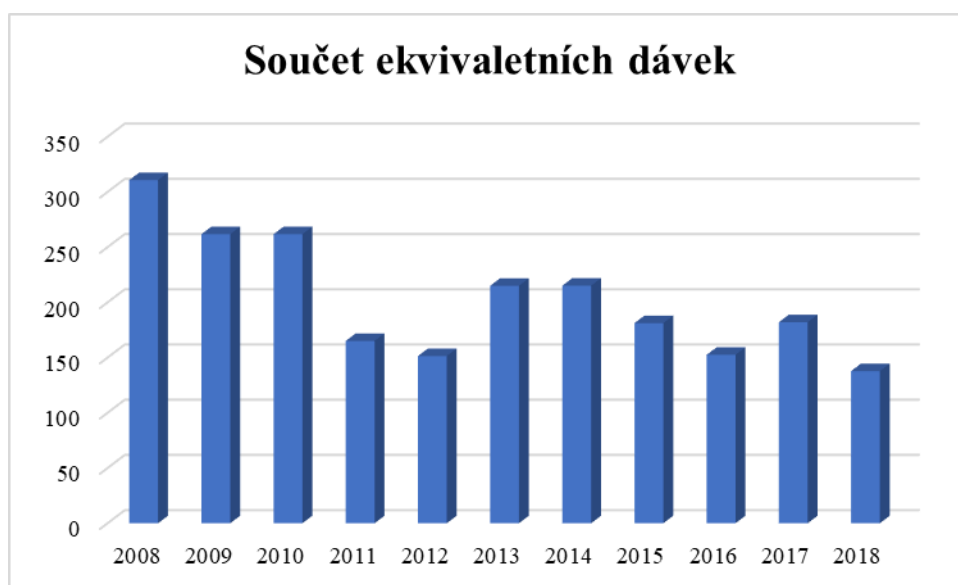
Tabulka 9. Součet ekvivalentních dávek od roku 2008 do roku 2018 (vlastní zdroj)



Graf 7 Ekvivalentní dávka na ruce a prsty za měsíc (vlastní zdroj)

Optimalizační mez podle grafu č.7 byla vyšší v sedmi případech, než je stanovená hodnota pro ostatní radiační pracovníky ONM NZ. Ve všech případech jednalo o radiační pracovníky připravující radiofarmaka, u kterých byla stanovená optimalizační mez vyšší. Hodnota optimalizační meze pro radiační pracovníky nebyla překročena. Maximální a průměrnou měsíční dávku uvádí graf č. 7. Minimální ekvivalentní dávka za měsíc byla 0,07 mSv.

Během sledovaného období byla jedenkrát překročena překročená stanovená vyšetřovací úroveň. Jednalo se o radiačního pracovníka připravujícího radiofarmaka, naměřená hodnota byla 19,92 mSv, u radiačního pracovníka byla překročena stanovená měsíční vyšetřovací úroveň. Příčina překročení úrovně byla následně šetřena a byla zjištěna příčina výkyvu, jednalo se o neopatrnou manipulaci s radiofarmakem u nového radiačního pracovníka. Roční vyšetřovací úroveň u tohoto pracovníka překročena nebyla.



Graf 8 Součet ekvivalentní dávky za sledované období (vlastní zdroj)

Graf č. 8 zobrazuje součet měsíčních ekvivalentních dávek u všech pracovníků a zařazený do sledovaného období. Hodnoty nám ukázaly vývoj radiační zátěže na ruce a prsty u všech radiačních pracovníků na ONM NZ od roku 2008 až do roku 2018. Nejnižší roční hodnota v přepočtu na osobu byla 1,15 mSv a nejvyšší 117,68 mSv. Průměr ročních dávek na osobu byl 17,15 mSv.



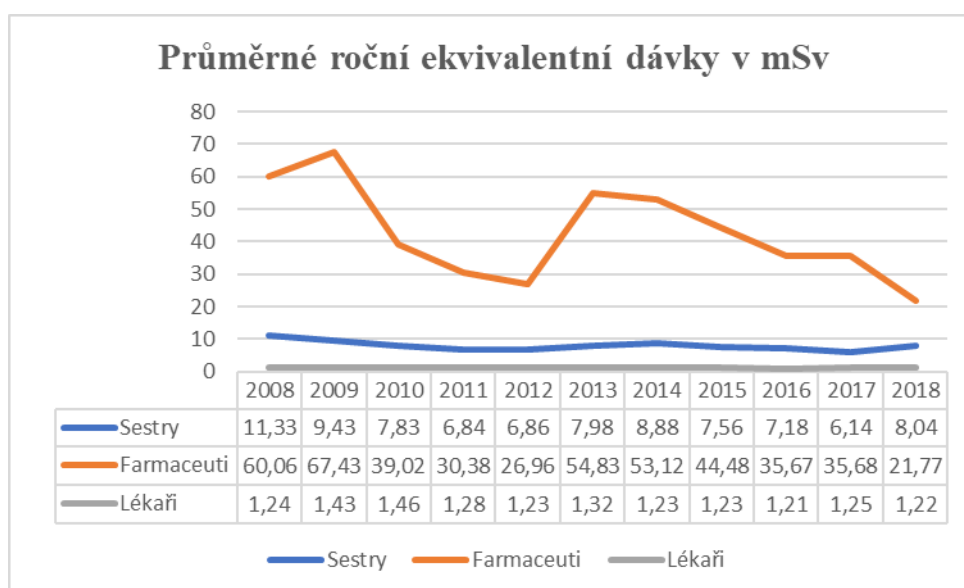
Graf 9 Kolektivní ekvivalentní dávka a počet pracovníků (vlastní zdroj)

Graf č. 9, uvádí porovnána kolektivní ekvivalentní dávka s počtem radiačních pracovníků v daném období. Roční kolektivní ekvivalentní dávky se pohybovaly v rozmezí od 137,73 do 310,71 mSv a průměrná roční kolektivní dávka byla 198,05 mSv.

Byla provedena korelace mezi kolektivní ekvivalentní dávkou a počtem pracovníků používajících prstový dozimetr $r = -0,03$ (viz tabulka č.10). Závislost počtu pracovníků a dávky se neprokázala

rok	počet prac.	součet ekviv.dávky
2008	12	310,71
2009	11	261,74
2010	12	261,74
2011	12	165,11
2012	12	151,42
2013	11	214,99
2014	11	215,11
2015	11	181,22
2016	11	152,51
2017	12	182,04
2018	12	137,73
směr.odchylka	0,52	55,32
průměr	11,5	203,12
Korelační k.	-0,03	

Tabulka 10 Korelace kolektivní ekv. dávky v mSv a počtem pracovníků (vlastní zdroj)



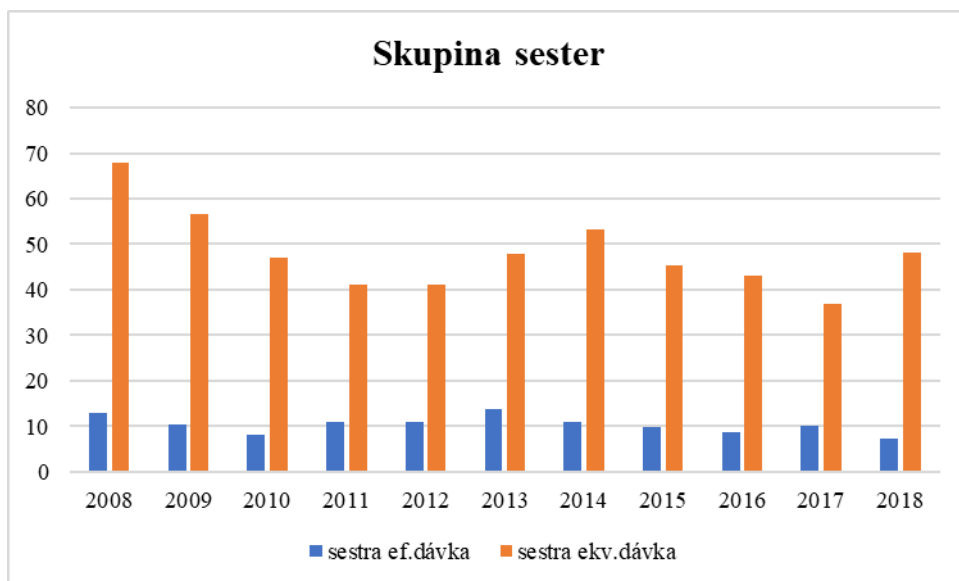
Graf 10 Porovnání průměrné roční ekvivalentní dávky od roku 2008 do roku 2018 (vlastní zdroj)

Průměrné ekvivalentní dávky u radiačních pracovníků vlastních termoluminiscenční prstový dozimetr byly podle profese zařazeny do tří skupin. První skupinu tvořily sestry a jejich roční dávky se pohybovaly od 6,14 do 11,33 mSv. Ve druhé skupině byli farmaceuti a jejich hodnoty dávek se pohybovaly od 21,77 do 67,43 mSv. Třetí skupinu zastupovali lékaři a hodnoty roční kolektivní ekvivalentní dávky se pohybovaly v rozmezí od 1,21 do 1,46 mSv.

