



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Studies

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

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Fakulta zdravotně sociální  
Katedra radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva

Bakalářská práce

# **Radiační ochrana pacientů a personálu na oddělení nukleární medicíny**

Vypracovala: Kristína Daňová  
Vedoucí práce: Mgr.Zuzana Freitinger - Skalická, Ph.D.

České Budějovice 2015

## Abstrakt

Na oddělení nukleární medicíny se používají k diagnostice, terapii a k výzkumným účelům otevřené radioaktivní zářiče. Ve všech případech se využívá ionizující záření. Protože byly popsány i negativní účinky tohoto záření, bylo třeba systematicky omezit ozáření osob a chránit životní prostředí.

Název mojí bakalářské práce je: „Radiální ochrana personálu a pracovníků na oddělení nukleární medicíny.“

Práce je členěná na několik kapitol. Začátek první teoretické části je věnován historii vzniku radiální ochrany a institucím. Dále je v práci popsána nukleární medicína, vybavení a skladba oddělení všeobecně, a v závěru i konkrétně na oddělení nukleární medicíny v nemocnici České Budějovice a.s. (dále ONM ČB). Bylo definováno ionizující záření a jeho biologické účinky na organismus, veličiny a jednotky, které je charakterizují. Značná část se věnuje principům radiální ochrany, monitorování osob, pracovišť i výpustem. Práce se taky zabývá dozimetrií a popisuje druhy použitých dozimetrů. Vyhodnocuje riziko vnějšího a vnitřního ozáření.

Cílem této práce bylo analyzovat zákony a vyhlášky, které se týkají radiální ochrany a zjistit její efektivní využívání u personálu a pacientů na ONM ČB. Následujícím cílem bylo rozebrat radiální ochranu pacientů na oddělení nukleární medicíny, a též radiální ochranu pacientů a personálu na lůžkové části.

Výzkumná otázka zněla: „*Je radiální ochrana pacientů a personálu na oddělení nukleární medicíny v nemocnici České Budějovice a.s. dostatečně optimalizována?*“

Metodikou výzkumu bylo shromáždit a zaznamenat materiály z nukleární medicíny v Českých Budějovicích, porovnat dávky z termoluminiscenčních dozimetrů u personálu na ambulantní a lůžkové části a porovnat dávky z prstového a celotělového termoluminiscenčního dozimetru.

V praktické části byly detailně zapsané do tabulek a grafu efektivní a ekvivalentní dávky pracovníků ambulantní i lůžkové části ONM ČB za období 2009 - 2013. Ambulantní část tvoří 15 zaměstnanců. Na lůžkové části soubor tvořili 3 zdravotní sestry a 1 sanitářka. U nich byly zapsané i efektivní dávkové ekvivalenty Hp(10) za jednotlivé měsíce po dobu pěti let.

Porovnané byly osobní dozimetry, a to termoluminiscenční celotělový a prstový dozimetr. Hodnoty ekvivalentních dávek  $H_T$  u prstového TLD byly zaznamenané u dvou pracovníků.

Data pro nemocnici ČB vyhodnotila Celostátní služba osobní dozimetrie, s.r.o. (dále CSOD) v Praze, jako společnost, která v naší zemi poskytuje více než 20 let dozimetrické služby. Porovnány byly s limity pro radiační pracovníky, které se řídí vyhláškou SÚJB č. 389/2012 Sb., ze dne 16. listopadu 2012, kterou se mění vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.

Výsledky práce poukázaly na velmi dobrou úroveň radiační ochrany v nemocnici ČB a zavedených opatření na ochranu personálu a pacientů vůči nepříznivým vlivům ionizujícího záření.

Práce je obohacena o diskuzi, v které jsou výsledky porovnané s odbornými poznatky shrnutými v teoretické části.

Na výzkumnou otázku lze odpovědět: *„Ano, radiační ochrana pacientů a personálu na oddělení nukleární medicíny v nemocnici České Budějovice je dostatečně optimalizována.“*

Tahle práce může sloužit jako studijní materiál pro studenty bakalářského oboru radiologický asistent.

**Klíčová slova:** radiační ochrana, nukleární medicína, efektivní dávka, ekvivalentní dávka, ionizující záření, oddělení nukleární medicíny v Českých Budějovicích, termoluminiscenční dozimetr, pracovník nukleární medicíny

## **Abstract**

Open radioactive sources are used at the department of nuclear medicine for diagnoses and therapy, as well as for research purposes. Ionizing radiation is applied in all cases. Since a negative impact of this radiation has been depicted, it is necessary to systematically reduce the radiation on people, and protect the environment.

The title of this bachelor thesis is: “Radiation protection of staff and operatives at the Department of Nuclear Medicine“.

This thesis is divided into several parts. The beginning of the theoretical part focuses on history of origins of radiation protection and institutions which deal with it. Further, nuclear medicine as such, its equipment, and structure of the department in general is described. The conclusion then introduces the DNM in the town of České Budějovice. Ionizing radiation and its biological effects on organisms were defined, as well as quantities and units which characterize it. A considerable part of this work focuses on principles of radiation protection, monitoring of the staff, workplace and releases. This work also deals with dosimetry and lists types of used dosimeters. It assesses the risks of outer and inner radiation.

The aim of this thesis was to analyse laws and regulations which are connected to radiation protection and identify its effective application for staff and patients of the DNM in České Budějovice.

Another aim was to examine the radiation protection of patients at the Department of Nuclear Medicine, as well as the radiation protection of patients and staff at the inpatient ward.

The research question was: “Is the radiation protection of patients and staff at the Department of Nuclear Medicine in hospital in the town of České Budějovice sufficiently optimized?“

The method of research was assembling and recording materials of nuclear medicine in České Budějovice, compare doses of thermoluminescent dosimeters of the staff in outpatient and inpatient wards, and compare doses of finger and whole-body thermoluminescent dosimeters.

The practical part provides detail information, charts and graphs of effective and equivalent doses of staff of outpatient and inpatient wards of the DNM in the town of České Budějovice between years 2009 and 2013. The outpatient ward comprises of fifteen employees. The inpatient ward of three nurses and one hospital attendant. These were observed in details for effective dose equivalents  $H_p(10)$  during each individual month for the period of five years. Results from the personal whole-body and finger dosimeters have been used for the analysis. The values of equivalent doses of  $H_T$  from finger TLD are recorded for two of the employees.

The data for the hospital in the town of České Budějovice was assessed by CSOD Ltd. In Prague, a company which has been providing dosimetric calculations in the Czech Republic for over twenty years. This data was compared with limits for radiation workers, which are regulated by State Office for Nuclear Safety no.389/2012 Sb., from November 16<sup>th</sup>, 2012, which changes the public notice of State Office for Nuclear Safety no.307/2002 Sb., about radiation protection as amended by public notice no.499/2005 Sb.

The outcomes of the thesis have remitted a very high level of radiation protection and well-established measures in the protection of staff and patients against negative effects of ionizing radiation in the hospital of the town of České Budějovice.

The thesis is then enhanced by a discussion, which reflects the outcomes compared with professional findings summarised in the theoretical part.

The answer to the research question is: “Yes, radiation protection of the staff and patients at the Department of Nuclear Medicine in the hospital of the town of České Budějovice is sufficiently optimized.”

This bachelor thesis can be used as a study material for students of the field of study – Radiology Assistant.

**Key words:** radiation protection, nuclear medicine, effective dose, equivalent dose, ionizing radiation, Department of Nuclear Medicine in the town of České Budějovice, thermoluminescent dosimeter, worker in the nuclear medicine

## **Prohlášení**

### Prohlášení

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

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

V Českých Budějovicích dne 4. května 2015 .....

(Kristína Daňová)

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala paní Mgr. Zuzaně Freitinger – Skalické, PhD., za cenné rady, vstřícnost a pomoc při konzultacích. Mé poděkování patří též zaměstnancům oddělení nukleární medicíny v Nemocnici České Budějovice a.s., kteří se mnou spolupracovali při získávání údajů pro praktickou část práce.

## Obsah

Úvod .....	10
1 Teoretická část .....	11
1.1 Z historie.....	11
1.2 Legislativa v oblasti radiační ochrany .....	12
1.3 Nukleární medicína .....	15
1.3.1 Radionuklidy v NM.....	15
1.4 Radioaktivita a ionizující záření .....	17
1.4.1 Biologické účinky .....	17
1.4.2 Deterministické a stochastické účinky .....	17
Deterministické účinky IZ .....	18
Stochastické účinky IZ.....	18
1.5 Veličiny a jednotky v dozimetrii .....	19
1.5.1 Veličiny biologických účinků IZ .....	19
1.6 Principy radiační ochrany .....	22
1.6.1 Princip zdůvodnění.....	22
1.6.2 Princip optimalizace.....	22
1.6.3 Princip limitování .....	23
1.6.4 Princip bezpečnosti zdrojů .....	25
1.7 Kategorie radiačních pracovníků .....	25
1.8 Druhy monitorování.....	26
1.8.1 Osobní monitorování .....	27
1.8.2 Monitorování pracoviště.....	28
1.8.3 Monitorování výpustí .....	28
1.9 Radiační ochrana personálu .....	30
1.9.1 Ochrana časem.....	30
1.9.2 Ochrana vzdáleností .....	30
1.9.3 Ochrana stíněním.....	31
1.10 Radiační ochrana pacientů .....	31



1.11	Ambulantní část oddělení nukleární medicíny v ČB .....	33
1.12	Lůžková část .....	34
1.12.1	Umístování pacientů .....	35
1.12.2	Ochrana personálu na lůžkové části .....	35
1.12.3	Radiační ochrana obyvatelstva .....	38
1.12.4	Radioaktivní odpad.....	39
1.12.5	Dozimetrie .....	40
2	Výzkumná otázka a metodika výzkumu .....	42
2.1	Výzkumná otázka.....	42
2.2	Metodika výzkumu .....	42
3	Výsledky .....	43
4	Diskuze.....	61
5	Závěr .....	63
6	Seznam informačních zdrojů.....	64
7	Přílohy .....	69
	Seznam použitých zkratk .....	72
	Seznam obrázků.....	74
	Seznam tabulek.....	74
	Seznam grafů .....	75

## Úvod

Přínos v oboru nukleární medicíny je nepochybný. Nabídka vyšetření a léčebných postupů je velmi rozmanitá a podložena letitými zkušenostmi. Využívá při tom vlastnosti ionizujícího záření. Už z historie víme, že kromě pozitivního vlivu na člověka, má při nesprávném používání jeho zdrojů i škodlivé působení. Proto všichni, kteří přichází do styku s ionizujícím zářením, musí být maximálně chráněni tak, aby nevzniklo ohrožení zdraví. I když naproti ostatním oborům, využívajícím ionizující záření, má nukleární medicína (dále NM) minimální zátěž, je potřebné, aby pracovníci při výkonu diagnostických a léčebných postupů, neohrožovali sebe ani nikoho jiného žádným nebezpečím. Musí proto mít dostatečné vědomosti o vlastnostech záření, biologických účincích, způsobech měření a metodách ochrany.

Nukleární medicína v Českých Budějovicích nabízí pro ambulantní pacienty široké spektrum diagnostických vyšetření, které podávají informaci o funkčnosti orgánů, pomocí vpraveného radioizotopu. Součástí oddělení je lůžková část, kde probíhá terapie kloubů, kostí a často štítné žlázy. Velmi specializovaný úsek oddělení se věnuje léčbě revmatologických, onkologických a ortopedických indikací.

# 1 Teoretická část

## 1.1 Z historie

V historii lidstva se stali velkým mezníkem objevy paprsků X v roce 1895 německým fyzikem W. C. Röntgenem a o rok později přirozené aktivity A. H. Becquerem. Vlastnosti těchto objevů se začaly využívat v mnoha vědeckých a lékařských oborech. Již dva roky poté byly však zjištěny a popsány závažná onemocnění lidí přicházející do styku s ionizujícím zářením. Osoby pracující s rentgenovým zářením a radioaktivními látkami byli stále více vystaveny nežádoucím účinkům. To vedlo k potřebě chránit lidský organizmus. Vznikl a rozvinul se tak obor radiační ochrana, který přispívá k využívání ionizujícího záření pouze v jeho prospěch.

Nový rozměr dostal po druhé světové válce. S rozvojem atomové energie se radiační ochrana začala věnovat problematice sledování a snížení radiační zátěže z umělých a přírodních zdrojů.

Ochranou zdraví při práci s radioaktivními látkami se začali zabývat vědci ve světě, ale i u nás. [1.]

V zahraničí vzniká řada institucí a doporučení, o které se opírá naše legislativa. Svoji funkci vykonávají i dnes. Jednou z nich je Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu ICRP, založená v roce 1928 ve Stockholmu. [2.]

V roce 1955 byl zřízen Vědecký výbor OSN pro účinky atomového záření UNSCEAR. [3.]

V rámci systému OSN ve spolupráci s oblastí bezpečné a mírové jaderné energie, byla v roce 1957 vytvořena Mezinárodní agentura pro atomovou energii IAEA. Partnery má společnost po celém světě a její sídlo je ve Vídni. [4.]

Od roku 1965 existuje Mezinárodní agentura pro radiační ochranu IRPA. Jejím cílem je mezinárodní setkání jejích členů a společenství zabývající se řešením problematiky radiační ochrany. [5.]

Pod ministerstvem Veřejných věcí vzniká v roce 1918 v Československu Státní ústav radiologický pro výzkum radioaktivity.

V roce 1926 byla vytvořena první profesní společnost sdružující pracovníky s ionizujícím zářením. Rok poté na žádost Lékařské komory byly zpracovány zákonné předpisy o zacházení s rentgenem a radioaktivními látkami. Ústav se následně legislativně přemístil pod Ministerstvo zdravotnictví. Pod jeho vedením vznikají výkonné zařízení a ústavy v oboru hygieny, epidemiologie a mikrobiologie. S využitím atomové energie pro mírové účely vzniká Ústav jaderné fyziky, který vykonává mimo jiné činnosti i radiačně hygienický dozor.

Se vznikem samostatné České republiky v roce 1993 byl zřízen Státní ústav pro jadernou bezpečnost, který nahradil Československou komisi pro atomovou energii. Tento ústřední orgán státní správy a dozoru České republiky při mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření působí na poli Českého státu dodnes. [1.]

## 1.2 Legislativa v oblasti radiační ochrany

Radiační ochrana je systémem takových opatření, která přispívají k omezení ozáření fyzických osob a chrání životní prostředí. Řídí se předpisy vycházejícími z Mezinárodní komise ochrany před zářením ICRP. Ústřední orgán státní správy v České republice, který vychází z doporučení této mezinárodní nezávislé organizace je Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Uplatňuje zákony, vyhlášky a nařízení vlády ČR. Vykonává dozor nejenom v oblasti radiační ochrany, ale i při chemické, jaderné a biologické ochraně. [6.]

**Zákon č. 18/1997 Sb.**, o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) o změně a doplnění některých zákonů, řeší všechny činnosti související s využitím jaderné energie a ionizujícího záření (poslední novela atomového zákona v platnosti od 1. 7. 2002 - zákon č.13/2002 Sb.). Spolu s doprovázejícími vyhláškami SÚJB tvoří podstatu právních předpisů radiační ochrany. [7.]

**Vyhláška č. 315/2002 Sb.**, ve znění vyhlášky č. 146/1997 Sb., § 1 Předmět úpravy kromě jiného stanovuje

- zvláště důležité činnosti z hlediska radiační ochrany
- požadavky na kvalifikaci a odbornou přípravu vybraných pracovníků
- získávání a ověřování zvláštní odborné způsobilosti
- udělování oprávnění vybraným pracovníkům
- způsob provedení schvalované dokumentace pro povolení k přípravě vybraných pracovníků [8.]

**Vyhláška č. 389/2012 Sb.**, ze dne 16. listopadu 2012, kterou se mění vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb., ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb., o radiační ochraně § 1 Předmět úpravy kromě jiného stanovuje

- způsob a rozsah radiační ochrany na pracovištích s radiační činností
- schvalování, vymezení a označování kontrolovaného a sledovaného pásma
- činnosti pro přípravu, provádění a stanovení směrných hodnot zásahů k odvrácení nebo snížení ozáření
- zprošťovací a uvolňovací úrovně, limity ozáření, optimalizační meze
- činnosti k podrobné klasifikaci zdrojů ionizujícího záření
- kategorizace radiačních pracovníků a pracovišť s radiační činností
- požadavky k zajištění optimalizace radiační ochrany
- nakládání s radioaktivními odpady a zdroji ionizujícího záření
- podmínky lékařského ozáření
- diagnostické referenční úrovně
- pravidla pro ozáření fyzických osob podstupujících lékařské ozáření
- podmínky bezpečného provozu zdrojů ionizujícího záření a jejich pracovišť
- vymezuje veličiny a parametry radiační ochrany, sleduje, měří, hodnotí, ověřuje, zaznamenává, eviduje jejich rozsah a předává SÚJB [9.]

**Vyhláška č. 2/2004 Sb.**, ve znění vyhlášky č. 318/2002 Sb., o podrobnostech zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření, a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu § 1 předmět úpravy stanovuje

- držitelům povolení podrobnosti k zajištění havarijní připravenosti pracovišť, kde se provádějí radiační činnosti
- požadavky na obsah vnitřního havarijního plánu
- na obsah havarijního řádu pro přepravu a dopravu určených radioaktivních látek, pro které se vyžaduje povolení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost
- rozsah a způsob jejího provedení
- požadavky na sledování, měření, hodnocení, ověřování veličin, parametrů a skutečností důležitých z hlediska havarijní připravenosti včetně vedení a uchovávání jejich evidence a způsob předávání údajů SÚJB [10.]

**Vyhláška č.132/2008 Sb.**, o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd ve znění zákona č. 13/2002 Sb. a zákona č. 253/2005 Sb.

§ 1 předmět a rozsah úpravy kromě jiného stanovuje

- požadavky na systém jakosti při provádění nebo zajišťování činností souvisejících s radiační činností
- náplň programu zabezpečování jakosti
- kritéria a základní požadavky pro zabezpečování jakosti a pro zařazení a rozdělení vybraných zařízení do bezpečnostních tříd
- rozsah a způsob provedení seznamu vybraných zařízení [11.]

## 1.3 Nukleární medicína

Nukleární medicína je specializovaný lékařský obor, který se zabývá aplikací radioaktivních látek, zvaných radiofarmak do organismu. Tato metoda vpravení otevřených zářičů do lidského těla, se od padesátých let dvacátého století, kdy vznikla, neustále rozvíjí. Přínos nachází v mnoha medicínských oborech. [12.]

Radiofarmaka využívá převážně pro diagnostiku, v menší míře i pro terapii. Do organismu se aplikují parenterálně, perorálně, inhalačně anebo lokálně. V klinické praxi se pro diagnostické účely podávají nejčastěji intravenózně jako roztoky, koloidy a suspenze. Vstupují do metabolismu a podle chemické povahy se hromadí v určitých orgánech. To nám umožňuje posuzovat klinický stav, funkci a morfologii orgánů a tkání a lokalizovat patologické procesy. [13.]

Léčba otevřenými zářiči má význam v endokrinních, neuroendokrinních a onkologických nemocech. Obor využívá poznatky z radiobiologie, dozimetrie ionizujícího záření a radiační ochrany.

### 1.3.1 Radionuklidy v NM

Nezbytnou a z hlediska radiační ochrany nejdůležitější součástí radiofarmak, využívaných v NM je radionuklid. Ten je zdrojem ionizujícího záření a proto je při práci s těmito látkami nutné dodržovat zvláštní požadavky. [15.]

Radionuklidy jsou charakteristické fyzikálním poločasem přeměny, druhem a energií ionizujícího záření. Vyrábějí se v generátorech, jaderných reaktorech nebo cyklotronech. [13.]

Nejčastěji používané radionuklidy pro účely diagnostiky a terapie oddělení nukleární medicíny jsou: Technecium ( $^{99m}\text{Tc}$ ), Krypton ( $^{81m}\text{Kr}$ ), Indium ( $^{111}\text{In}$ ), Jod ( $^{123}\text{I}$ ), ( $^{125}\text{I}$ ) a ( $^{131}\text{I}$ ), Galium ( $^{67}\text{Ga}$ ), Chrom ( $^{51}\text{Cr}$ ), Thalium ( $^{201}\text{Tl}$ ) jako zářiče gama s energií od 30- 511 keV.

Zářiče beta: Fluor  $^{18}\text{F}$ , Uhlík  $^{14}\text{C}$ , Yttrium  $^{90}\text{Y}$ , Stroncium  $^{89}\text{Sr}$ , Samarium  $^{153}\text{Sm}$ , Jod  $^{131}\text{I}$ .

Uzavřené zářiče radionuklidů například cesium  $^{137}\text{Cs}$ , jod  $^{129}\text{I}$ , stroncium  $^{90}\text{Sr}$ , radium  $^{226}\text{Ra}$ , americium  $^{241}\text{Am}$ , barium  $^{133}\text{Ba}$  nebo kobalt  $^{57}\text{Co}$  se používají ke kontrole přístrojů. [16.]

Radionuklid Technecium  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  má v NM doposud největší spotřebu, a jím značené sloučeniny tvoří asi 70 % všech radiofarmak. Získává se z generátorů molybdenu  $^{99}\text{Mo}$ , z kterého beta přeměnou vzniká metastabilní technecium, které má výhodné fyzikální a chemické vlastnosti. Jeho poločas rozpadu je 6 hodin s energií 140 keV a snadnou přípravou radiofarmak.

Generátory se odebírají nejčastěji jednou týdně a jejich aktivita je průměrně 15 GBq podle velikosti pracoviště. [16.]



## **1.4 Radioaktivita a ionizující záření**

Radioaktivita je dějem samovolného rozpadu atomových jader, při kterém je vyzařováno ionizující záření. Jeho kvanta mají natolik vysokou energii, že jsou schopny vyřádit elektrony z atomového obalu a tím látku ionizovat. Podle interakce záření s hmotou ho dělíme na přímo (elektronové, protonové, alfa záření, těžké ionty) a nepřímo ionizující (rentgenové záření, gama a neutronové). Ionizující záření je buď korpuskulárního, tudíž částicového nebo elektromagnetického charakteru. [17,18.]

### **1.4.1 Biologické účinky**

Je nezbytně důležité znát účinky ionizujícího záření na lidský organismus, protože může způsobit závažné poškození. Podle toho, na které úrovni působí, se rozdělují na úroveň molekulární, kde vzniká radiační efekt způsobený poškozenou molekulou DNA. Důsledkem toho dochází k poškození na buněčné úrovni, a to ztrátou životních funkcí buňky, mutací a neschopností dělit se. Závažně poškozené buňky na úrovni tkáňové jsou odstraněny, repulací nahrazeny nebo úplně ztrácí funkčnost tkáně jako celku. Mutace buňky na úrovni organismu způsobuje somatické a genetické změny. Genetické změny zapříčiňují poruchy vývoje plodu a přenášejí se i do dalších generací. Somatické změny mají za důsledek vznik nádorových transformací v ozářené tkáni. [18.]

### **1.4.2 Deterministické a stochastické účinky**

S ohledem na radiační ochranu jsou nejdůležitější účinky deterministické a stochastické. Rozdělují se podle vztahu mezi dávkou a účinkem, jelikož rozsah poškození radioaktivitou závisí na absorbované dávce. [13.]

### **Deterministické účinky IZ**

Charakteristickým znakem těchto účinků je určitá prahová dávka. Vznikají po její překročení, i když jednotlivé tkáně mají různý dávkový práh a závažnost zdravotního poškození úměrně stoupá s absorbovanou dávkou. Nástup účinků je rychlý, několik dní až týdnů po ozáření.

Patří sem syndrom akutní nemoci z ozáření. Poškozením buněčného cyklu vznikají projevy této radiační otravy. Mezi další řadíme radiační zánět kůže, zákal oční čočky, poškození embrya a plodu a jiné. [19.]

### **Stochastické účinky IZ**

Čím je dávka záření větší, tím je pravděpodobnější vznik stochastických účinků. Průběh a závažnost postižení závislé nejsou. Poškození DNA buňky může způsobit již jediná ionizace. Pravděpodobnost výskytu tedy roste lineárně od nuly. Mezi nejdůležitější poškození patří mutageneze a karcinogeneze. (sarkomy, leukemie). Doba latence od ozáření je dlouhá, počítá se několik měsíců, let až desítky roků. [19.]

## 1.5 Veličiny a jednotky v dozimetrii

### Aktivita A

„Počet radioaktivních přeměn v radioaktivní látce za jednotku času.“

Charakterizuje zdroje radionuklidů IZ. Jednotka aktivity je becquerel (Bq), častěji používané násobky kBq, MBq, GBq.

### Absorbovaná dávka D

Je fyzikální veličina definována jako „ energie absorbována v objemu látky o jednotkové hmotnosti. “

Jednotkou absorbované dávky je gray ( $\text{Gy} = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

### Dávkový příkon

Vyjadřuje „ přírůstek dávky za jednotku času. “

Jednotkou je  $\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### 1.5.1 Veličiny biologických účinků IZ

#### Dávkový ekvivalent H, pro který platí vztah

$$H = D \cdot Q$$

D je dávka v uvažovaném bodě tkáně

Q je jakostní činitel, který vyjadřuje biologickou účinnost různých druhů záření

Jednotka Sv (sievert).

### Ekvivalentní dávka $H_T$

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

„Je součinem radiačního váhového faktoru  $W_R$  a střední absorbované dávky v orgánu nebo tkáni  $D_{TR}$ .“

Jednotkou je Sv ( $J \cdot kg^{-1}$ ).

Radiační váhový faktor je bezrozměrné číslo, stanovené pro účely stochastických účinků v radiační ochraně. Souvisí s relativní biologickou účinností.

**Tabulka 1: radiační váhové faktory a jejich hodnoty vztahující se k záření dopadajícímu na tělo dle doporučení ICRP Publikace 103 [20.]**

Druh záření	Tkáňový váhový faktor $W_R$
Fotony, elektrony	1
Neutrony	spojitá závislost na energii
Protony (energie více než 2 MeV)	5
Částice alfa, těžké ionty, štěpné fragmenty	20

### Efektivní dávka $E$

$$E = \sum H_T \cdot W_T$$

„Je součet středních hodnot ekvivalentních dávek v tkáních nebo orgánech  $H_T$  vynásobených tkáňovým váhovým faktorem  $W_T$ .“

Jednotkou je Sv.

Tkáňové váhové faktory vyjadřují míru zdravotního poškození spojeného se stochastickými účinky ionizujícího záření tkání nebo orgánů, při ozáření celého těla. Součet  $W_T$  ve všech tkáních nebo orgánech se rovná jedné. [18.]

**Tabulka 2: tkáňové váhové faktory a jejich hodnoty dle doporučení ICRP Publikace 103 [20.]**

Tkáň (orgán)	Tkáňový váhový faktor $W_T$
Mozek, slinná žláza, kůže, povrch kostí	0,01
Štítná žláza, jícen, játra, močový měchýř	0,04
Gonády	0,08
Prso, plíce, žaludek, střevo (tlusté), kostní dřev (červená), ostatní*	0,12

\* ústní sliznice, horní cesty dýchací, brzlík, srdce, žlučník, nadledviny, ledviny, slinivka břišní, slezina, tenké střevo, prostata, děloha, lymfatické uzliny, svaly

#### **Úvazek efektivní dávky $E(50)$**

*„Časový integrál příkonu efektivní dávky za dobu 50 let (u dětí 70 let) od příjmu radionuklidů. “*

#### **Úvazek ekvivalentní dávky $H_T$**

*„Časový integrál příkonu ekvivalentní dávky v určité tkáni nebo orgánu za dobu 50 let (u dětí 70 let) od příjmu radionuklidů. “*

Zavedeny jsou pro účely posouzení závažnosti ozáření z vnitřních zdrojů. [15.]

## **1.6 Principy radiační ochrany**

Radiační ochrana si klade za cíl vyloučení jakýchkoliv deterministických účinků a riziko vzniku stochastických účinků omezit na co nejnižší úroveň. Z toho vyplývají 4 základní principy, kterými se radiační ochrana řídí. [13.]

1. Princip zdůvodnění
2. Princip optimalizace
3. Princip limitování
4. Princip bezpečnosti zdrojů

### **1.6.1 Princip zdůvodnění**

Všechny činnosti, tj. diagnostické a léčebné postupy, spojené s radiační zátěží, musí mít kompletně zvážena rizika a přínosy. Aby jednání bylo dostatečně odůvodněno, přínos musí převyšovat nad riziky, které při těchto činnostech vzniknou nebo by mohly vznikat. [13,21.]