Ekvivalentní dávky jednotlivých skupin byly porovnány. Nejvyšší dávku na ruce podle grafu č.10 obdrželi farmaceutičtí pracovníci.

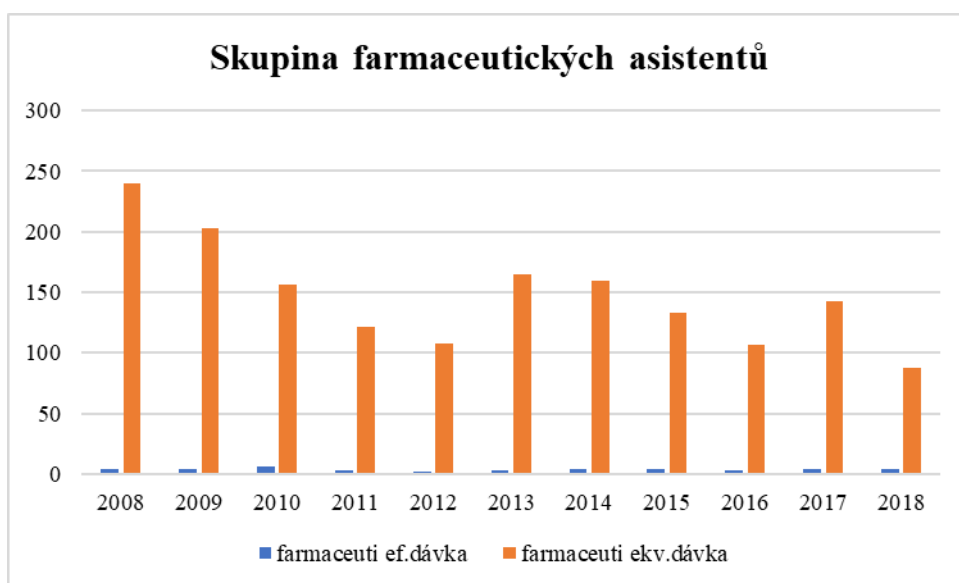
4.1.3 Osobní monitorování

Obdržené hodnoty roční efektivní a ekvivalentní dávky podle profese byly zaznamenány do grafu. U skupiny sester se součet efektivních dávek pohyboval od 7,35 do 13,85 mSv a u ekvivalentních dávek byl od 41,04 do 67,98 mSv (viz graf č. 11).



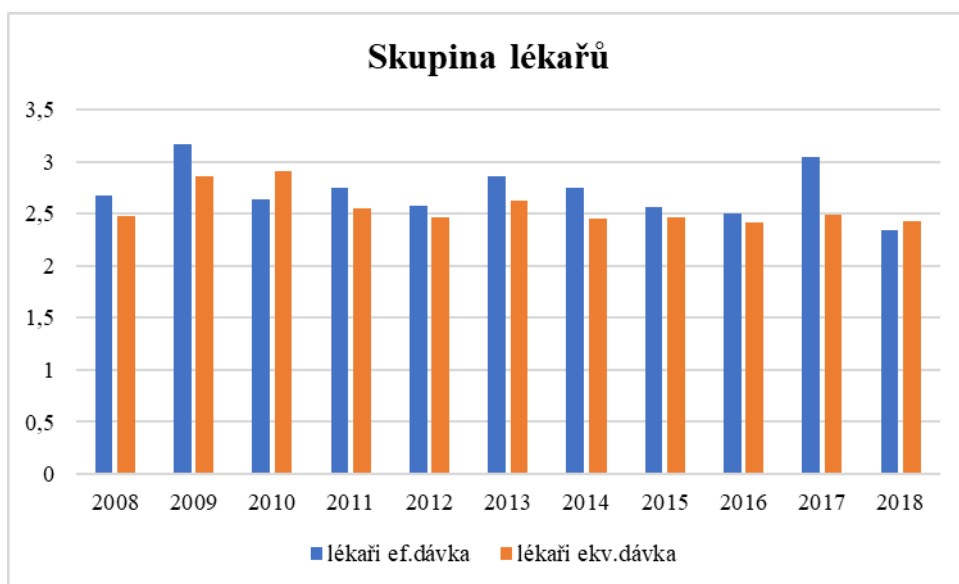
Graf 11 Součet roční efektivní a ekvivalentní dávka u sester v mSv (vlastní zdroj)

U skupiny farmaceutických asistentů se součet efektivních dávek pohyboval od 2,4 do 5,67 mSv a u ekvivalentních dávek byl v rozmezí od 87,07 do 240,25 mSv (viz graf č. 12).



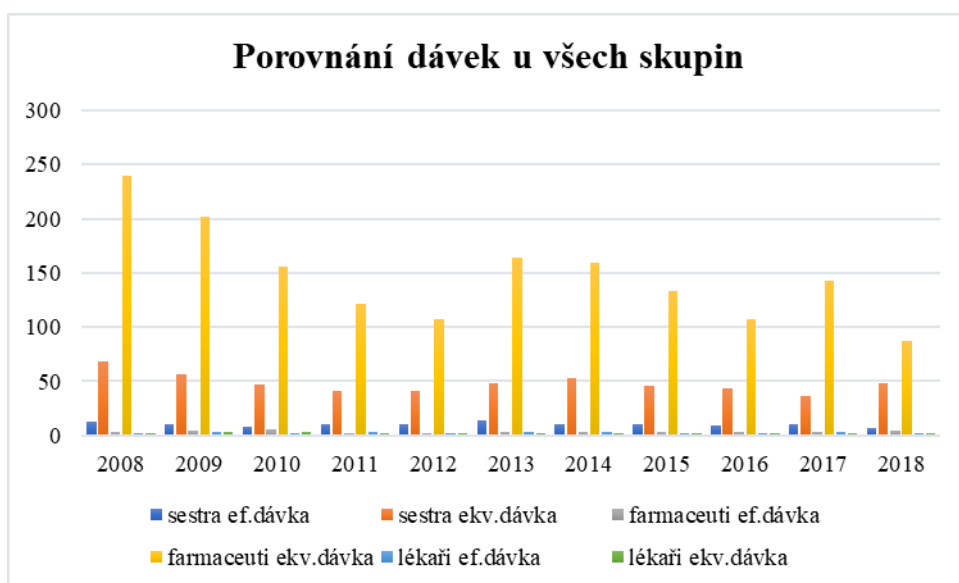
Graf 12 Součet roční efektivní a ekvivalentní dávky u far.asistentů v mSv (vlastní zdroj)

Poslední skupina lékařů měla součet efektivních dávek v rozmezí od 2,5 do 3,17 mSv a u ekvivalentních dávek byl od 2,41 do 2,91 mSv (viz graf č. 13).



Graf 13 Součet roční efektivní a evidentní dávky u lékařů v mSv (vlastní zdroj)

Na závěr byl porovnán součet ročních hodnot všech skupin v oblasti efektivních i ekvivalentních dávek (viz graf 14).



Graf 14 Porovnání součtu ročních efektivních a ekvivalentních dávek v mSv u tří skupin radiačních pracovníků (vlastní zdroj)

Ze součtu naměřených hodnot bylo zjištěno, že nejvyšší efektivní dávka z celotělového ozáření obdržely sestry, na druhém místě byli farmaceutičtí asistenti a nejnižší efektivní dávku obdrželi lékaři. V oblasti ekvivalentní dávky obdrželi

nejvyšší dávku farmaceutičtí asistenti, druhé místo patřilo skupině sester a nejnižší dávky byli zaznamenány u skupiny lékařů.