### **1.6.2 Princip optimalizace**

Podle zákona č. 13/2002 Sb., při uvážení hlediska hospodářského i společenského, velikost individuálních dávek, počet ozářených osob, ale i pravděpodobnost ozáření je „tak nízká, jak je racionálně dosažitelná“. Proto každý, kdo provádí radiační činnost je povinen dodržovat potřebnou radiační ochranu, tak aby i rizika ohrožení zdraví lidí a životního prostředí byly právě tak nízké. Tento princip se nazývá ALARA. [19.]

Dostatečně optimalizovaná radiační ochrana je prokázána:

- Pokud by náklady alternativních opatření byly vyšší, než je přínos. Mezi tyto opatření patří například přemístění osob nebo vybudování dostatečných bariér, které zvyšují radiační ochranu. Za přínos se počítá finanční klasifikace očekávaného snížení ozáření. V tom případě se alternativní postupy nemusí provádět.
- Pokud za běžných podmínek efektivní dávka u žádného radiačního pracovníka nepřekročí 1 mSv a pokud tato stejná dávka u žádného jiného člověka nepřekročí 50 mSv za rok.
- Pokud nejsou překračovány diagnostické referenční úrovně, které platí pro lékařské ozáření. Pokud jsou hodnoty nad DRÚ přichází povinnost optimalizační analýzy, při které se prokazuje, proč se nelze pod úroveň dostat.
- Pokud jsou zajištěny programy jakosti. [15.]

System zabezpečování jakosti se týká:

- všech činností spojených s radiofarmaky. Od jejich přepravy, přijímání a skladování, až po přípravu a kontrolu
- dodržování hodnot aplikovaných radiofarmak pro diagnostické i léčebné účely
- kontrola kvality přístrojů v NM

V rámci ní se provádějí zkoušky předávací a provozní, čili rutinní. Cílem je odhalení poruch technických parametrů, které by mohly ovlivnit kvalitu diagnostických a léčebných výsledků. [13.]

### **1.6.3 Princip limitování**

Limitem se rozumí číselná hodnota celkového ozáření osob vzniklá při radiačních činnostech. Radiační ochrana podle zákona č. 13/2002 Sb., nepřipouští jejich překročení. Rozlišují se základní a odvozené limity.

Mezi základní limity patří limity pro obyvatelstvo, radiační pracovníky a pro studenty a učně, kteří se připravují na povolání. Nepočítají s ozářením

z přírodního pozadí, z ozáření zvláštních případů, s lékařským ozářením, nebo ozářením vzniklým při radiačních haváriích a nehodách. [13,22.]

### **Limity pro obyvatelstvo.**

- Efektivní dávka maximálně 1 mSv za rok
- Ekvivalentní dávka v oční čočce 15 mSv za rok
- Průměrná ekvivalentní dávka na  $1\text{cm}^2$  kůže 50 mSv za rok

### **Limity pro pracovníky (profesní ozáření)**

- Efektivní dávka nesmí překročit hodnotu 50 mSv za jeden kalendářní rok a 100 mSv za 5 po sobě následujících roků
- Ekvivalentní dávka v oční čočce 150 za rok
- Průměrná ekvivalentní dávka na  $1\text{cm}^2$  kůže a dávka na ruce (od prstů až po předloktí) a nohy (od chodidel až po kotníky) maximálně 500 mSv za rok

### **Limity pro učně a studenty**

- Efektivní dávka maximálně 6 mSv za rok
- Ekvivalentní dávka v oční čočce 50 mSv za rok
- Průměrná ekvivalentní dávka na  $1\text{cm}^2$  kůže a dávka na ruce (od prstů až po předloktí) a nohy (od chodidel až po kotníky) maximálně 150 mSv za rok

Dávky vztahované na limity pro učně a studenty, kterým je minimálně 16 let a ještě nedovršili 18 let, se nevztahují na přírodní ozáření. [15,22.]

Protože základní limity nejsou přímo měřitelné, vznikli odvozené limity, vyjádřené v měřitelných veličinách.

Pro vnější ozáření:

Hodnota limitů osobního dávkového ekvivalentu  $H_p$  v hloubce 10 mm je 20 mSv za rok



Hodnota limitů osobního dávkového ekvivalentu  $H_p$  v hloubce 0,07 mm je 500 mSv za rok

Pro vnitřní ozáření:

Jsou vyjádřeny konverzním faktorem  $h$  pro příjem radionuklidů požitím ( $h_{ing}$ ) nebo vdechnutím ( $h_{inh}$ ).

Při současném vnějším i vnitřním ozáření se dají limity sčítat.

#### **1.6.4 Princip bezpečnosti zdrojů**

*„Zdroje ionizujícího záření musí být zabezpečeny tak, aby nad nimi nemohlo dojít za předvídatelných podmínek ke ztrátě kontroly „ (Rozlívka, 2005, s. 37).*

Pokud dojde k nehodě, další součástí čtvrtého principu je optimalizace jejich důsledků.

### **1.7 Kategorie radiačních pracovníků**

Podle doporučení ICRP se pracovníci se zdroji ionizujícího záření řadí do kategorie A a kategorie B. Pracovníci kategorie A pracují v kontrolovaném pásmu. Je to vymezená, oddělená a schválená část pracoviště SÚJB, kde by roční efektivní dávka zaměstnance mohla být vyšší než 6 mSv a pro ozáření kůže, končetin a oční čočky by roční ekvivalentní dávka mohla převýšit tři desetiny limitů. Nepovolené osoby mají zde vstup zakázán (těhotné ženy, osoby mladší 18 let, s výjimkou osob, které se připravují na povolání). Nesmí se zde jíst, pít ani kouřit. Pracovníci kategorie A musí být vybaveni osobním dozimetrem, který měří osobní dávkový ekvivalent vyhodnocovaný Celostátní službou osobní dozimetrie. Záznamy osobních dávek pracovníka kategorie A jsou uchovány minimálně 30 let od ukončení jeho činnosti, až do věku 75 let. Mimo jiné

musí pracovník kategorie A absolvovat periodickou preventivní lékařskou prohlídku minimálně jednou za rok. Ostatní pracovníci jsou zařazeni do kategorie B. [13,18.]

Sledované pásmo se vymezuje tam, kde by ozáření mohlo překročit obecné limity. To znamená, kde by efektivní dávka mohla překročit 1 mSv za rok. Je označené jako sledované pásmo se zdroji ionizujícího záření nebo taky znakem radiačního nebezpečí. Mohou zde pracovat pracovníci kategorie B. Ve sledovaném pásmu se monitoruje pouze pracoviště.

**Obrázek 1: varovný signál povolující vstup do pásma**



Zdroj: Oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s.

## **1.8 Druhy monitorování**

Cílem monitorování je hodnotit a zaznamenávat výsledky naměřených veličin, které charakterizují radiační ochranu. (ozáření osob, povrchové kontaminace radionuklidy nebo pole záření). [15.]

Podle vyhlášky 389/2002 Sb., ve znění vyhlášky 499/2005 Sb., o radiační ochraně, základním vnitřním předpisem každého pracoviště, které využívá ionizující záření je Program monitorování. Řídí se referenčními úrovněmi.

### 1. Záznamová úroveň

Hodnoty se podrobně zaznamenávají a evidují, pokud je překročena hodnota desetiny základních limitů.

### 2. Vyšetřovací úroveň

Naměřené ukazatele jsou podnětem k hledání příčin odchylek. Vyšetřují se i důsledky zjištění přesáhnutých desetin základních limitů nebo u obvykle se vyskytujících hodnot to může být pětkrát zvětšená horní mez.

### 3. Zásahová úroveň

Překročením odvozených nebo základních limitů se zavádějí postupy a opatření, které se snaží změnit anomálie naměřených hodnot veličin. Práce se zdroji ionizujícího záření jsou zpravidla zastaveny.

Máme 3 druhy monitorování

1. Osoby
2. Pracoviště
3. Výpustí

## 1.8.1 Osobní monitorování

Osobní dozimetry nosí pracovníci kategorie A, a to na referenčních místech (levá přední strana hrudníku), nebo místech vystavených největšímu ozáření (prstový dozimetr).

Slouží ke stanovení osobních dávek pro zevní i vnitřní ozáření. Vyhodnocují se měsíčně (pracovníci kategorie A), nebo tříměsíčně CSOD. Poznáme termoluminiscenční, elektronické nebo stále používané filmové dozimetry. Osobní monitorování stanovuje dávkový ekvivalent Hp(10) v hloubce tkáně 10 mm pod povrchem těla, u pronikavého záření (např. gama) a povrchového dávkového

ekvivalentu Hp(0,07) v hloubce 0,07 mm kůže (méně pronikavé záření beta). Oční čočce odpovídá osobní dávkový ekvivalent Hp(3) v hloubce 3 mm.

Pro vyjádření limitů pracovníku se zdroji IZ se musí Hp(10) dále přepočítat na efektivní dávku. Ta se váže na pravděpodobnost postižení stochastickými účinky záření. [13,18.]

V NM mimo zevní ozáření dochází i k vnitřní kontaminaci pracovníků. Příjem radionuklidů a úvazek efektivní dávky z vnitřního ozáření se monitoruje měřením aktivity radionuklidů v těle pacienta nebo jeho vylukách. [16.]

### **1.8.2 Monitorování pracoviště**

Na všech úsecích oddělení nukleární medicíny je potřebné monitorovat příkon dávkového ekvivalentu, povrchovou aktivitu a objemovou aktivitu ve vzduchu. [16.]

Přenosný měřič dávkového příkonu pracuje na bázi GM detektoru a vyhotovuje se signálním upozorněním. V programu monitorování musí být zahrnuty parametry měření, tj. místo měření (1 m nad zemí uprostřed místnosti), rozsah měřených veličin, které nesmí být překročeny a závislost energie.

Veličina vyjadřující kontaminace povrchů (pracovní pomůcky, oděvy, zařízení, stavební částí pracoviště) a povrchu těla se nazývá plošná aktivita ( Bq/cm<sup>2</sup>). Měří se přímo pomocí přístrojů, nebo pomocí stěru vloženého do scintilačního detektoru. (s výjimkou měření kontaminace rukou).

Kontaminace povrchů v kontrolovaném pásmu a povrchů těla, se řídí směrnými hodnotami. [16.]

### **1.8.3 Monitorování výpustí**

Znamená kontinuální nebo periodické sledování, měření a zaznamenávání celkové hmotnosti, nebo objemové aktivity uvolněných radioaktivních látek do životního

prostředí. Jedná se o odpady pevných látek, kapalných a plyných výpustí. [15,23.]

Kapalné odpady jsou odváděny do čistící stanice, kde musí být hodnota radioaktivity odeznená na přípustnou uvolňovací úroveň a poté mohou být vypuštěny spolu s odpady z nemocničního prostředí do městské kanalizace.

Podobně je to i s pevným radioaktivním odpadem. Ten je uskladňován ve vymírací místnosti. Odpad je možné uvést do životního prostředí zpravidla po odeznení deset fyzikálních poločasů.

## **1.9 Radiační ochrana personálu**

K dosažení cíle radiační ochrany je třeba u personálu pracujícího se zdroji ionizujícího záření zásadně dodržet ochranu před zevním, ale i vnitřním ozářením. K externímu ozáření dojde při přípravě a aplikaci radiofarmaka, tak i setrváním s naaplikovaným pacientem určitou dobu. Proto fyzikální metody chránící pracovníky před tímto ozářením jsou čas, vzdálenost a stínění. K vnitřní kontaminaci radionuklidy dojde požitím (ingescí), vdechnutím (inhalací), přes kůži poraněnou, nebo absorpcí přes kůži neporaněnou. Personál je tak povinný se chránit nošením gumových rukavic a prací v digestoři.

### **1.9.1 Ochrana časem**

Zde platí vztah, že dávka je přímo úměrná době expozice. Čím déle bude tedy pracovník v blízkosti zdroje nebo pacienta, tím větší dávku obdrží. Je proto důležité, aby byl dobře vyškolený personál, který pracuje rozvážně a rychle, ale zároveň s největším možným přínosem. Pokud to dovoluje organizační chod oddělení je dobré častější střídání personálu u druhů vyšetření nebo léčebných postupů, kde je obdržená dávka vyšší.

### **1.9.2 Ochrana vzdáleností**

Intenzita ionizujícího záření emitujícího při rozpadu radionuklidů je nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti od zdroje. Tedy i dávkový příkon klesá s druhou mocninou. Když vzdálenost od pacienta zvětšíme dvojnásobně, obdržená dávka se sníží čtyřnásobně. Je tedy zcela na místě od aplikovaných pacientů a zdrojů záření udržovat co nejdelší vzdálenost. Při práci s radiofarmaky používáme pinzety, peány a kleště s dlouhou rukojetí. [18.]

### 1.9.3 Ochrana stíněním

Zeslabení svazku záření docílíme správným výběrem materiálu stínící vrstvy. Vhodným absorpčním materiálem o vysoké hustotě pro odstínění záření gama je olovo nebo wolfram. Ten se však z vyšších ekonomických nákladů používá méně. Dávka záření je tím menší, čím je tloušťka stínícího materiálu silnější.

Injekční stříkačky s radiofarmakem jsou opatřeny ochrannými kryty z olova tloušťky 1,5 mm, dále kontejnery na převoz a likvidaci radioaktivních látek, ochranné zástěry a pojízdné zástěny. V neposlední řadě i stěna z barytové omítky oddělující ovladovnu od vyšetřovny, má pozorovací okénko z vrstvy olova.

Dávkový příkon záření gama u  $^{131}\text{I}$  se zeslabí na polovinu již při použití olověných stínících materiálů o tloušťce cca 2,6 mm. [24.]

Pro odstínění záření beta se používají naopak lehké materiály jako je hliník, plexisklo, guma nebo plast. [13.]