Měsíční dávky radiačních pracovníků v mSv					
rok		max	min	medián	poznámka
2008	Ekv	14,15	0,1	0,89	překročena vyš. úroveň
	Ef	0,42	0,1	0,1	
2009	Ekv	12,1	0,1	0,82	
	Ef	0,72	0,2	0,2	
2010	Ekv	13,25	0,1	0,8	
	Ef	0,3	0,1	0,1	
2011	Ekv	9,26	0,07	0,355	
	Ef	0,38	0,1	0,1	
2012	Ekv	10,39	0,1	0,2	
	Ef	0,35	0,1	0,1	
2013	Ekv	14,51	0,1	0,59	
	Ef	0,48	0,1	0,1	
2014	Ekv	10,4	0,1	0,83	
	Ef	0,38	0,1	0,1	
2015	Ekv	7,46	0,1	0,59	
	Ef	0,65	0,1	0,1	
2016	Ekv	5,4	0,1	0,56	
	Ef	0,46	0,1	0,1	
2017	Ekv	19,92	0,1	0,41	překročena vyš. úroveň
	Ef	0,32	0,1	0,1	
2018	Ekv	8,37	0,1	0,59	
	Ef	0,2	0,1	0,1	

Tabulka 11 Přehled měsíčních ekvivalentních a efektivních dávek za sledované období (vlastní zdroj)

Z pohledu radiační ochrany za sledované období byla překročena monitorovací vyšetřovací úroveň ve dvou případech. První případ byl v roce 2008 u farmaceutického asistenta hodnota byla 14,15 mSv za měsíc. Tehdy byla u prstových dozimetrů nastavená hraniční hodnota vyšetřovací úroveň na 12,5 mSv za měsíc. Na konci roku 2009s se tato hodnota byla změněna v programu monitorování na 15 mSv. V druhém případě se byla překročena hodnota v roce 2017 u začínajícího farmaceutického asistenta, jednalo se o ekvivalentní dávku 19,92 mSv.

4.2 Monitorování pacientů

U pacientů randomizovaného výběru pacientů vyšetřených statickou scintigrafií kosti byla nejnižší aplikovaná dávka radiofarmaka 701 MBq a pacient vážil 58 kg

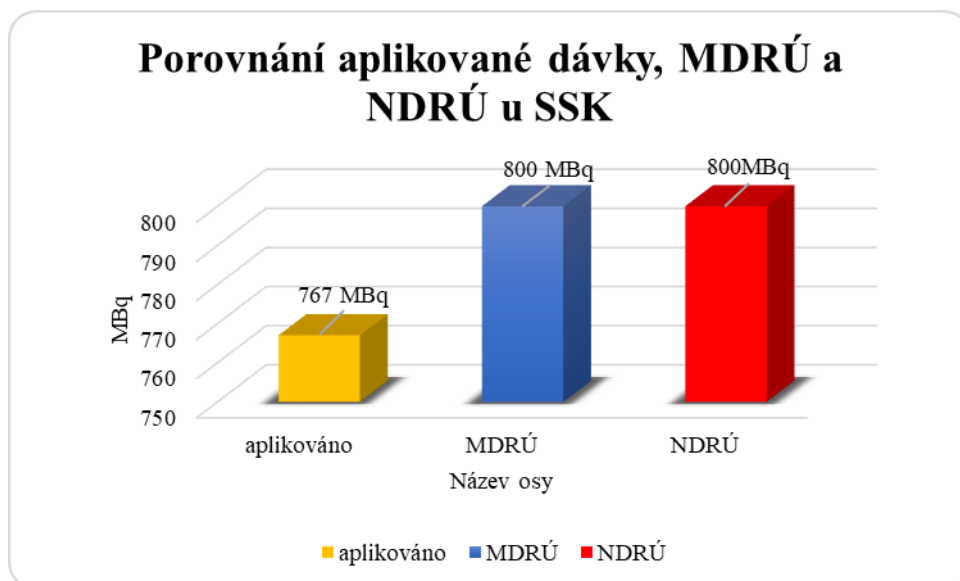
a obdržel efektivní dávku 5,61 mSv. Nejvyšší aplikovaná dávka byla 1139 MBq, vyšetřovaný vážil 116 kg a obdržel efektivní dávka byla 9,11 mSv (viz tabulka č. 12).

SKELET			
Požité RF	HDP TechneScan		
	kg	MBq	Ef. dávka
Pacient 1	67	776	6,21
Pacient 2	68	784	6,27
Pacient 3	60	718	5,75
Pacient 4	64	751	6,01
Pacient 5	58	701	5,61
Pacient 6	87	932	7,45
Pacient 7	83	901	7,21
Pacient 8	86	924	7,39
Pacient 9	74	832	6,65
Pacient 10	116	1139	9,11
Pacient 11	62	735	5,88
Pacient 12	99	1020	8,16
Pacient 13	75	840	6,72
Pacient 14	100	1027	8,22
Pacient 15	90	954	7,63
Pacient 16	77	856	6,84
Pacient 17	100	1027	8,22
Pacient 18	75	840	6,72
Pacient 19	72	816	6,53
Pacient 20	76	847	6,78

Tabulka 12 Pacienti vyš. SSK (vlastní zdroj)

Přepočítaná dávka na 70 kg pacienta v Nemocnici Znojmo p.o. byla 767 MBq. K vypočítání aplikované dávky sloužil náhodně vybraný soubor pacientů.

Vypočítaná aplikovaná dávka posloužila ke srovnání se stanovenou dávkou v „Místních diagnostických referenčních úrovních“ a s dávkou stanovenou v „Národních diagnostických referenčních úrovních“ pro vyšetření SSK (viz graf č. 15). Nejnižší byla dávka použití pro vyšetření pacienta 767 MBq, což bylo 96% povolené dávky a pacient obdržel efektivní dávku 6,21 mSv. U diagnostický referenčních úrovní o dávce 800 MBq je odhad efektivní dávky 6,44 mSv.



Graf 15 Aplikovaná dávka, MDRÚ a NDRÚ u SSK (vlastní zdroj)

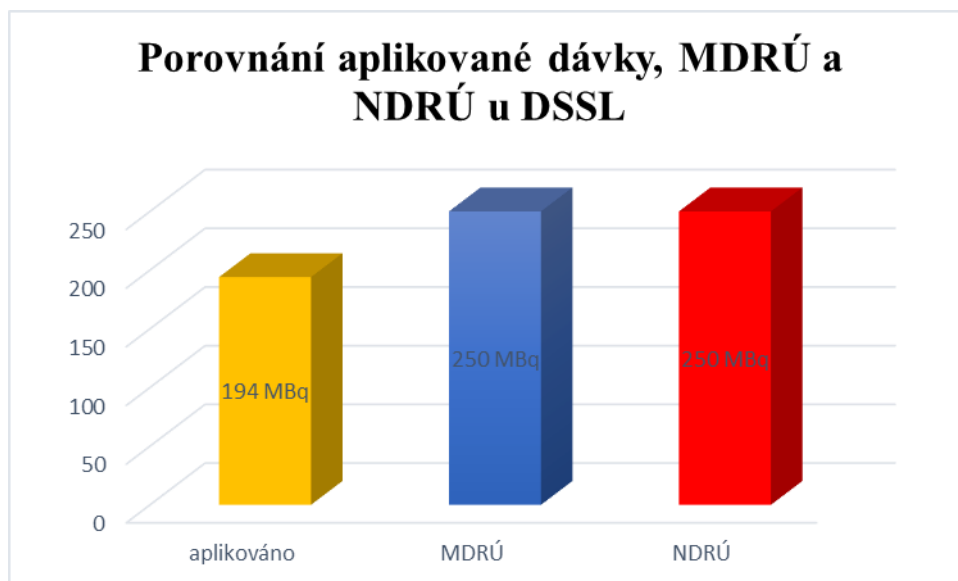
U pacientů randomizovaného výběru pacientů vyšetřených dynamickou scintigrafií ledvin byla nejnižší aplikovaná dávka radiofarmaka 146 MBq a pacient vážil 49 kg a obdržel efektivní dávku 0,31 mSv. Nejvyšší aplikovaná dávka byla 266 MBq, vyšetřovaný vážil 105 kg a efektivní dávka byla 0,53 mSv (viz tabulka č. 13).

Dávka byla vztažena k 70 kg pacientu, stejně jako u diagnostických referenčních úrovní. V Nemocnici Znojmo p.o. byla aplikovaná dávka 194 MBq. K vypočítání aplikované dávky sloužil náhodně vybraný soubor pacientů vyšetřený metodou DSSL.

DYNAMICKÁ SCINTIGRAFE LEDVIN			
Požité RF	TechneScan MAG 3		
	Kg	MBq	Ef.
Pacient 1	54	167	0,33
Pacient 2	64	188	0,38
Pacient 3	100	257	0,51
Pacient 4	72	171	0,42
Pacient 5	49	146	0,31
Pacient 6	69	198	0,4
Pacient 7	84	227	0,45
Pacient 8	66	192	0,38
Pacient 9	105	266	0,53
Pacient 10	65	190	0,38
Pacient 11	57	173	0,35
Pacient 12	52	162	0,32
Pacient 13	69	198	0,4
Pacient 14	75	210	0,42
Pacient 15	63	186	0,37
Pacient 16	81	222	0,44
Pacient 17	89	237	0,47
Pacient 18	88	235	0,47
Pacient 19	66	192	0,38
Pacient 20	96	245	0,5

Tabulka 13 Pacienti vyš. DSSL (vlastní zdroj)

Vypočítaná aplikovaná dávka posloužila ke srovnání se stanovenou dávkou v „Místních diagnostických referenčních úrovních“ a s dávkou stanovenou v „Národních diagnostických referenčních úrovní“ pro vyšetření DSSL (viz graf č. 16). Nejnižší byla dávka použití pro vyšetření pacienta 194 MBq, což bylo 78% povolené dávky a pacient obdržel efektivní dávku 0,39 mSv. U diagnostický referenčních úrovní o dávce 250 MBq je odhad efektivní dávky 0,5 mSv.



Graf 16 Porovnání aplikované průměrné dávky 70 kg pacientovi s MDRÚ a DRÚ (vlastní zdroj)

Aplikovaná dávka v přepočtu na 70kg pacienta byla u SSK o 4% nižší než u DRÚ a dávka u DSSL byla o 22% než u stanovený diagnostických úrovní.

5 Diskuze

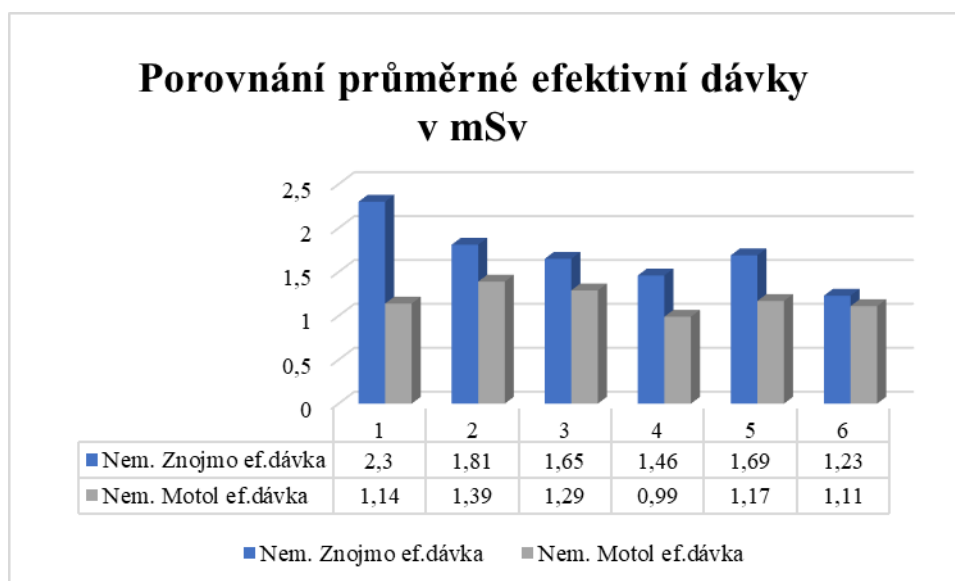
Cílem mé diplomové práce bylo zjistit, současný stav radiační ochrany na oddělení nukleární medicíny Nemocnice Znojmo p.o.

Výzkumná otázka:

Je dostatečná optimalizace radiační ochrany na oddělení nukleární medicíny v Nemocnici Znojmo, p.o.?

Osobní monitorování filmovým dozimetrem

Pro posouzení optimalizace radiační ochrany jsem zvolila monitorovací hodnoty naměřené u radiačních pracovníků v období od 2008 roku do 2018 roku. Nejvyšší hodnota efektivní dávky za měsíc byla 0,65 mSv. Stanovená „Optimalizační mez“ je 2 mSv za měsíc, která nebyla překročena. Byla překročena záznamová referenční úroveň, která se podle programu monitorování pouze zaznamená a věnuje se jí pozornost. Vypočítala jsem efektivní dávku na osobu za rok. Nejvyšší naměřená hodnota této dávky byla zjištěna 2,98 mSv. „Optimalizační mez“ této hodnoty za rok pro filmový dozimetr je stanovena na ONM NZ p.o. 5 mSv. Ve vyhlášce SÚJB č. 422/2016 Sb. je stanovena vrchní hranice efektivní dávky pro radiační pracovníky 5 mSv za rok. Stanovila jsem kolektivní efektivní dávku pro jednotlivé roky jako statistický znak, který ukazuje na vývoj radiační ochrany ve sledovaném období. Podle grafu č.1 je znát, že hodnoty kolektivní efektivní dávky mají klesající tendenci. Vypočítala jsem průměrnou kolektivní dávku na osobu za rok, která potvrzuje snižující se hodnoty efektivních dávek. Výsledné hodnoty ukazují na dobře zavedenou radiační ochranu. Pro zjištění, která profese z radiačních pracovníků obdrží nejvyšší dávku z celotělového ozáření, jsem zařadila pracovníky do tří skupin podle pracovní náplně. Nejvyšší kolektivní efektivní dávku obdržely sestry, pak farmaceutičtí pracovníci a poslední byla skupina ostatních zaměstnanců. Průměrné kolektivní efektivní dávky sester na osobu za kalendářní rok jsem porovnávala se studií „Radiační zátěž pracovníků na klinice nukleární medicíny a endokrinologie“ jednalo se o práci autorů Jany Hudzietzové, Dany Prchalové, Jozefa Sabola a Petra Vlčeka. V práci uvedených autorů se jednalo o sestry pracující v ambulantní části nemocnice se stejným spektrem vyšetření jako na ONM NZ p.o. Jak ukazuje graf č. 17, hodnoty z filmových dozimetrů byly vyšší u sester z Nemocnice Znojmo p.o. Zde bych viděla možnost zlepšení radiační ochrany. Dbát více u radiačních pracovníků na ochranu časem, vzdáleností a stíněním.

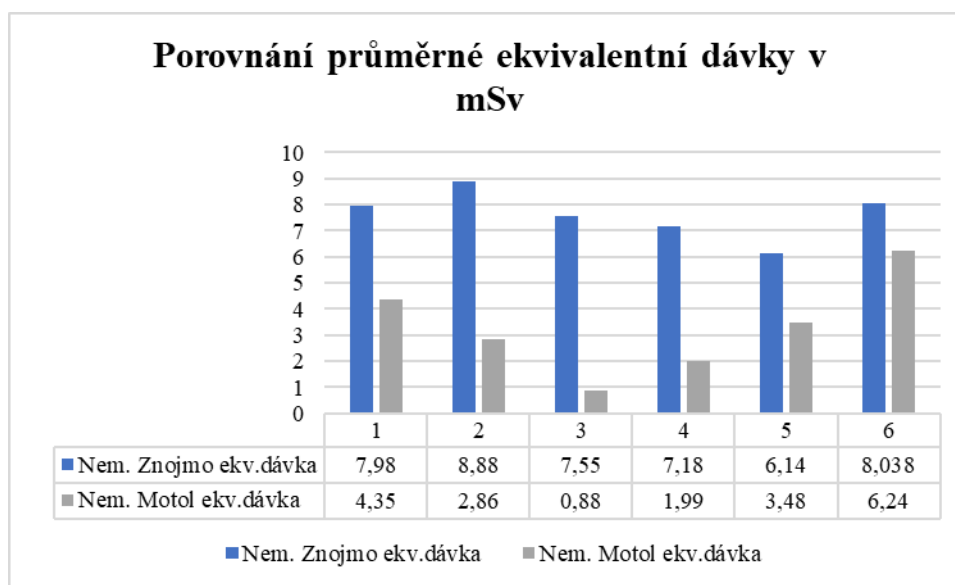


Graf 17 Porovnání průměrných efek. dávek na osobu za rok (vlastní zdroj)