### 1.10 Radiační ochrana pacientů

Radiační zátěž pacienta je vyjádřena pomocí vztahu mezi efektivní, ekvivalentní a absorbovanou dávkou. Závisí na nich míra stochastického účinku. Soubor ekvivalentních dávek  $H_T$  v tkáních a orgánech je vypočítán z příslušných středních hodnot absorbovaných dávek  $D_T$  a efektivní dávky  $E$ . Ekvivalentní dávku je možné nahradit střední absorbovanou dávkou, protože radiační váhový faktor pro záření beta a gama má hodnotu 1. Pro stanovení radiační zátěže pacienta se aplikovaná aktivita radiofarmaka vynásobí tabelovanou hodnotou středních absorbovaných dávek a efektivních dávek z radiofarmak. [23.]

*„Aktivita radiofarmaka aplikovaného pacientovi musí být volena tak, aby zaručila dostatečnou diagnostickou informaci při co nejnížší radiační zátěži pacienta“* ( Kupka a kolektiv, 2007, s. 29). To znamená, použít jen nezbytné množství radioaktivní látky, požadované čistoty a aktivity. Diagnostické referenční úrovně podle vyhlášky

č. 307/2002 Sb., stanovují hodnoty aktivity radiofarmaka aplikovaného v NM pro pacienta s hmotností 70 kg. Optimalizovaná hodnota aktivity aplikované pacientovi by měla být tedy nižší nebo rovná DRÚ. Existují případy, kdy mohou být úrovně překročeny, zejména když je váha pacienta vyšší než 70 kg, různá onemocnění, komplikace a zhoršený stav pacienta. Tyto skutečnosti musí být zdůvodněny a musí se u nich předpokládat s diagnostickým přínosem. Za nepřijatelnou oblast se počítá zbytečně vysoká radiační zátěž pacienta a rovněž nedostatečná diagnostická informace. U dětských pacientů NM nejsou vydány DRÚ. Aplikovaná aktivita vychází z hodnot DRÚ určené pro dospělé pacienty. Ty se násobí příslušným koeficientem pro dítě (koeficienty počítané z tělesné hmotnosti dítěte vydává Evropská asociace NM). [13.]

Tak jako u dětí ani při léčbě radionuklidů neexistují DRÚ. Aktivita se volí tak, aby se dosáhlo požadovaného účinku. Přitom ozáření zdravých tkání musí být tak nízké, jak lze bez omezení léčby rozumně dosáhnout. [23.]

Ovlivněním biokinetiky radiofarmaka lze snížit radiační zátěž pacienta. První metodou je omezit přístup radiofarmaka do určitého orgánu. U  $^{131}\text{I}$  je to blokáce štítné žlázy podáním chloristanu draselného. Druhá metoda sníží dávku, pokud se zrychlí vylučování radiofarmaka z těla pacienta. Doporučuje se pít více tekutin a častěji močit. Zvláště tady, ale též při diagnostických vyšetřeních, radioaktivní látka musí být před podáním ověřena a hodnota aktivity řádně zdokumentována. Měří se na správně kalibrovaném měřiči aktivity. [18.]

Vyšetření gravidních žen se provádí jen v neodkladných případech, snížením aplikované aktivity a prodloužením doby vyšetření. [13.] Gravidita je absolutní kontraindikací pro léčbu radionuklidů. [23.]

Existují postupy přispívající k optimální radiační ochraně pacientů na oddělení nukleární medicíny a to zejména:

1. Volba alternativních vyšetřovacích metod (ultrasonografie, magnetická rezonance)
2. Kontrola kvality radiofarmak před jejich aplikací pacientovi
3. Dodržování DRÚ a volba optimální aktivity radiofarmak
4. Ovlivňování biokinetiky radiofarmaka



## 5. Kontrola kvality vyšetřovacích postupů a přístrojů [23.]

### 1.11 Ambulantní část oddělení nukleární medicíny v ČB

Ohrožení zdraví a životního prostředí ionizujícím zářením je kritériem rozdělení pracoviště NM do I., II. a III. kategorie s jednoduchými nebo významnými zdroji. [16.]

Nukleární medicína v nemocnici České Budějovice a.s. se rozděluje na část laboratorní, ambulantní, lůžkovou a tzv. vymírací místnost (část pro likvidaci radioaktivního odpadu). Na pracovišti se nachází dobře vybavená chemická laboratoř, digestoř pro ventilaci radioaktivních látek a kanalizace napojená na samostatně zachytnou nádrž.

V prvním laboratorním úseku NM se radiofarmaka připravují a kontrolují. Místnost je vybavena sterilním laminárním boxem pro převedení radionuklidu do lékové formy značené sloučeniny a laminární box pro značení krevních buněk.

Ambulantní část zahrnuje samotná diagnostická vyšetření a dispenzarizaci léčených pacientů. Radiofarmaka (kromě radioaktivních plynů, které se vdechují) jsou pacientovi v aplikační místnosti podané intravenózně. Některá vyšetření (dynamická) však vyžadují aplikaci RF přímo na vyšetřovacím stole. Na diagnostiku jsou zapotřebí přístroje, které detekují rozložení příslušného radiofarmaka v těle pacienta. Nemocnici České Budějovice a.s. jsou k dispozici 2 scintilační kamery. První je značky SOPHA DST-XL, druhá značky SPECT/CT GE INFINIA HAWKEYE 4. K zachycení funkčnosti orgánu nebo systému se používá trojrozměrné zobrazení SPECT. (jednofotonová emisní výpočetní tomografie). Pro zobrazení anatomických poměrů je možné na druhé scintilační kameře doplnit vyšetřením CT. Tato hybridní SPECT/CT kamera je vybavena počítačovým systémem XELERIS. Archivaci a posílání obrazů do jiných nemocnic a zařízení umožňuje informační a archivní systém PACS. Data jsou uložena ve formátu DICOM.

Oba úseky jsou řazeny do II. kategorie, podle nebezpečnosti pracoviště, ve kterém se pracuje s generátory  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$  a radionuklidy  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{111}\text{In}$ , atd. [16,25.]

## 1.12 Lůžková část

V České republice je pouze 8 nemocnic, ve kterých funguje lůžková část oddělení nukleární medicíny. Nemocnice České Budějovice a.s. je jednou z nich.

Na lůžkové části oddělení je prováděna léčba radioaktivním jódem u nemocí štítné žlázy, léčba kloubních výpotků aplikací radioaktivního  $^{90}\text{Y}$  koloidu a léčba postižení kostí při onemocnění prostaty podáním  $^{153}\text{Sm}$ . Pomocí radiojódu se provádí terapie hypertyreózy, nádorů štítné žlázy a nemoci štítné žlázy provázené očními poruchami (odstranění zbytků štítné žlázy po operaci).

Radionuklid  $^{131}\text{I}$  s fyzikálním poločasem přeměny 8,04 dne je smíšeným beta gama zářičem. Při léčbě štítné žlázy se využívá beta záření. Přítomnost záření gama je na jedné straně přínosné, na straně druhé vede k radiační zátěži. Takle skutečnost vyžaduje patřičné ochranné opatření.

Radiojód se podává ve formě želatinových kapslí perorální formou. Před každou aplikací se aktivita želatinové kapsle měří v měřiči aktivity. Aplikovaná aktivita u léčby zvýšené činnosti štítné žlázy je od 300 do 800 MBq. U diferencovaného karcinomu se pohybuje v rozmezí od 3,4 do 10 GBq. [24.] Kalibrace měřiče aktivity je pravidelně kontrolována a musí splňovat provozní zkoušky.

**Obrázek 2: kontejner na přenos želatinové kapsle**



Zdroj: Oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s.

### 1.12.1 Umisťování pacientů

Lůžková část oddělení NM disponuje 12 lůžky. Je doporučeno, aby na pokoji pobývali pacienti s přibližně stejnou aktivitou. Pacient, kterému je aplikována vysoká aktivita (řádově GBq) a podmínky to dovolují, se umisťuje na pokoj samostatně.

Je důležité pacientovi řádně vysvětlit zásady pobytu na lůžkové části oddělení nukleární medicíny. Pacient používá ústavní prádlo, zásadně vykonává každodenní hygienickou péči, po každém použití WC důsledné umytí rukou. Při zvracení, krvácení nebo i ukápnutí moče je nutné upozornit personál.

### 1.12.2 Ochrana personálu na lůžkové části

#### **Stíněním:**

Lůžkové oddělení je odděleno od vyšetřoven, kde jsou scintilační kamery. Barytový beton se používá jako ochranný materiál ve stěnách mezi jednotlivými pokoji.

***Obrázek 3: odstíněná plocha pro práci s radiofarmaky, olověná guma***



Zdroj: Oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s.

**Obrázek 4: ochranné dveře s Pb vložkou**



Zdroj: Oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s.

Mezi další ochranné pomůcky patří olověná vesta, límec, olověné kryty na stříkačky, odstíněný kontejner pro odpad.

**Obrázek 5: ochranný Pb límec, ochranná Pb zástěra**



Zdroj: Oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s.

### **Vzdáleností a časem:**

Pobyt ošetřujícího personálu s nemocných by měl být jen na nezbytně nutnou dobu. Pokud je to možné, úklid místnosti, péče o lůžko a prádlo pacienta je potřeba provádět za jeho nepřítomnosti.

Je doporučeno, při veškerých činnostech používat gumové rukavice. Přítomnost radiofarmak na rukou pracovníků se může vyskytnout při jejich nesprávném svlékání. Rychlým a důkladným omytím lze dávku snížit. Pokud převyšuje kontaminace rukou dávku 150 mSv, je nutné událost hlásit SÚJB.

Oddělení musí být vybaveno vyhovujícím ventilačním zařízením. Dobrá klimatizace snižuje aktivitu  $^{131}\text{I}$  v štítné žláze pracovníků.

Monitorování radiojodu ve štítné žláze pracovníků se provádí operativně, na začátku nebo na konci týdne, a pravidelný měřicí interval by neměl být delší než měsíc. Na toto měření se používá scintilační jednotka s krystalem NaI s příměsí Tl. Je to jednokanálová scintilační sonda se spektrometrickou soupravou. Vzdálenost krku personálu k scintilačnímu krystalu a kolimátoru je co nejmenší. Záznamová, vyšetřovací a zásahová úroveň  $^{131}\text{I}$  je uvedena v programu monitorování.

***Obrázek 6: scintilační sonda s krystalem NaI(Tl)***



Zdroj: Oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s.

**Obrázek 7: vyhodnocovací zařízení jako součást k scintilační sondě**



Zdroj: Oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s.

### **1.12.3 Radiační ochrana obyvatelstva**

Návštěvy pacientů na oddělení a na místa patřící do kontrolovaného pásma, nejsou povoleny těhotným ženám a osobám mladším 18 let.

Pacient po léčebné aplikaci  $^{131}\text{I}$  je propuštěn do domácího prostředí, když aktivita  $^{131}\text{I}$  klesne pod hodnotu 250 MBq a dávkový příkon měřený 1 m od těla pacienta poklesne pod hodnotu  $12 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Po dobu alespoň 10 dnů od příchodu z nemocnice pacient musí dodržet:

1. Nebýt v blízkosti dětí, těhotných a kojících žen, držet odstup od blízkých alespoň 1 metr.
2. Dodržovat osobní hygienu, používat výhradně toaletní pomůcky jen pro svoji osobu (ručník, mýdlo, ...).
3. Dodržovat čisté WC, mytí rukou.
4. Používat svůj příbor, ložní prádlo, oblečení.
5. Vyhýbat se místům s větším počtem lidí.

#### **1.12.4 Radioaktivní odpad**

Pevné odpady znečištěné radiojódem jsou uloženy do vymírací místnosti, pokud hmotností aktivita a dávkový příkon poklesne na povolenou úroveň. Jedná se o stříkačky, jehly a tampony, tedy infekční odpad, ale i odpad neinfekční (ampule).

Pokud dávkový příkon měřený 1 m od odpadu nepřevyšuje  $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ , povrch není kontaminován více než  $3 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$  a hmotnostní aktivita více než  $3 \text{ kBq}/\text{kg}$  se odpad počítá za neaktivní a může být odstraněn.

***Obrázek 8: místnost a lednice určená pro pevný odpad***



Zdroj: Oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s.

Kapalné odpady jsou zachyceny do záchytných (vymíracích) nádrží. Do veřejné kanalizace mohou být vypuštěny, když je objemová aktivita na úrovni 450 Bq/l.

***Obrázek 9: záchytné nádrže pro kapalný odpad***



Zdroj: Oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s.

### **1.12.5 Dozimetrie**

Ke kompletnímu dozimetrickému vybavení ONM ČB patří: měřič povrchové radioaktivní kontaminace, měřič dávkového příkonu a osobní dozimetry. Každý zaměstnanec je vybavený osobním termoluminiscenčním dozimetrem. Zaměstnanci, kteří jsou vystaveny zvýšené expozici na ruce, používají navíc i prstový TLD.

K dispozici jsou také 2 elektronické (přímo odečítací) dozimetry.

Celotělový i prstový termoluminiscenční dozimetr slouží k dozimetrii fotonu s energií vyšší než 30 keV. Rozsah měření je od 0,05mSv do 5 Sv. Skládají se z termoluminiscenčního detektoru,



který je v pouzdře z plastické hmoty s kompenzačním filtrem. Prstový dozimetr má tvar prstýnku. Při běžné manipulaci jsou odolné vůči mechanickým vlivům. Při jejich údržbě se dají lehko otírat a dobře očistit.

U celotělového dozimetru je měrnou veličinou osobní dávkový ekvivalent v 10 mm tkáňe  $H_p(10)$ . Pro výpočet efektivní dávky platí vztah  $E = H_p(10) \times 0,9$ .

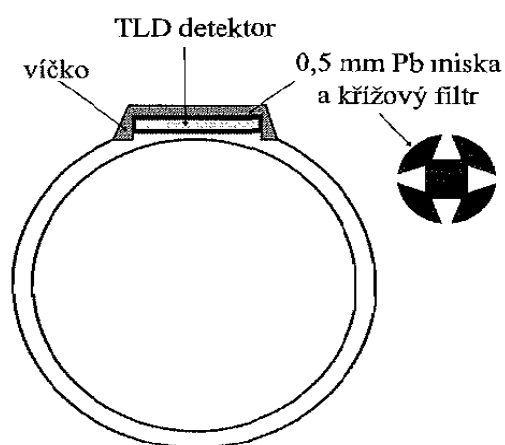
Prstový dozimetr se používá tam, kde jsou největšímu ozáření vystaveny ruce radiačního pracovníka a měří osobní dávkový ekvivalent  $H_p(0,07)$ .

**Obrázek 10: osobní termoluminiscenční dozimetr**



Zdroj: Oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s.

**Obrázek 11: schéma prstového termoluminiscenčního dozimetru**



Zdroj: Hušák Václav a kolektiv, 2009, s. 58

## **2 Výzkumná otázka a metodika výzkumu**

### **2.1 Výzkumná otázka**

Je radiační ochrana pacientů a personálu na oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a. s. dostatečně optimalizována?

### **2.2 Metodika výzkumu**

V období let 2009-2013 jsem zaznamenávala efektivní dávky pracovníků lůžkové i ambulantní části nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s. Rozsah souboru u lůžkové části tvořili 3 zdravotní sestry a 1 sanitářka. U těchto pracovníků jsem taktéž zapsala hodnoty osobních dávkových ekvivalentů  $H_p(10)$  z vnějšího ozáření za jednotlivé měsíce. Data z tabulek jsem pak zobrazila i v grafické formě. Hodnoty byly získány z osobních termoluminiscenčních dozimetrů, které vyhodnocuje Celostátní služba osobní dozimetrie, s.r.o. a přepočítává je na efektivní dávky. Ty jsou měřítkem pro limity radiačních pracovníků vzhledem ke stochastickým účinkům.

U ambulantní části rozsahem souboru byly 4 lékaři, 6 zdravotních sester, 1 radiologický asistent, 1 administrativní pracovník, 1 laborant, 1 inženýr pro laboratoř a 1 fyzik.

U těchto pracovníků jsem zaznamenala efektivní dávky za jednotlivé roky v období let 2009-2013.

Dále jsem porovnávala ekvivalentní dávky  $H_T$  z prstových termoluminiscenčních dozimetrů u dvou zaměstnankyň ambulantní části, a to laborantky a inženýrky pro laboratoř.

### 3 Výsledky

Všechny výsledky jsem získala z nemocnice České Budějovice a.s. Přehledně byly zapsané do tabulek a grafů. Porovnávány byly s maximálními povolenými limity pro radiační pracovníky dle vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb., ze dne 16. listopadu 2012, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb., o radiační ochraně. Příslušné veličiny jsou vyjádřené jednotkou mSv.

V tabulce č. 3, průměrnou hodnotu efektivní dávky obdržely zdravotní sestry, které pracují na lůžkové části ONM. Hodnoty dávek tvoří pouze 1/50 z povoleného limitu na jeden kalendářní rok pro radiační pracovníky.

Z tabulky č. 9 je zřejmé, že největší dávky dostaly zdravotní sestry č. 5,2,4 z ambulantní části ONM. Průměrná hodnota představuje 2 mSv. To znamená, že tvoří přibližně 1/25 limitů. Za nimi následuje laborantka, lékař č. 1, inženýrka pro laboratoř, ostatní lékaři, administrativní pracovník, radiologický asistent a fyzik.

Zdravotní sestry z lůžkové části obdržely za 5 let přibližně poloviční dávku oproti zdravotním sestřím z ambulantní části.

V tabulce č. 15 vidíme přehled hodnot ekvivalentní dávky  $H_T$  pro pracovníky, kteří při práci nosí prstový termoluminiscenční dozimetr. Laborantka a inženýrka pro laboratoř jsou vystaveny největšímu ozáření rukou. Pracují s radiofarmaky při eluci generátoru  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99m}\text{Tc}$ , přípravě a měření aktivity radiofarmak a rozdělování do injekčních stříkaček. Průměrná hodnota za 5 let je u laborantky 54, 60 mSv a u inženýrky pro laboratoř 42,08 mSv. Limit pro roční hodnocení ekvivalentní dávky je 500 mSv za 1 kalendářní rok.

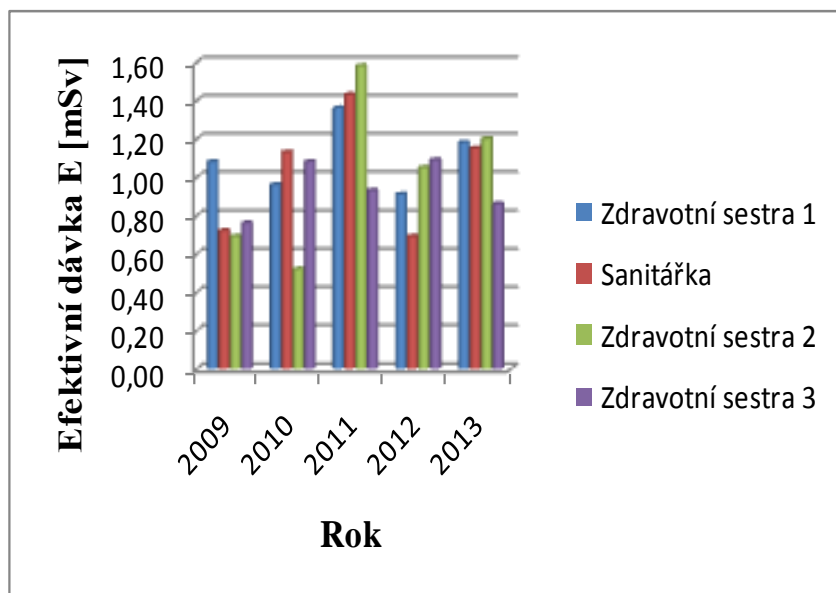
Jelikož v kapitole 1.12.5 byly porovnány celotělový a prstový TLD, jejich hodnoty jsou přehledně popsány v tabulkách č. 16-20. Jsou to hodnoty efektivní a ekvivalentní dávky u laborantky a inženýrky pro laboratoř za období let 2009-2013.

**Tabulka 3: roční efektivní dávka E [mSv] pracovníků lůžkové části oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s. za období let 2009-2013**

Lůžková část	r.2009 [mSv]	r.2010 [mSv]	r.2011 [mSv]	r.2012 [mSv]	r.2013 [mSv]	Průměr [mSv]
Zdravotní sestra 1	1,08	0,96	1,36	0,91	1,18	<b>1,10</b>
Sanitářka	0,72	1,13	1,43	0,69	1,15	<b>1,02</b>
Zdravotní sestra 2	0,69	0,52	1,58	1,05	1,20	<b>1,01</b>
Zdravotní sestra 3	0,76	1,08	0,93	1,09	0,86	<b>0,94</b>

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Graf 1: k tab. 3 E [mSv] za roky 2009-2013**



Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

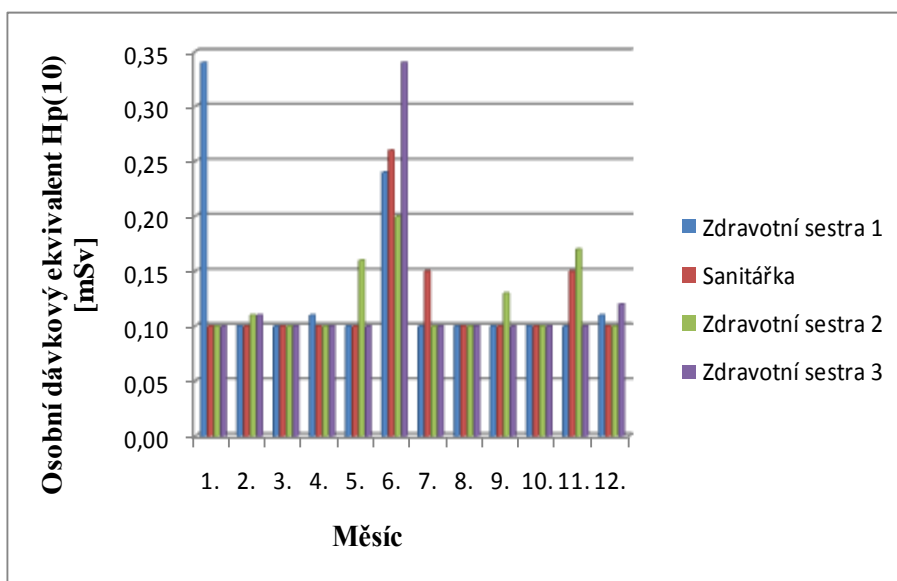
**Tabulka 4: osobní dávkové ekvivalenty Hp(10) za rok 2009 pracovníků lůžkové části**

**Jednotka [mSv]**

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Zdravotní sestra 1	0,34	0,10	0,10	0,11	0,10	0,24	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11
Sanitářka	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,26	0,15	0,10	0,10	0,10	0,15	0,10
Zdravotní sestra 2	0,10	0,11	0,10	0,10	0,16	0,20	0,10	0,10	0,13	0,10	0,17	0,10
Zdravotní sestra 3	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,34	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Graf 2: k tab. 4 Hp(10) za rok 2009**



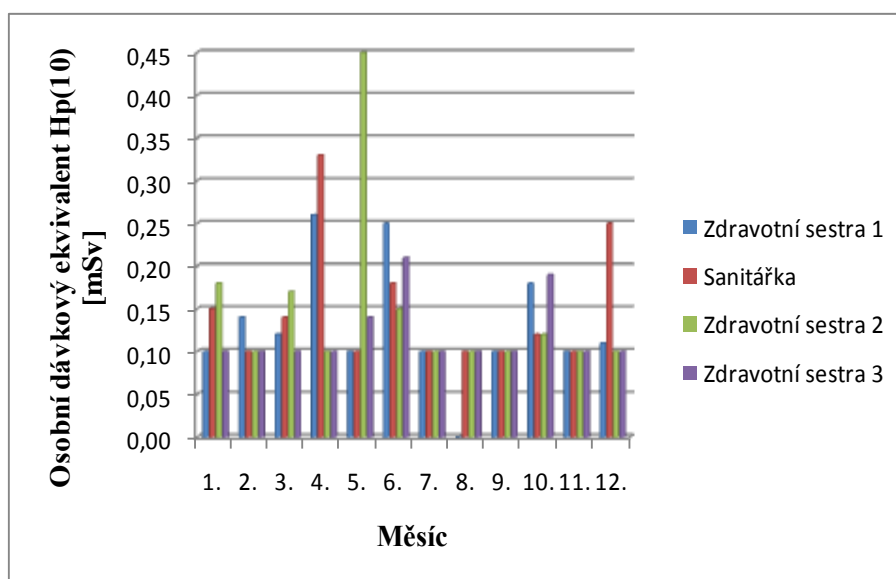
Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Tabulka 5: osobní dávkové ekvivalenty  $H_p(10)$  za rok 2010 pracovníků lůžkové části**  
**Jednotka [mSv]**

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Zdravotní sestra 1	0,10	0,24	0,10	0,10	0,10	0,14	0,10	0,21	0,10	0,12	0,10	0,10
Sanitářka	0,10	0,37	0,20	0,10	0,24	0,10	0,10	0,21	0,10	0,10	0,10	0,10
Zdravotní sestra 2	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10
Zdravotní sestra 3	0,10	0,40	0,38	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10	0,10	0,10

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Graf 3: k tab. 5  $H_p(10)$  za rok 2010**



Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

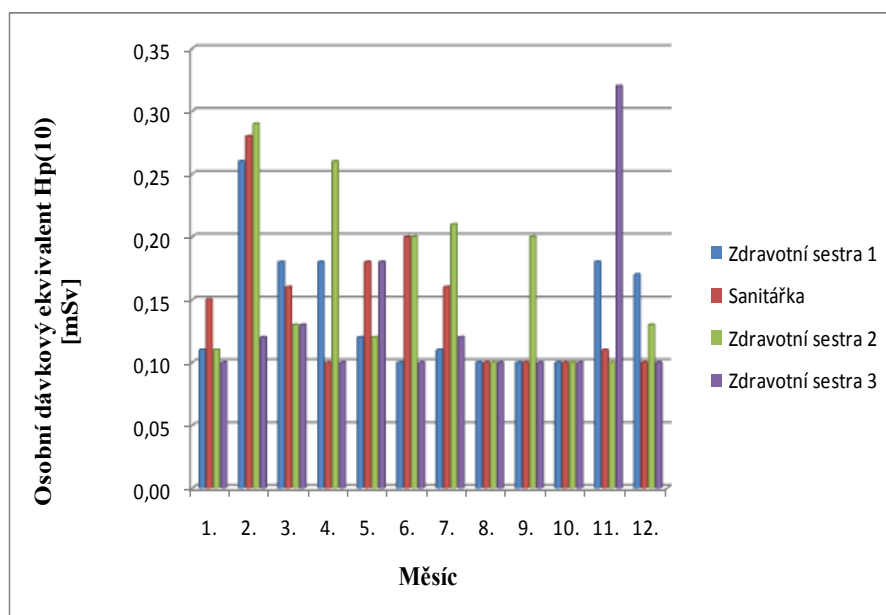
**Tabulka 6: osobní dávkové ekvivalenty Hp(10) za rok 2011 pracovníků lůžkové části.**

**Jednotka [mSv]**

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Zdravotní sestra 1	0,11	0,26	0,18	0,18	0,12	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,18	0,17
Sanitářka	0,15	0,28	0,16	0,10	0,18	0,20	0,16	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10
Zdravotní sestra 2	0,11	0,29	0,13	0,26	0,12	0,20	0,21	0,10	0,20	0,10	0,10	0,13
Zdravotní sestra 3	0,10	0,12	0,13	0,10	0,18	0,10	0,12	0,10	0,10	0,10	0,32	0,10

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Graf 4: k tab. 6 Hp(10) za rok 2011**



Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

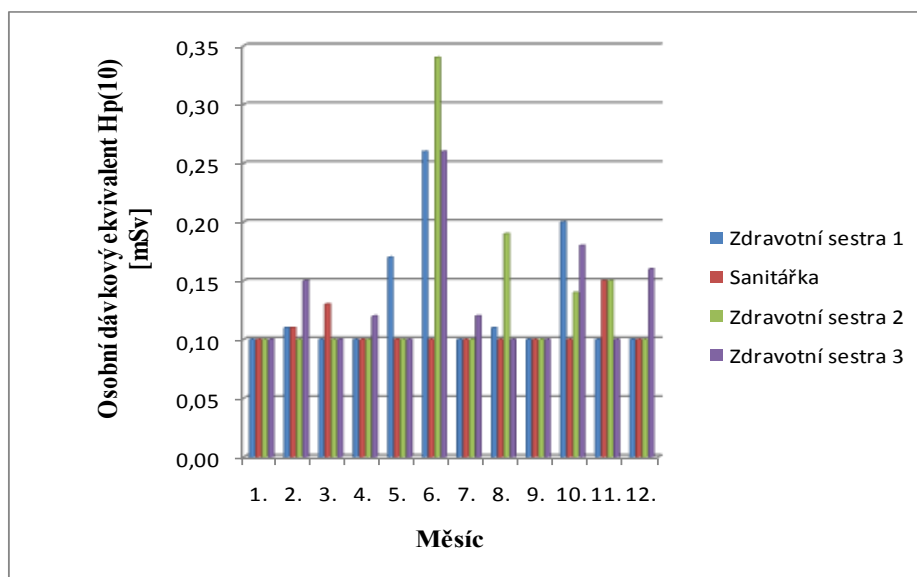
**Tabulka 7: osobní dávkové ekvivalenty Hp(10) za rok 2012 pracovníků lůžkové části**

**Jednotka [mSv]**

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Zdravotní sestra 1	0,10	0,11	0,10	0,10	0,17	0,26	0,10	0,11	0,10	0,20	0,10	0,10
Sanitářka	0,10	0,11	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,10
Zdravotní sestra 2	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,34	0,10	0,19	0,10	0,14	0,15	0,10
Zdravotní sestra 3	0,10	0,15	0,10	0,12	0,10	0,26	0,12	0,10	0,10	0,18	0,10	0,16

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Graf 5: k tab. 7 Hp(10) za rok 2012**



Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.