Osobní monitorování prstovým dozimetrem

Druhá monitorovaná hodnota byla ekvivalentní dávka $H_p(0,07)$ tj. dávka na ruce. Nejvyšší hodnotu ekvivalentní dávky za měsíc jsem zaznamenala u farmaceutického asistenta v roce 2017. Naměřená měsíční hodnota byla 19,92 mSv. Stanovená „Optimalizační mez“ na ONM NZ p.o je pro radiační pracovníky, kteří připravují radiofarmaka, 80 mSv za měsíc. Tato hodnota nebyla překročena. Byla však překročena vyšetřovací referenční úroveň. Překročení této úrovně bylo podnětem k následnému šetření o příčinách a možných důsledcích zjištěného výkyvu. Při šetření bylo zjištěno, že překročení vyšetřovací referenční úrovně vzniklo neodborným postupem začínajícího farmaceutického asistenta. Šetření se zaznamenalo, pracovník byl poučen o pracovního postupu při chystání radiofarmak a o bezpečnosti práce. Vypočítala jsem ekvivalentní dávku na osobu za rok. Nejvyšší naměřená hodnota této dávky byla zjištěna 117, 68 mSv. „Optimalizační mez“ této hodnoty za rok pro prstový dozimetr je stanovena u farmaceutických asistentů na ONM NZ p.o. 200 mSv. Ve vyhlášce SÚJB č. 422/2016 Sb. je stanovena vrchní hranice ekvivalentní dávky pro radiační pracovníky 500 mSv za rok. Stanovila jsem součet ekvivalentních dávek pro jednotlivé roky jako statistický znak, který vykazoval pokles dávek (viz graf č 8). Vypočítala jsem

průměrnou hodnotu kolektivní ekvivalentní dávky na osobu za rok, která potvrzuje snižující se hodnoty ekvivalentních dávek. Výsledné hodnoty ukazují na dobře zavedenou radiační ochranu. K poklesu ekvivalentních dávek významně přispěla koupě nového přístroje PT 342R4 od firmy LYNAX, pro měření dávky. Pro zjištění, která profese z radiačních pracovníků obdrží nejvyšší dávku z prstových dozimetrů, jsem znovu zařadila pracovníky do tří skupin podle pracovní náplně. Nejvyšší kolektivní ekvivalentní dávku obdržely farmaceutičtí pracovníci, sestry a poslední byla skupina lékařů. Průměrné kolektivní ekvivalentní dávky sester na osobu za kalendářní rok jsem porovнала se studií „Radiální zátěž pracovníků na klinice nukleární medicíny a endokrinologie“ jednalo se o práci autorů Jany Hudzietzové, Dany Prchalové, Jozefa Sabola a Petra Vlčeka. V práci uvedených autorů se jednalo o sestry pracující v ambulantní části nemocnice se stejným spektrem vyšetření jako na ONM NZ p.o. Jak ukazuje graf č. 18, hodnoty z prstových dozimetrů byly vyšší u sester z Nemocnice Znojmo p.o.



Graf 18 Porovnání průměrných ekv. dávek na osobu za rok (vlastní zdroj)

Hodnoty zjištěné u sester na ONM NZ p.o. jsou sice stále odpovídající uvedeným stanoveným hodnotám, ale ve srovnání s referenčním oddělením je vidět, že stále existuje cesta ke zlepšení. Je nutné důsledně a opakovaně proškolovat nejen začínající radiační pracovníky, nacvičovat některé pracovní postupy na nečisto.

Radiační pracovníci by měly mít si uvědomovat, že pravděpodobnost vzniku stochastických účinků stoupa s dávkou a riziko vzniku poškození existuje i u nízkých dávek záření.

Osobní dávky pracovníků se ani přes zjištěné skutečnosti nezvyšují. Hodnoty profesní expozice dokazují, že radiační ochrana na ONM NZ p.o. je optimalizovaná a v souladu s požadavky vyhlášky č.422/2016 Sb.

Monitorování pacientů

Statická scintigrafie kostí

Průměrná aplikovaná dávka radiofarmak na ONM NZ p.o., kterou jsem přepočítala na hmotnost 70 kg pacienta, u vyšetření kostí – byla 767 MBq. Aktivita aplikovaného radiofarmaka se pohybovala v rozmezí od 701 do 1139 MBq a váha pacientů se pohybovala od 58 do 116 kg. Aplikovanou aktivitu radiofarmaka v přepočtu na 70 kg pacienta jsem porovnála s místní a národní diagnostickou referenční úrovní. Obě DRÚ mají stanovenou hodnotu 800 MBq. Aplikovaná dávka radiofarmaka na ONM NZ p.o. byla o 4 % nižší. Nejvyšší aplikovanou aktivitu jsem zjistila 1136 MBq, pacient vážil 116 kg. Aplikace vysoké dávky byla odůvodněná vysokou hmotností pacienta.

Dynamická scintigrafie ledvin

U vyšetření ledvin jsem vypočítala průměrnou aplikovanou aktivitu pro 70 kg pacienta 194 MBq. Tuto hodnotu jsem porovnála se stanovenou MDRÚ a NDRÚ. Tato hodnota byla 250 MBq pro 70 kg člověka. Na ONM ZN p.o. aplikovali aktivitu o 22 % nižší, než byla stanovená hodnota DRÚ. Aktivita aplikovaná pacientům se pohybovala od 146 do 266 MBq. Váha pacientů byla od 49 do 105 kg. Nejvyšší aplikovaná aktivita překročila DRÚ a byla odůvodněná vysokou hmotností pacienta.

SWOT analýza

SWOT analýza je základní metoda, jež hodnotí vnitřní a vnější prostředí, které může ovlivnit úspěšnost organizace nebo jistého konkrétního záměru. SWOT je zkratkou pro: Strengths – silné stránky, Weaknesses – slabé stránky, Opportunities – příležitosti, Threats – hrozby (SWOT analýza, 2015).

V našem případě jsem stanovila faktory, které by mohly ovlivnit optimalizaci radiační ochrany na ONM NZ p.o. Vnitřní prostředí tvořily silné a slabé stránky,

pro které jsem zvolila faktory, které mohly ovlivnit radiační ochranu na oddělení. Naopak příležitosti a hrozby byly faktory, které působily z vnějšího okolí. Informace pro analýzu jsem nasbírala z vlastní znalosti provozu ONM NZ p.o.

Vnitřní prostředí:

Silné stránky – ukazovaly na přednosti a možnosti v rámci oddělení a jejich využití v praxi.

Slabé stránky – hodnotily možné nebo existující nedostatky a rizika na pracovišti.

Vnější prostředí:

Příležitosti – ukazovaly na možnosti, které může ONM NZ p.o. využít a nabízí se z vnějšího prostředí.

Hrozby – poukazovaly na rizika z venčí, která mohou nastat.

Výsledky SWOT analýzy jsem uvedla v tabulce č. 14

	SILNÉ STÁNKY	SLABÉ STRÁNKY
Vnitřní	Monitorování pracovníků Monitorování pracoviště Ochranné pomůcky Pravidelné školení Přístrojové vybavení Dokumentace	Ozáření od pacientů Záměna pacienta Aplikace špatného radiofarmaka Kontaminace pracovníka a pracoviště Nedostatek kvalifikovaných pracovníků
	PŘÍLEŽITOSTI	HROZBY
Vnější	Zlepšení zabezpečení ZIZ Inovace Praktický nácvik při RMU	Riziko ztráty ZIZ Poškození obalu ZIZ Nedodání ZIZ Finanční ztráty

Tabulka 14 SWOT analýza (vlastní zdroj)

Silné stránky

Osobní monitorování pracovníků – bylo zajištěno dostatečně. Radiační pracovníci kategorie A byli vybaveni filmovými dozimetry, které jim dohlížející osoba 1x za měsíc

nechala vyhodnotit u certifikované firmy NUVIA Dosimetry s.r.o. Pracovníci pracující s radiofarmaky měli navíc prstový dozimetr, který byl vyhodnocován také 1x měsíčně.

Monitorování pracoviště – prováděla dohlížející osoba 1x denně a jednou za týden prováděla záznam do knihy monitorování prostředí. Při podezření na kontaminaci bylo místo vždy změřeno operativním dozimetrem pro plošnou kontaminaci nebo bylo místo měřeno dávkovým příkonem. Přístroje byly vždy kalibrovány pro daný nuklid.

Ochranné pomůcky – všichni pracovníci při práci s radionuklidy nebo s pacienty, kterým bylo aplikováno radiofarmakum, nosili ochranné zástěry a dodržovali principy radiační ochrany (ochrana vzdáleností, časem, stíněním a zabezpečením ZIZ). Používali stínící obaly, kontejnery, rukavice, pinzety, stříkačky plnily v laminárním boxu.

Pravidelné školení – dohlížející osoba nad radiační ochranou prováděla pravidelné školení o radiační ochraně a bezpečnosti při práci. Jednou ročně byli pracovníci z dané problematiky přezkoušeni (formou testu). Výsledky testů nikdy neklesly pod hranici 80 %. Pracovníci byli dobře seznámeni s radiační ochranou na oddělení nukleární medicíny.

Přístrojové vybavení – oddělení bylo vybaveno moderním hybridním přístrojem SPECT/CT. Přístroj měl vyšší diagnostickou výpověď. Na ONM NZ byl v roce 2017 přístroj od firmy LYNAX – PT 342R4, s operačním programem LYNAX HAPPY BRAIN 4 (viz obrázek č. 10). Účelem bylo snížit riziko kontaminace zaměstnanců, kteří manipulují s radioaktivními roztoky.

Dokumentace – ONM NZ měl vedenou dokumentaci podle nařízení a doporučení SÚJB. Dokumentace oddělení je vedena podle pravidel ISO 9001 2007.