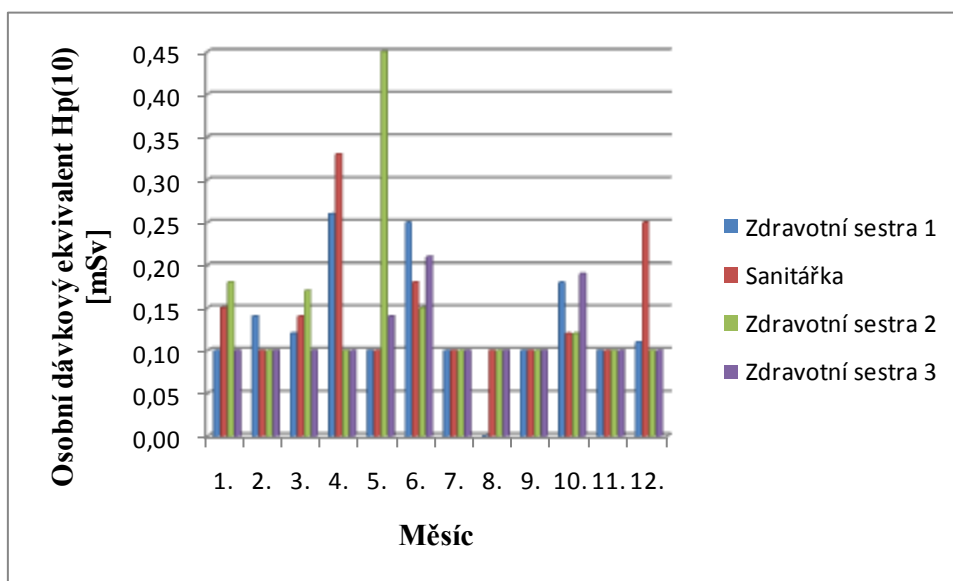
**Tabulka 8: osobní dávkové ekvivalenty Hp(10) za rok 2013 pracovníků lůžkové části**

**Jednotka [mSv]**

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Zdravotní sestra 1	0,10	0,14	0,12	0,26	0,10	0,25	0,10	0,10	0,10	0,18	0,10	0,11
Sanitářka	0,15	0,10	0,14	0,33	0,10	0,18	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10	0,25
Zdravotní sestra 2	0,18	0,10	0,17	0,10	0,45	0,15	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10
Zdravotní sestra 3	0,10	0,10	0,10	0,10	0,14	0,21	0,10	0,10	0,10	0,19	0,10	0,10

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Graf 6: k tab. 8 Hp(10) za rok 2013**



Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

*Tabulka 9: roční efektivní dávky E [mSv] pracovníků ambulantní části oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s. za období let 2009-2013*

<b>Pracovní zařazení</b>	<b>2009 [mSv]</b>	<b>2010 [mSv]</b>	<b>2011 [mSv]</b>	<b>2012 [mSv]</b>	<b>2013 [mS]</b>	<b>Průměr [mSv]</b>
Laborantka	1,19	0,73	0,87	0,51	2,12	<b>1,08</b>
Inženýrka pro laboratoř	0,50	1,13	1,40	0,91	0,51	<b>0,89</b>
Zdravotní sestra 1	0,50	0,93	0,94	0,50	0,62	<b>0,70</b>
Zdravotní sestra 2	1,81	2,12	2,40	2,01	1,65	<b>2,00</b>
Zdravotní sestra 3	1,85	1,37	1,98	2,10	2,13	<b>1,89</b>
Zdravotní sestra 4	1,46	1,79	2,62	2,10	2,01	<b>2,00</b>
Zdravotní sestra 5	1,43	2,28	2,79	2,33	2,06	<b>2,18</b>
Zdravotní sestra 6	0,50	0,71	1,07	0,86	0,50	<b>0,73</b>
MUDr.1	1,12	1,05	1,07	0,59	0,92	<b>0,95</b>
MUDr.2	0,50	1,07	1,05	0,50	0,50	<b>0,72</b>
MUDr.3	0,50	0,50	0,88	0,50	0,54	<b>0,58</b>
MUDr.4	0,50	0,75	0,80	0,50	0,50	<b>0,61</b>
Administrativní pracovník	0,50	0,50	1,14	0,50	0,59	<b>0,65</b>
Fyzik	0,50	0,50	0,68	0,50	0,60	<b>0,56</b>
Radiologický asistent	0,50	0,61	0,91	0,50	0,50	<b>0,60</b>

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Tabulka 10: efektivní dávka za rok 2009 pracovníků ambulantní části**

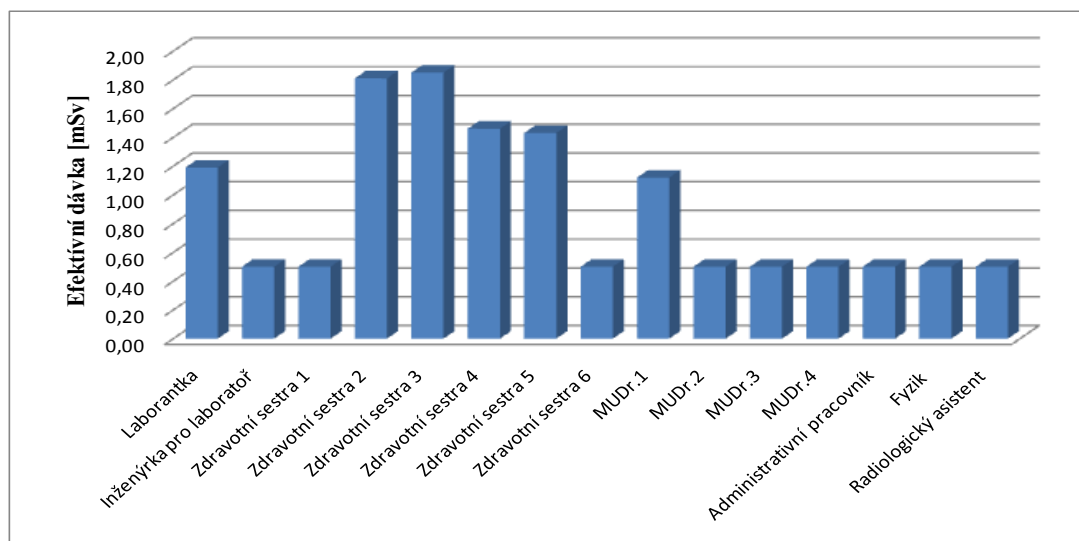
**Jednotka [mSv]**

<b>Pracovní zařazení</b>	<b>2009 [mSv]</b>
Laborantka	1,19
Inženýrka pro laboratoř	0,50
Zdravotní sestra 1	0,50
Zdravotní sestra 2	1,81
Zdravotní sestra 3	1,85
Zdravotní sestra 4	1,46
Zdravotní sestra 5	1,43
Zdravotní sestra 6	0,50
MUDr.1	1,12
MUDr.2	0,50
MUDr.3	0,50
MUDr.4	0,50
Administrativní pracovník	0,50
Fyzik	0,50
Radiologický asistent	0,50

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

Graf 7: k tab. 10 znázorňující efektivní dávky za rok 2009 pracovníků ambulantní části.

**Graf 7: k tab. 10 E [mSv] za rok 2009**



Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Tabulka 11: efektivní dávka za rok 2010 pracovníků ambulantní části**

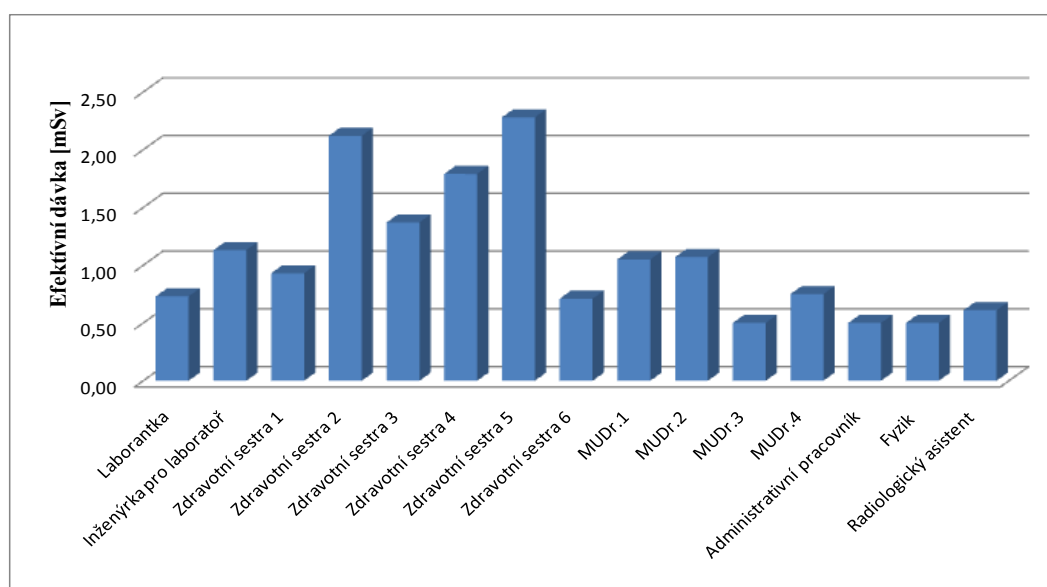
**Jednotka[mSv]**

<b>Pracovní zařazení</b>	<b>2010[mSv]</b>
Laborantka	0,73
Inženýrka pro laboratoř	1,13
Zdravotní sestra 1	0,93
Zdravotní sestra 2	2,12
Zdravotní sestra 3	1,37
Zdravotní sestra 4	1,79
Zdravotní sestra 5	2,28
Zdravotní sestra 6	0,71
MUDr.1	1,05
MUDr.2	1,07
MUDr.3	0,50
MUDr.4	0,75
Administrativní pracovník	0,50
Fyzik	0,50
Radiologický asistent	0,61

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

Graf 8: k tab. 11 znázorňující efektivní dávky za rok 2010 pracovníků ambulantní části.

**Graf 8: k tab.11 E [mSv] za rok 2010**



Zdroj: Vlastní zpracování, 2015

**Tabulka 12: efektivní dávka za rok 2011 pracovníků ambulantní části**

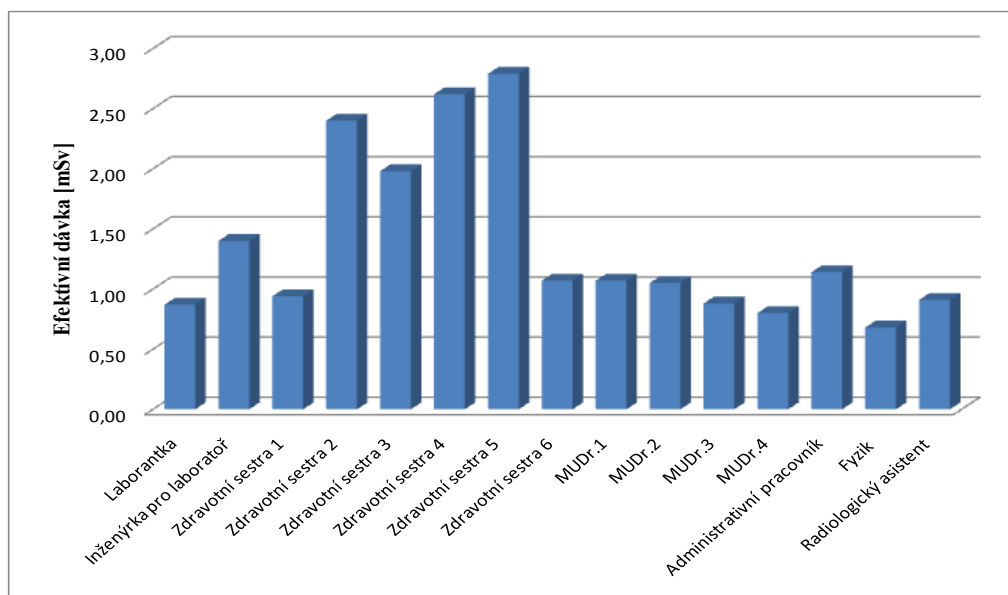
**Jednotka [mSv]**

Pracovní zařazení	2011[mSv]
Laborantka	0,87
Inženýrka pro laboratoř	0,94
Zdravotní sestra 1	0,94
Zdravotní sestra 2	2,40
Zdravotní sestra 3	1,98
Zdravotní sestra 4	2,62
Zdravotní sestra 5	2,79
Zdravotní sestra 6	1,07
MUDr.1	1,07
MUDr.2	1,05
MUDr.3	0,88
MUDr.4	0,80
Administrativní pracovník	1,14
Fyzik	0,68
Radiologický asistent	0,91

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

Graf 9: k tab. 12 znázorňující efektivní dávky za rok 2011 pracovníků ambulantní části.

**Graf 9: k tab. 12 E [mSv] za rok 2011**



Zdroj: Vlastní zpracování, 2015

**Tabulka 13: efektivní dávky za rok 2012 pracovníků ambulantní části**

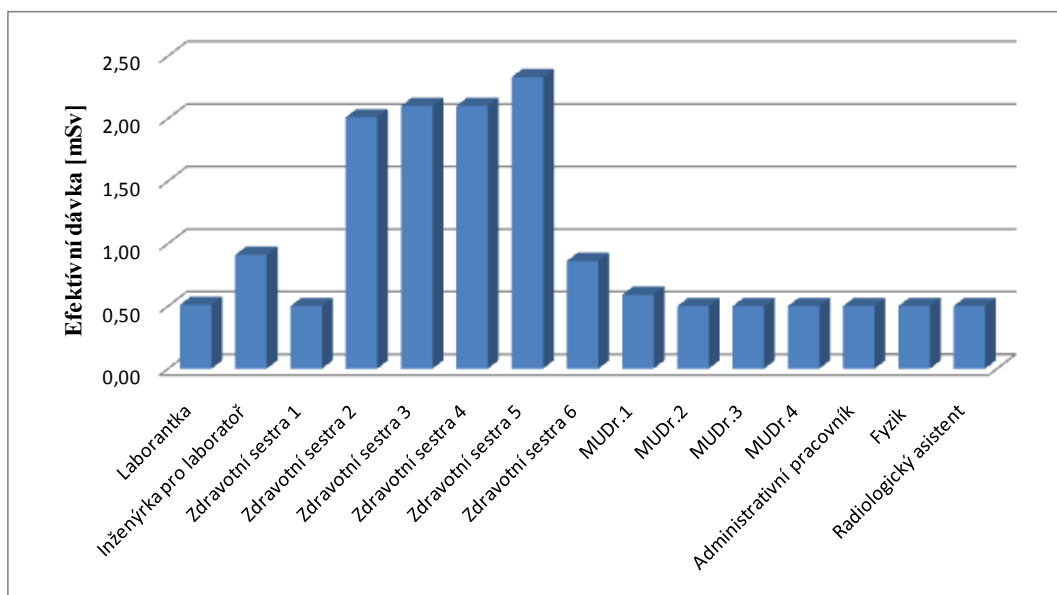
**Jednotka [mSv]**

Pracovní zařazení	2012[mSv]
Laborantka	0,51
Inženýrka pro laboratoř	0,91
Zdravotní sestra 1	0,50
Zdravotní sestra 2	2,01
Zdravotní sestra 3	2,10
Zdravotní sestra 4	2,10
Zdravotní sestra 5	2,33
Zdravotní sestra 6	0,86
MUDr.1	0,59
MUDr.2	0,50
MUDr.3	0,50
MUDr.4	0,50
Administrativní pracovník	0,50
Fyzik	0,50
Radiologický asistent	0,50

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

Graf 10: k tab. 13 znázorňující efektivní dávky za rok 2012 pracovníků ambulantní části

**Graf 10: k tab. 13 E [mSv] za rok 2012**



Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Tabulka 14: efektivní dávky za rok 2013 pracovníků ambulantní části**

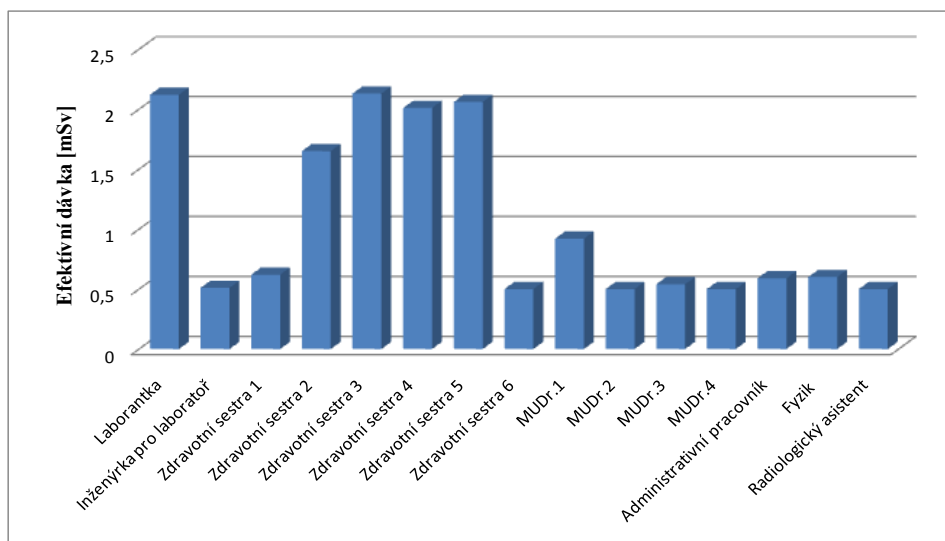
**Jednotka [mSv]**

Pracovní zařazení	2013 [mSv]
Laborantka	2,12
Inženýrka pro laboratoř	0,51
Zdravotní sestra 1	0,62
Zdravotní sestra 2	1,65
Zdravotní sestra 3	2,13
Zdravotní sestra 4	2,01
Zdravotní sestra 5	2,06
Zdravotní sestra 6	0,50
MUDr.1	0,92
MUDr.2	0,50
MUDr.3	0,54
MUDr.4	0,50
Administrativní pracovník	0,59
Fyzik	0,60
Radiologický asistent	0,50

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

Graf 11: k tab. 14 znázorňující efektivní dávky za rok 2013 pracovníků ambulantní části.

**Graf 11: k tab. 14 E [mSv] za rok 2013**



Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Tabulka 15: hodnoty ekvivalentní dávky  $H_T$  získané z prstového TLD za období let 2009-2013**

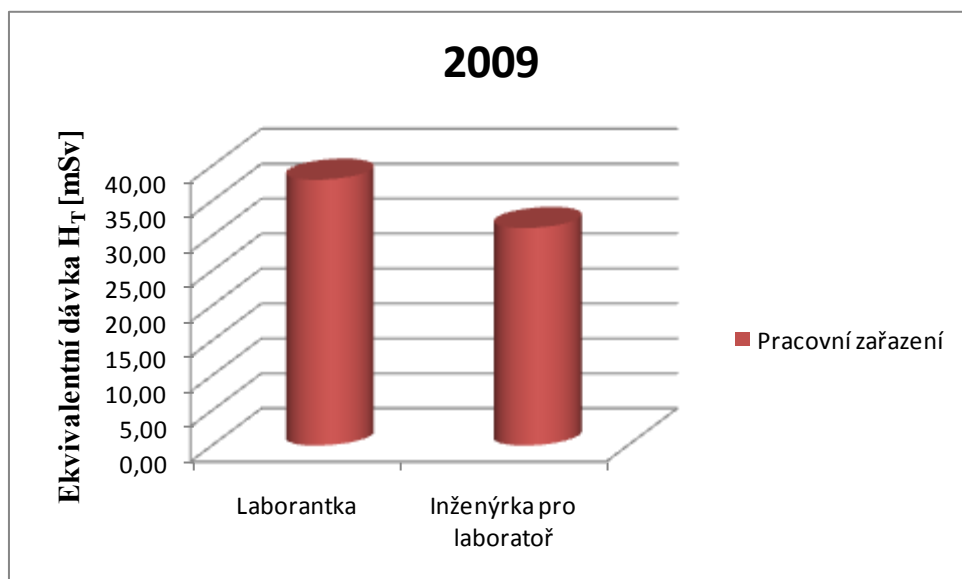
*Jednotka [mSv]*

Pracovní zařazení	2009 [mSv]	2010 [mSv]	2011 [mSv]	2012 [mSv]	2013 [mSv]	Průměr [mSv]
Laborantka	38,03	56,57	65,39	55,87	57,15	<b>54,60</b>
Inženýrka pro laboratoř	31,12	28,97	53,2	48,06	49,07	<b>42,08</b>

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

Graf 12: znázorňující hodnoty ekvivalentní dávky  $H_T$  získané z prstového TLD za rok 2009.

**Graf 12:  $H_T$  [mSv] za rok 2009**

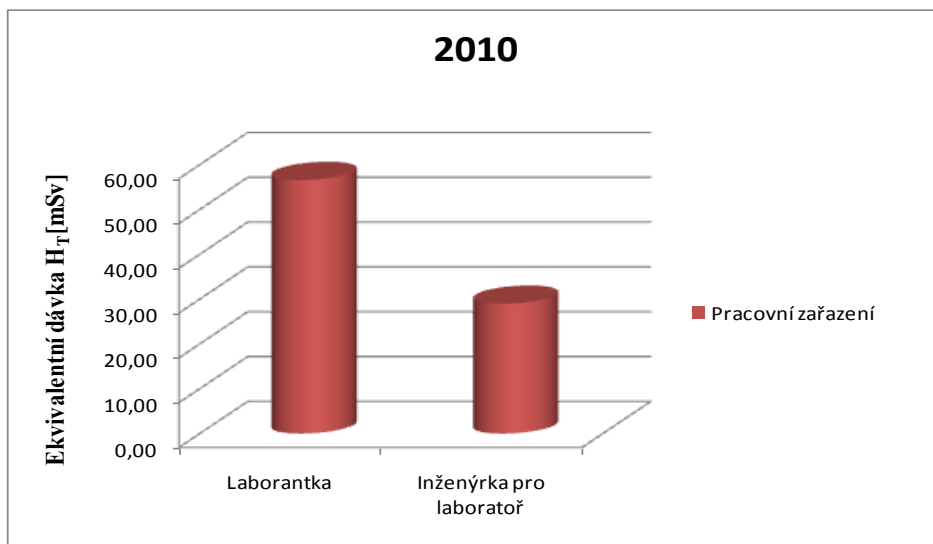


Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.



Graf 13: znázorňující hodnoty ekvivalentní dávky  $H_T$  získané z prstového TLD za rok 2010.

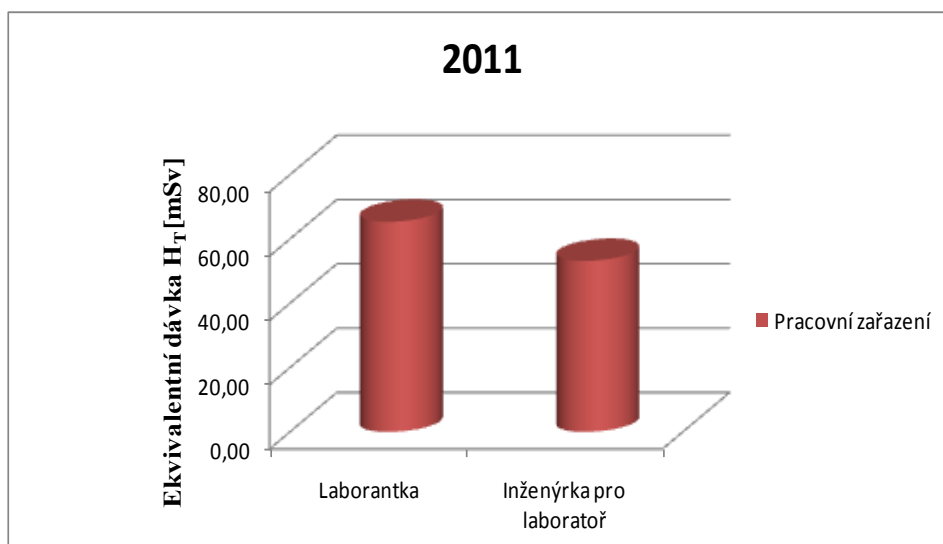
**Graf 13:  $H_T$  [mSv] za rok 2010**



Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

Graf 14: znázorňující hodnoty ekvivalentní dávky  $H_T$  získané z prstového TLD za rok 2011.

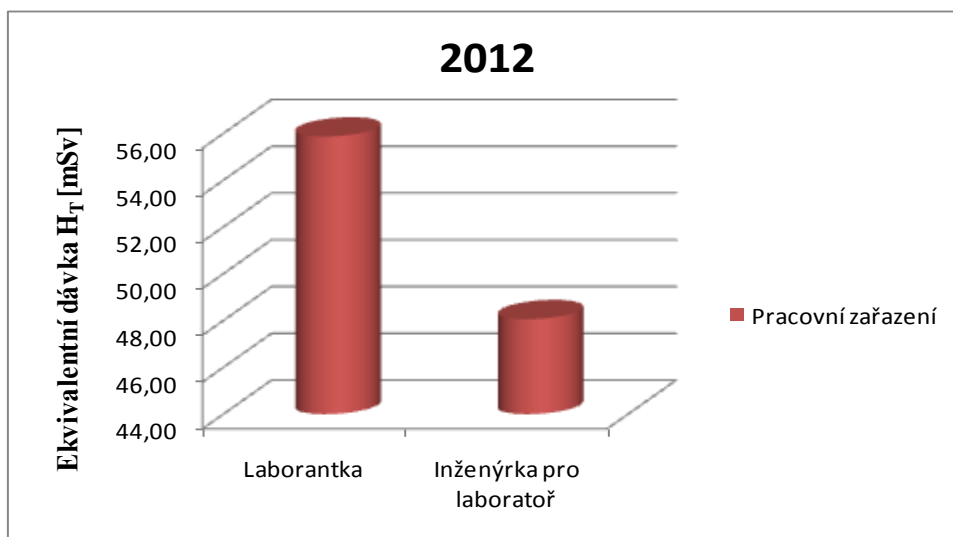
**Graf 14:  $H_T$  [mSv] za rok 2011**



Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

Graf 15: znázorňující hodnoty ekvivalentní dávky  $H_T$  získané z prstového TLD za rok 2010.