Počítačově byla vedena archivace dávek radiačních pracovníků, kteří mohou kdykoliv nahlížet a sledovat svoji efektivní a ekvivalentní dávku (viz tabulka č. 15). Dohlížející osoba nad radiační ochranou měl pečlivě vytvořené tabulky v excelu např. „Průvodní list připraveného radiofarmaka“ (viz obrázek č. 9).



Obrázek 10 Přístroj PT 342R4 od firmy LYNAX, pro měření dávky (vlastní zdroj).

Rok 2017	Ekvivalentní dávka na ruce a prsty (mSv)													
jméno	číslo doz.	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	celkem
	3701			0,29	0,1	19,92	9,19	3,23	11,45	4,99	8,78	1,38	3,77	63,1 mSv
	3702	0,86	0,85	1,31	0,1	0,3	1,01	0,43	0,49	0,65	0,81	0,62	0,67	8,1 mSv
	3703	0,15	0,24	1,27	0,31	0,55	0,49	0,65	0,1	0,56	0,55	0,32	0,5	5,69 mSv
	3704	0,19	0,27	0,82	0,41	0,24	0,13	0,92	0,29	0,51	0,65	0,24	0,1	4,77 mSv
	3705	0,1	0,15	0,14	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,29 mSv
	3706	0,13	0,33	0,3	0,13	0,1	0,1	0,17	0,19	0,35	0,1	0,18	0,15	2,23 mSv
	3707	3,85	5,64	3,29	4,52	0,1	0,1	4,2	0,11	2,06	3,94	5,69	2,96	36,46 mSv
	3708	0,85	0,58	0,55	0,62	0,33	0,74	0,45	0,34	0,13	0,64	0,42	0,77	6,42 mSv
	3709	4,19	5,68	4,33	2,77	2,41	2,14	1,47	0,13	0,11	0,1	0,1	0,58	24,01 mSv
	3710			0,22					4,65	4,31	4,69	2,44	2,83	19,14 mSv
	3711	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,2 mSv
	3713	0,41	2,1	0,94	1,56	0,67	0,13	0,26	1,81	0,61	0,84	0,2	0,1	9,63 mSv
														Celkem
														182,04
	1 x	PŘEKROČENA VYŠETŘOVACÍ ÚROVEŇ								15 mSv				
	0 x	PŘEKROČENA ZÁSAHOVÁ ÚROVEŇ								50 mSv				

Tabulka 15 Archivovaná ekvivalentní dávka pracovníků (vlastní zdroj)

Slabé stránky

Ozáření od pacientů – hrozilo nejvíce všeobecný sestra, které aplikovaly pacientům převážně radiofarmaka, dohlížely na zdravotní stav pacienta. Dodržovaly bezpečnost práce a principy radiační ochrany.

Záměna pacienta – riziko záměny pacienta bylo minimální. Sestra důkladně zjišťovala pacientovu identitu před aplikací radiofarmaka i před samotnou scintigrafií.

Aplikace špatného radiofarmaka – v rozpisu aplikovaných objemů RF bylo každému pacientovi automaticky přiděleno identifikační číslo dávky RF. Aplikací sestra měla stále k dispozici rozpočtový list se jménem pacienta a přiděleným identifikačním číslem a před aplikací zkontrolovala jméno pacienta a číslo injekční stříkačky s dávkou RF.

Kontaminace pracovníka a pracoviště – rizika kontaminace byla minimální, za sledované období došlo ke kontaminaci rukavic, bylo to u nového farmaceutického asistenta, který se zapracovával. Dohlížející osoba provedla vyšetření situace.

Nedostatek kvalifikovaných pracovníků – na ONM NZ nebyl žádný pracovník s kvalifikací osoby s přímým dohledem nad radiační ochranou, a od konce 2018 ani radiologický asistent.

Příležitosti

Zlepšení zabezpečení ZIZ – kontrolovaná pásma byla dobře zabezpečena koulí na dveřích. Bylo by optimální místo dveří na klíč, otevírání identifikační kartou.

Inovace – bylo by dobré zařadit do osobního monitorování měření ekvivalentní dávku na oční čočku.

Praktický nácvik při RMU – personál ONM NZ p.o. byl proškolen a znalosti byly ověřeny formou test. K ověřování připravenosti na RMU bych doporučovala praktický nácvik radiačních pracovníků.

Hrozby

Riziko ztráty ZIZ – při nedokonalém předávání molybdenového generátoru by mohlo dojít ke ztrátě zdroje.

Poškození obalu ZIZ – při transportu ZIZ by mohlo dojít k poškození vnějšího i vnitřního obalu generátoru.

Nedodání ZIZ – při výpadku na straně dodavatelů

Finanční ztráty – mohou nastat, pokud bude zdroj ZIZ odcizen, poškozen nebo nedodán dodavatelem.

6 Závěr

Diplomová práce se zabývala radiační ochranou na oddělení nukleární medicíny Nemocnice Znojmo p.o. Pracoviště ke své činnosti využívá zdrojů ionizujícího záření, proto je nutno dodržovat pracovní postupy, dodržovat ochranu zdraví a životního prostředí. Je důležité si uvědomovat škodlivé účinky ionizujícího záření.

Státní úřad pro jadernou bezpečnost je orgán České republiky, který povoluje pracovní činnosti, kde se používají zdroje ionizujícího záření, a zároveň je kontrolním orgánem, který dohlíží na dodržování principů radiační ochrany pravidelnými audity.

Pro hodnocení radiační ochrany na ONM Nemocnice Znojmo p.o. jsem zvolila kvalitativní výzkum. Před dvěma lety oddělení přijímalo nová nařízení a doporučení v souvislosti s novým atomovým zákonem č. 263/2016 Sb. a novou vyhláškou SÚJB č. 422/2016 Sb. „o radiační ochraně a zabezpečení zdrojů ionizujícího záření“.

Výzkumná otázka zněla: *Je dostatečná optimalizace radiační ochrany na oddělení nukleární medicíny v nemocni Znojmo, p.o?* Na základě mého výzkumu a dat z monitorování pracovníků a pacientů mohu konstatovat, že žádné roční hodnoty nepřekročily stanovené limity a referenční úrovně. Při sledování efektivní a ekvivalentní dávky radiačních pracovníků, jsem vyzorovala pokles těchto dávek v posledních dvou letech. U pacientů byla aplikovaná dávka radiofarmaka nižší, než je stanovena v „Místních diagnostických referenčních úrovních“ a „Národních diagnostických referenčních úrovních“.

Dokumentace je vedena v souladu s nařízením Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a v souladu s ISO 9001 2007, což potvrdily proběhlé audity na konci roku 2018 s pozitivním hodnocením.

7 Seznam použitých zkratek

ANO – Akutní nemoc z ozáření

Bq, MBq – Becquerel, megabecquerel

CT – Computed tomography

ČR – Česká republika

DNA – kyselinu deoxyribonukleovou

DRÚ – Diagnostická referenční úroveň

E – Efektivní dávka

Ef – Efektivní dávka

EURATOM – Evropské společenství pro atomovou energii

Gy, mGy, μ Gy – Gray, miligray, mikrogray

IAEA – International Atomic Energy Agency

ICRP – International Commission on Radiological Protection

IZ – Ionizující záření

MDRÚ – Místní diagnostická referenční úroveň

mGy – miligray

Mo – molybden

MR – magnetická rezonance

mSv – milisievert

NDRÚ – Národní diagnostická referenční úroveň

NAZ – nový atomový zákon

NM – nukleární medicína

MU – mimořádné události

ONM – oddělení nukleární medicíny

ONM NZ – oddělení nukleární medicíny Nemocnice Znojmo

PET – Pozitronová emisní tomografie

p.o. – příspěvková organizace

RF – radiofarmakum

RN – radionuklid

RNZ – radionuklidový zdroj

RO – radiační ochrana

RU – radiologická událost

SPECT – Jednofotonová emisní výpočetní tomografie

SÚJB – Státní úřad pro jadernou energii

SÚRO – Státní ústav radiační ochrany

Tc – technecium

ZIZ – Zdroj ionizujícího záření

8 Seznam použitých zdrojů

KLENER, Vladislav. *Princip a praxe radiační ochrany* [kniha]. 1. Praha: AZIN CZ, 2000. ISBN 80-238-3703-6.

KOGEL, A. J a M JOINER. *Basic clinical radiobiology*. 1. London: Hodder Arnold, 2009. ISBN ISBN 978-0-340-929-667.

MONNIER, J.P a J.M TUBIANA. *Pratique des techniques du radiodiagnostic*. 1. Paris: Elsevier-Masson, 2004. ISBN 978-2294010385.

Radiologická fyzika: fyzika ionizujícího záření. 1. Praha: České vysoké učení technické, 2013. ISBN ISBN 978-80-01-0539-5.

Ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření [Kniha]. 2. Ostrava: DTO CZ, 2013. ISBN 978-80-02-01529-1.

HUŠÁK, Václav. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. ISBN978-80-244-2350-0.

SEIDL, Zdeněk. *Radiologie pro studium i praxi*. 1. Praha: Grada, 2012. ISBN978-80-247-4108-6.

ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná a radiační fyzika*. 1. Ostrava: Ostravská univerzita, Fakulta zdravotních studií, 2009. ISBN 978-80-7368-669-7.

HAVRÁNKOVÁ, Renata. *Základy radiobiologie*. 1. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2018. ISBN 978-80-7394-696-8. ISSN 978-80-7394-696-8.

RICHTER, Rostislav. *Slovník pojmů krizového řízení*. 1. Praha: Ministerstvo vnitra, Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2018. ISBN978-80-87544-91-4.

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína: [učební text]*. 1. Praha, 2007. ISBN978-80-903584-9-2.

PEJCHAL J., et al, j a et. al. *Biofyzika pro záchranáře*. 1. Hradec Králové: Fakulta vojenského zdravotnictví Univerzity obrany v Hradci Králové, 2013. ISBN studijní materiály.

Faktum design: Filmový dozimetr [online]. Brno: Faktum Design, 2004 [cit. 2019-08-04]. Dostupné z: <http://www.faktumdesign.cz/portfolio/cz/filmovy-dozimetr>

- Havarijní plánování* [online]. Praha: HZS ČR, 2019 [cit. 2019-07-01]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/>
- HyperPhysics. *HyperPhysics* [online]. Atlanta, Georgia: Georgia State University, 2015, [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>
- ICRP Publication 105: Radiological Protection in Medicine* [online]. Ottawa, Kanada: Ann. ICRP 37, 2007 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://www.icrp.org/publication.asp>
- International Atomic Energy Agency* [online]. Wien: Vienna International Centre, 2019 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.iaea.org>
- Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření. *Astronuklfyzika* [online]. Ostrava: 2002 [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/>
- Management Mania: SWOT analýza* [online]. Wilmington, USA: Copyright ©, 2015 [cit. 2019-07-04]. Dostupné z: <https://managementmania.com/>
- Microsoft Excel* [online]: Microsoft, 2019 [cit. 2019-07-04]. Dostupné z: <https://support.office.com>
- Narodní zpráva České republiky, pro účely Úmluvy o jaderné bezpečnosti* [online]. Praha: SÚJB, 2016 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz>
- Nové atomové právo* [online]. Praha: SÚJB, 2019 [cit. 2019-08-04]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz>
- NUVIA dosimetry* [online]. Praha: Nuvia, 2019 [cit. 2019-08-04]. Dostupné z: <http://nuviadosimetry.com/>
- Program zajištění radiační ochrany*. 1. Nemocnice Znojmo p.o, 2017.
- Přírodní radioaktivita a problematika radonu* [online]. Praha: SÚRO, 2019 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.suro.cz>
- FILIP, J a et al. *Radiační ochrana pro pracovníky ve zdravotnictví: učební texty pro přípravu vybraný radiačních pracovníků*. 1. 2012.
- SAHA, G.B. Radiation biology in physics and radiobiology of nuclear medicine. *Springer Science + Business Media* [online]. New York, 2013.
- KOTURBASH, I a et al. *Radiation-induced bystander effects in vivo are sex specific* [online]., 2008 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com>.
- Radioactive Decay* [online]., 2019 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://physics.tutorvista.com>

- LNĚNIČKOVÁ, L a J PUČOVÁ. Radioaktivita. In: *Webchemie* [on line]. Praha: Creative Commons, 2014 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://www.webchemie.cz/>
- FREITINGER SKALICKÁ, Z a et al. Radiobiologie. *Sirdik* [online]. 2006 [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org>
- HYKOVÁ, I, H DOLEŽALOVÁ a P ŠLAMPA. *Radioterapie učební texty pro studenty 5. roč. LF MU Brno* [online]. 2010 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://www.mou.cz/radioterapie-ucebni-texty-pro-studenty/>
- SIEMENS – *healthineers* [online]. Erlangen, Germany: Siemens Healthcare, 2019 [cit. 2019-07-04]. Dostupné z: <https://www.siemens-healthineers.com>
- SÚJB, SBÍRKA ZÁKONŮ ČESKÁ REPUBLIKA: *Sbírka zákonů* [online]. Praha: SÚJB, 2016 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/legislativa/zakony/>
- DESOUKA, O a et al. *Targeted and non-targeted effects of ionizing radiation* [online]. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 2015, **8**(2) [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/>
- The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103.* [online]. Ottawa, Kanada: Journal of Radiological Protection, 2007 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.icrp.org/publication>
- VF *Osobní dozimetrie: Prstový-termoluminiscenční-dozimetr* [online]. Černá Hora: VF, 2008 [cit. 2019-07-010]. Dostupné z: <http://www.dozimetrie.cz/>
- Zabezpečení radionuklidových zdrojů a jejich kategorie.* In: Praha: SÚJB, 2017, Č.j.: SÚJB/RCHK/8648/2017
- KUPKA, Karel *Zobrazovací metody nukleární medicíny.* Olomouc, 2010. Dostupné také z: <http://unm.lf1.cuni.cz/zobrazov.html>
- HALL, Eric J. a Amato J. GIACCIA. *Radiobiology for the radiologist.* 6th ed. Philadelphia, c2006. ISBN 07-817-4151-3.
- KLENER, Vladislav. *Principy a praxe radiační ochrany: Biologické účinky záření a jejich zdravotní projevy.* 1. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. ISBN 80-238-3703-6.
- ROSINA, Jozef, Hana KOLÁŘOVÁ a Jiří STANEK. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů.* 1. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-1383-7.
- KUNA, Pavel a Leoš NAVRÁTIL. *Klinická radiobiologie.* 1. Praha: Manus, 2005. ISBN 80-865-7109-2.

Basic Sciences of Nuclear Medicine. KHALI, M.M. *Basic Sciences of Nuclear Medicine* [online]. 1. London: Springer Science, 2011, 2013, s. 422. ISBN 978-3-540-85961-1.

ONDŘEJ, Vladan. *Základy radiobiologie*. 1. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013. ISBN 978-80-244-3426-1.

KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. 1. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.

KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. 1. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0168-9.

ŠABATA, Ladislav. *Nukleární medicína – technické základy: přístrojová a výpočetní technika v nukleární medicíně, základy radiofarmak a specifika radiační ochrany v nukleární medicíně*. 1. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2019. ISBN 978-80-7394-734-7.

9 Seznam grafů

Graf 1 Roční součet kolektivních efektivních dávek.....	66
Graf 2 Průměrná efektivní dávka na osobu za rok v mSv	66
Graf 3 Průměrná měsíční efektivní dávka na osobu	67
Graf 4 Efektivní měsíční dávka v mSv - min., max. a průměrná	67
Graf 5 Kolektivní efektivní dávka a počet radiačních pracovníků	68
Graf 6 Porovnání kolektivních dávek vybraných	69
Graf 7 Ekvivalentní dávka na ruce a prsty za měsíc.....	70
Graf 8 Součet ekvivalentní dávky za sledované období	71
Graf 9 Kolektivní ekvivalentní dávka a počet pracovníků	72
Graf 10 Porovnání průměrné roční ekvivalentní dávky.....	73
Graf 11 Součet roční efektivní a ekvivalentní dávka u sester v mSv	74
Graf 12 Součet roční efektivní a ekvivalentní dávky u far.asistentů v mSv.....	74
Graf 13 Součet roční efektivní a evidentní dávky u lékařů v mSv	75
Graf 14 Porovnání součtu ročních efektivních a ekvivalentních dávek v mSv	75
Graf 15 Aplikovaná dávka, MDRÚ a NDRÚ u SSK.....	78
Graf 16 Porovnání aplikované průměrné dávky 70 kg pacientovi s MDRÚ a DRÚ	80
Graf 17 Porovnání průměrných efek. dávek na osobu za rok.....	82
Graf 18 Porovnání průměrných ekv. dávek na osobu za rok.....	83

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 Otevřené zářiče používané v Nemocnici Znojmo p.o.....	24
Tabulka 2 Limity	28
Tabulka 3 Odvozené limity.....	29
Tabulka 4 Deník kontrol pro hybridní gamakamery SPECT/CT	43
Tabulka 5 Monitorování pracovního prostředí	51
Tabulka 6 Diagnostické referenční úrovně	63
Tabulka 7 Roční efektivní dávka z filmového dozimetru $H_p(10)$	65
Tabulka 8 Korelace kolektivní ef. dávky v mSv a počtu pracovníků.....	69
Tabulka 9. Součet ekvivalentních dávek	70
Tabulka 10 Korelace kolektivní ekv. dávky v mSv a počtem pracovníků	72
Tabulka 11 Přehled měsíčních ekvivalentních a efektivních dávek.....	76
Tabulka 12 Pacienti vyš. SSK.....	77
Tabulka 13 Pacienti vyš. DSSL	79
Tabulka 14 SWOT analýza.....	85
Tabulka 15 Archivovaná ekvivalentní dávka pracovníků	87

11 Seznam obrázků

Obrázek 1 Radioaktivita.	15
Obrázek 2 Radioaktivita alfa	16
Obrázek 3 Radioaktivita beta mínus	17
Obrázek 4 Přeměna beta plus.....	17
Obrázek 5 Přeměna gama	18
Obrázek 9 Princip radiační ochrany.....	27
Obrázek 7 Osobní filmový dozimetr	60
Obrázek 8 Prstový termoluminiscenční dozimetr	62
Obrázek 9 Průvodní list připraveného radiofarmaka	64
Obrázek 10 Přístroj PT 342R4 od firmy LYNAX, pro měření dávky	87

12 Seznam příloh

Příloha 1 SPECT/CT používaný v Nemocnici Znojmo p.o.....	100
Příloha 2 Mo/Tc generátor	101
Příloha 3 Zásobník pro generátor.....	101
Příloha 4 Protokol o vzniku mimořádné události	102
Příloha 5 Měření u planární gama kamery MB 9301	103
Příloha 6 Osnova protokolu šetření v případě vyšších dávek.....	104
Příloha 7 Zásahové instrukce při kontaminaci	105

13 Přílohy



Příloha 1 SPECT/CT používaný v Nemocnici Znojmo p.o. (Siemens-healthineera, 2019)



Příloha 2 Mo/Tc generátor (vlastní zdroj)



Příloha 3 Zásobník pro generátor (vlastní zdroj)

Protokol o vzniku a průběhu mimořádné události:

Protokol o vzniku a průběhu mimořádné události obsahuje tyto údaje:

- 1) Identifikaci držitele povolení a pracoviště.**
- 2) Zjištěné příčiny vzniku a posouzení závažnosti mimořádné události**
- 3) postupy použité při řízení a provádění zásahu** a jejich zhodnocení s přihlédnutím k postupům stanoveným vnitřním havarijním plánem.
- 4) hodnocení účelnosti a účinnosti provedených postupů** při řízení a provádění zásahu
- 5) hodnocení následků na zdraví** zaměstnanců a dalších osob včetně těch, kteří se podíleli na řízení a provádění zásahu
- 6) hodnocení následků na technologii** a systémy zařízení nebo pracoviště.
- 7) hodnocení úniku radioaktivních látek do životního prostředí** včetně výsledků monitorování
- 8) návrh opatření** k zamezení a snížení opětovné možnosti výskytu vzniklé mimořádné události.

Příloha 4 Protokol o vzniku mimořádné události (Nemocnice Znojmo p.o.)

Měření energetické rozlišovací schopnosti.

Kamera : NUCLINE PAC

Kolimátory : Tc

Datum měření : 9.6.16

Zářič : 99m Tc

Výpočet energetického rozlišení R se provádí dle vztahu :

$$R = 100 \cdot W / d \quad \text{kde}$$

w je odečtená pološířka píku 99mTc vyjádřená počtem kanálů

d je vzdálenost mezi píky 99mTc a 57Co vyjádřená počtem kanálů

w počet kanálů	d počet kanálů	R %
20	22	11,9

Hodnocení : Energetické rozlišení gamakamery je 11,9 % a je VYHOVUJÍCÍ

Měření provedl :

Podpis :

Příloha 5 Měření u planární gama kamery MB 9301 (Nemocnice Znojmo p.o.)

Osnova protokolu šetření příčin vyšší osobní dávky.

Držitel povolení:
IČO:
Pracoviště:
Adresa:
RC SÚJB:
Jména účastníků šetření:
Datum šetření:
Kontrolované pásmo: ano ne

Identifikační údaje a výsledek šetření:

Příjmení a jméno uživatele osobního dozimetru:
Datum narození:
Kvalifikace pracovníka, pracovní zařazení:
Kategorie pracovníka z hlediska práce se zdroji IZ:
Číslo a typ dozimetru, sledovací období:
Výsledek a hodnocení CSOD za dané období:
Údaj, zda pracovník používal v době expozice ochrannou zástěru. Jestliže ano, uvést:
- ekvivalent Pb zástěry
- koeficient použitý pro přepočtení dávky měřené na zástěře na efektivní dávku
- efektivní dávku po přepočtu
Součet expozic pracovníka od začátku kalendářního roku
Rozbor pracovních podmínek, které mohly vést ke vzniku expozice
Zdravotní stav pracovníka v době expozice: (pouze v případě vysokých dávek nebo podle okolností daného případu.)

Doplňující údaje:

Druh práce se zářiči:
Počet pracovníků se zvýšenou expozicí v daném období
Výsledek případného kontrolního měření (s uvedením způsobu měření)
Jiné závady v osobní dozimetrii (zapomenutý dozimetr, film ozářen mimo kazetu, vypadlé filtry v kazetě apod)
Další případné ochranné pomůcky na pracovišti (zástěry, rukavice, límce)
Informace o případných opatřeních na pracovišti a u pracovníka (změna pracovního postupu, režimu, změna typu osobní dozimetrie nebo periodicity sledování, doplnění ochranných pomůcek, poučení pracovníků, a pod)
Údaj, zda byl informován lékař.

Závěr k osobní dávce pracovníka: (musí být uvedeno)

pracovník expozici obdržel – **osobní dávka ve výšimSv**
byl ozářen pouze dozimetr - **neosobní dávka**

.....
datum a podpis pracovníka

.....
datum a podpis dohlížející osoby

Protokol se zašle na adresu: Regionální centrum SÚJB,
kpt. Jaroše 5, 600 00 Brno

Příloha 6 Osnova protokolu šetření v případě vyšších dávek (Nemocnice Znojmo p.o.)

Zásahová instrukce při uvolnění většího množství radioaktivní látky na pracovišti:

- Ohlásit mimořádnou událost osobě s přímou odpovědností za zajištění radiační ochrany nebo dohlížejší osobě, kteří dále řídí řešení mimořádné události.
- Ohraničit a označit kontaminované místo. Tento postup musí být doprovázen maximální snahou nerozšiřovat kontaminovanou plochu rozšířením radioaktivní látky.
- Při dekontaminaci určený pracovník (za použití osobních ochranných prostředků) postupuje tak, že buničitou vatou odsaje hlavní podíl aktivní tekutiny. Použitá vata se vloží do polyetylenových sáčků, které se označí datem a druhem radioaktivní látky a uloží se podle pokynů dohlížejší osoby ve vymírací místnosti odpadů (tuto činnost provádí určený pracovník samozřejmě za použití všech dostupných ochranných prostředků)
- Kontaminované místo se důkladně a opakovaně myje za použití odmašťovacích prostředků (např. JAR) a buničité vaty. Kontaminovaná vata se opět odkládá do polyetylenových sáčků a sáčky se označují datem a druhem kontaminující látky a ukládají se k vymírání.
- Pracovník řídící dekontaminaci proměřuje dekontaminované místo na zbytkovou aktivitu. Mytí a měření se opakuje do doby, kdy již nelze kontaminaci snížit a další její provádění by bylo neúčinné nebo se dosáhne povolených hodnot kontaminace uvedené v Programu monitorování pro jednotlivé části pracoviště. Dosažená konečná úroveň se uvede v protokolu.
- Kontaminované předměty, u kterých nelze provést dekontaminaci nebo se nedaří opakovanou dekontaminací dosáhnout přijatelné hodnoty (určí ji pracovník řídící dekontaminaci – uvolňovací úroveň uvedené v Programu monitorování), se rovněž uzavřou v uzavřených polyetylenových pytlích a umístí se ve vymírací místnosti pro odpady do doby, než jejich kontaminace poklesne pod úroveň danou vyhláškou a uvedenou v Programu monitorování oddělení.

Seznam pomůcek potřebných k dekontaminaci:

- gumové rukavice
- buničitá vata
- čisticí prostředky (např. Jar, Dekont, atd.)
- polyetylenové pytle na odpady
- přístroj pro měření kontaminace Isotrak AB 100
- křída pro označení kontaminovaného místa

Uvedené pomůcky jsou kromě přístroje pro měření kontaminace uloženy v kontrolovaném pásmu v balíčku určeném pro provádění dekontaminace.

Příloha 7 Zásahové instrukce při kontaminaci (Nemocnice Znojmo p.o.)