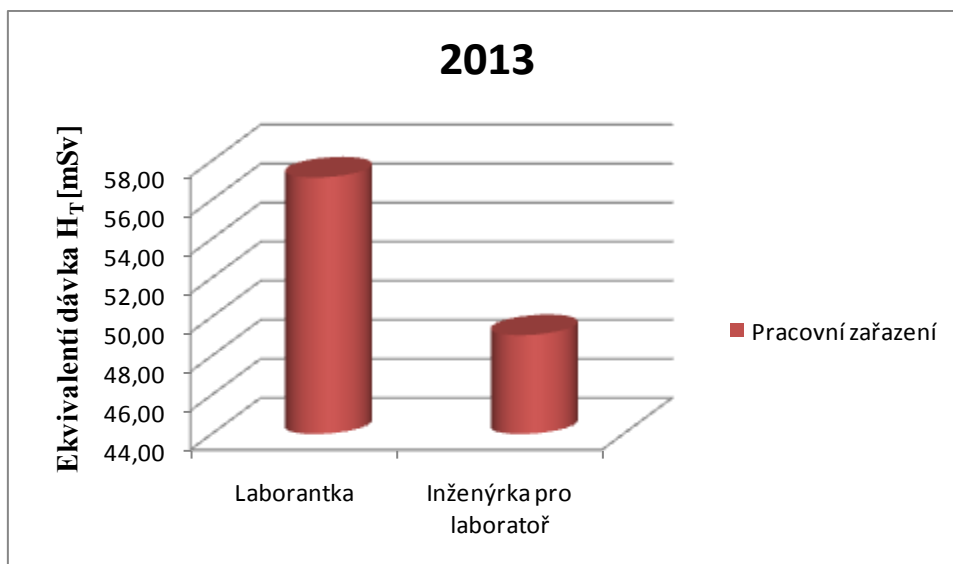
**Graf 15:  $H_T$  [mSv] za rok 2012**



Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

Graf 16: znázorňující hodnoty ekvivalentní dávky  $H_T$  získané z prstového TLD za rok 2013.

**Graf 16:  $H_T$  [mSv] za rok 2013**



Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Tabulka 16: hodnoty efektivní dávky  $E$  u celotělového TLD a ekvivalentní dávky  $H_T$  u prstového TLD za rok 2009**

Pracovní zařazení	Celotělový TLD $E$ [mSv]	Prstový TLD $H_T$ [mSv]
Laborantka	1,19	38,03
Inženýrka pro laboratoř	0,50	31,12

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Tabulka 17: hodnoty efektivní dávky  $E$  u celotělového TLD a ekvivalentní dávky  $H_T$  u prstového TLD za rok 2010**

Pracovní zařazení	Celotělový TLD $E$ [mSv]	Prstový TLD $H_T$ [mSv]
Laborantka	0,73	56,57
Inženýrka pro laboratoř	1,13	28,97

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Tabulka 18: hodnoty efektivní dávky  $E$  u celotělového TLD a ekvivalentní dávky  $H_T$  u prstového TLD za rok 2011**

Pracovní zařazení	Celotělový TLD $E$ [mSv]	Prstový TLD $H_T$ [mSv]
Laborantka	0,87	65,39
Inženýrka pro laboratoř	1,40	53,20

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Tabulka 19: hodnoty efektivní dávky  $E$  u celotělového TLD a ekvivalentní dávky  $H_T$  u prstového TLD za rok 2012**

<b>Pracovní zařazení</b>	<b>Celotělový TLD <math>E</math> [mSv]</b>	<b>Prstový TLD <math>H_T</math> [mSv]</b>
Laborantka	0,51	55,87
Inženýrka pro laboratoř	0,91	48,06

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

**Tabulka 20: hodnoty efektivní dávky  $E$  u celotělového TLD a ekvivalentní dávky  $H_T$  u prstového TLD za rok 2013**

<b>Pracovní zařazení</b>	<b>Celotělový TLD <math>E</math> [mSv]</b>	<b>Prstový TLD <math>H_T</math> [mSv]</b>
Laborantka	2,12	57,15
Inženýrka pro laboratoř	0,51	49,07

Zdroj: Vlastní zpracování, 2015.

## 4 Diskuze

V nemocnici České Budějovice a.s. je velmi dobrá úroveň radiační ochrany. Jak u pracovníků ambulantní části, tak i té lůžkové. Radiační limity nikdy nepřekročily povolenou mez. Dávky tvoří nejvíce 1/25 limitů u celotělového TLD a méně než 1/10 limitů u prstového TLD. Je zřejmé, že se zde přísně dodržují všechny principy a způsoby radiační ochrany. U radiačních pracovníků se dbá na ochranná opatření před vnější i před vnitřní kontaminací radionuklidy. Ochrana časem, vzdáleností, stíněním, prací v digestoři, použitím gumových rukavic. Důvodem optimální radiační ochrany je i skutečnost, že při všech činnostech na ONM dochází k častému střídání pracovníků. Proto žádný ze zaměstnanců neměl hodnoty efektivní a ekvivalentní dávky zřetelně větší než ostatní.

Nejvíce byli ozáření pracovníci, kteří radiofarmakum připravují, rozdělují do injekčních stříkaček a aplikují pacientům. Jsou to zdravotní sestry z ambulantní části, laborantka a inženýrka pro laboratoř, lékař a radiologický asistent. Jejich práce musí být efektivní, při tom však musí pracovat rychle a rozvážně, tak, aby došlo k co nejmenšímu ozáření. Za rok 2003 byla uvedena průměrná roční efektivní dávka na jednoho radiačního pracovníka pracujícího na odděleních nukleární medicíny v České republice. Tato hodnota činila 1,12 mSv. Největší dávku obdržely sestry a radiologičtí asistenti, dále pracovníci, kteří připravují radiofarmaka, lékaři a sestry na lůžkové části. Počet sledovaných pracovníků činil 831. [32.]

V mé práci bylo sledováno 19 zaměstnanců, průměrná roční efektivní dávka byla 1,06 mSv.

Z výsledků této práce je možno vyhodnotit, že nejvíce byly exponovány zdravotní sestry na ambulantní části, laborantka a inženýrka pro laboratoř, a nejméně administrativní pracovník a fyzik.

Dále bych v mé práci poukázala na radiační zátěž pacientů při některých nejčastěji se vyskytujících vyšetřeních. Na ONM ČB jsou to scintigrafie skeletu, kdy efektivní dávka

vztažená na DRŮ je 4,6 mSv, scintigrafie plic 2 mSv, dále dynamická scintigrafie ledvin 1,2 mSv a scintigrafie štítné žlázy planární 2,6 mSv. [23.]

K porovnání některých radiodiagnostických metod, například angiografie koronární, kdy efektivní dávka činí 6,6 mSv, CT hrudníku 8 mSv, perkutánní transluminální angioplastika 10,4 mSv, je radiační zátěž pacientů ONM minimální.

Nukleární medicína, kromě kvalitního diagnostického a léčebného přínosu, přináší i menší riziko vážných maligních onemocnění v budoucnosti spojených s menší obdrženou dávkou oproti vyšetřením v radiodiagnostice. Když se k tomu přidají správně vykonaná opatření, která jsou obsažena v programu zabezpečování jakosti na daném pracovišti, může být radiační ochrana dostatečně optimalizovaná.

## 5 Závěr

Ze správy vydané pro nemocnici České Budějovice a.s. z roku 2013 se hovoří přibližně o 5000 vykonaných ambulantních radionuklidových vyšetřeních ročně na oddělení nukleární medicíny a 300 hospitalizovaných pacientů na lůžkové části ONM. [31.]

Počet vyšetření je velký a zvyšují se i požadavky na bezpečný provoz oddělení, které využívá ionizující záření. Ochrana před jeho nepříznivými vlivy je zde neoddělitelnou součástí. Sledování a monitorování radiační ochrany ONM ČB dokazuje dobrou úroveň jak u pacientů, tak u personálu oddělení, v souladu s požadavky SÚJB. Na moji výzkumnou otázku lze odpovědět kladně. Radiační ochrana je dostatečně optimalizovaná. Ve všech kategoriích radiačních pracovníků nedošlo k překročení povolených limitů. Rovněž se i radiační ochrana pacientů řídí právními předpisy a striktně dodržuje všechny ochranné metody, přičemž význam nukleární medicíny přináší diagnostickou a léčebnou informaci.

## 6 Seznam informačních zdrojů

- [1.] *Historie radiační ochrany v ČR: 10 let Státního ústavu radiační ochrany 1995-2005*. Praha: Státní ústav radiační ochrany, 2006, 83 s. ISBN 80-239-6594-8.
- [2.] ICRP: International Commission on Radiological Protection. [online]. [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: <http://www.icrp.org/index.asp>
- [3.] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION: Historie. [online]. [cit. 2015-02-02]. Dostupné z: [http://www.unscear.org/unscear/en/about\\_us.html](http://www.unscear.org/unscear/en/about_us.html)
- [4.] IAEA: International Atomic Energy Agency. [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <https://www.iaea.org/about>
- [5.] IRPA: International radiation protection association. [online]. [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.irpa.net/page.asp?id=10>
- [6.] SÚJB: Úvod o SÚJB. [online]. [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/o-sujb/uvod/>
- [7.] Česko. ZÁKON č. 18 ze dne 24. ledna 1997: o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění. In: Sbíрка zákonů České republiky., 1997.
- [8.] Česko. VYHLÁŠKA Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 315 ze dne 13. června 2002: kterou se mění vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 146/1997 Sb., kterou se stanoví činnosti, které mají bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost, a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, požadavky na kvalifikaci a odbornou přípravu, způsob ověřování zvláštní odborné způsobilosti a udělování oprávnění vybraným pracovníkům a způsob provedení schvalované dokumentace pro povolení k přípravě vybraných pracovníků - *Předmět úpravy § 1*. In: Sbíрка zákonů České republiky, 2002.



- [9.] Česko. VYHLÁŠKA Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 389 ze dne 16. listopadu 2012: kterou se mění vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. - *Předmět úpravy § 1*. In: Sběrka zákonů České republiky, 2012.
- [10.] Česko. VYHLÁŠKA Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č.2 ze dne 1. února 2004: kterou se mění vyhláška č. 318/2002 Sb., o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu - *Předmět úpravy § 1*. In: Sběrka zákonů České republiky., 2004.
- [11.] Česko. VYHLÁŠKA č. 132 ze dne 4. dubna 2008: o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd - *Předmět úpravy § 1*. In: Sběrka zákonů České republiky., 2008.
- [12.] LANG, Otto. *Nukleární medicína I.: základní znalosti*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 1998, 52 s. ISBN 80-7184-721-6.
- [13.] KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína: [učební text]*. 1. vyd. Praha: P3K, c2007, 185, xiv s. ISBN 978-80-903584-9-2.
- [14.] *Nukleární medicína: průřez vyšetřovacími metodami v oboru nukleární medicína*. Editor Vlasta Míková. Praha: Galén, c2008, 118 s. Care. ISBN 978-80-7262-533-8.
- [15.] ROZLÍVKA, Zdeněk RNDr. *Radiační ochrana na pracovištích s diagnostickými rentgeny ve zdravotnictví: učební texty kurzu*. Pardubice: UNIT spol.s.r.o., únor 2006.

- [16.] *Principy a praxe radiační ochrany*. 1. vyd. Editor Vladislav Klener. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000, 619 s. ISBN 8023837036.
- [17.] ULLMANN Vojtěch: Radioaktivita. [online]. [cit. 2015-01-16]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>
- [18.] HUŠÁK, Václav. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.
- [19.] EDITED BY PETER F. SHARP, Edited by Peter F.Howard G. *Practical Nuclear Medicine*. 3rd ed. London: Springer-Verlag London Ltd, 2005. ISBN 9781846280184.
- [20.] ICRP PUBLICATION 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP 2007* [online]. [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>
- [21.] SINGER, Jan a Jindřiška HEŘMANSKÁ. *Principy radiační ochrany*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2004, 111 s. ISBN 80-7040-7085.
- [22.] Česko. VYHLÁŠKA Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 389 ze dne 16. listopadu 2012: kterou se mění vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. - *Předmět úpravy § 18,19,20,21,22*. In: Sbíрка zákonů České republiky, 2012.
- [23.] KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014, 201 s. ISBN 978-80-244-4031-6.
- [24.] PUBLIKACE SÚJB: Požadavky SÚJB při provádění terapie onemocnění štítné žlázy radiojodem na pracovištích nukleární medicíny. [online]. Praha: SÚJB,

- březen 2000 [cit. 2015-02-11]. Dostupné z:  
[https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/MP\\_terapie\\_stitne\\_zlazy.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/MP_terapie_stitne_zlazy.pdf)
- [25.] NEMOCNICE ČESKÉ BUDĚJOVICE, a.s.: Oddělení nukleární medicíny. [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z:  
<http://www.nemcb.cz/oddeleni/oddeleni-nuklearni-mediciny/>
- [26.] MYSLIVEČEK, Miroslav. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 131 s. Skriptum (Univerzita Palackého). ISBN 9788024417233.
- [27.] CHMELÍKOVÁ, Helena Bc. *Měření osobních dávek pracovníků v radiodiagnostice elektronickým osobním dozimetrem*. 2013. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zdravotně sociální fakulta. Vedoucí práce Ing. Jan Singer, CSc.
- [28.] CELOSTÁTNÍ SLUŽBA OSOBNÍ DOZIMETRIE, s.r.o.: Typy dozimetrů. *CSOD, s.r.o.* [online]. [cit. 2015-01-15]. Dostupné z:  
<http://www.csod.cz/cz/dozimetry>
- [29.] JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. *Základy radiační ochrany. Doplnkové texty pro posluchače kombinované formy studia studijního programu „Ochrana obyvatelstva“ studijního oboru „Civilní nouzová připravenost“*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2007.
- [30.] Ullmann Vojtěch: Cíle a metody ochrany před zářením. [online]. [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/Fyzika-NuklMed.htm>

- [31.] NEMOCNICE ČESKÉ BUDĚJOVICE, a.s.: Nemocniční zpravodaj. [online].  
Ročník 23. Vydává Nemocnice České Budějovice, a.s., 1/2013 [cit. 2015-04-  
20]. Dostupné z: <http://www.nemcb.cz/nemocnicni-zpravodaj-2/>
- [32.] ČESKÁ RADIOLOGIE: Stanovení kvality radiační ochrany a efektivních dávek  
pracovníků na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici Hradec  
Králové v letech 2000-2007. [online]. Ces Radiol 2009;63(1): 99 -102 [cit.  
2015-03-28]. Dostupné z:  
[http://www.cesradiol.cz/dwnld/Ces\\_Rad\\_0901\\_99\\_102.pdf](http://www.cesradiol.cz/dwnld/Ces_Rad_0901_99_102.pdf)

## **7 Přílohy**

### **Příloha č. 1 Aplikované aktivity pro diagnostická vyšetření. Místní DRÚ**

## Příloha č. 1

Orgán	Vyšetření	Radiofarmakum	Aplikovaná aktivita [MBq]			
			70 kg	Jiná váha	Dítě	Minimum
Kosti	Scintigrafie skeletu	<sup>99m</sup> Tc -fosfonáty	700	9- 10 /kg	DC 2008 10 /kg	40
Kostní dřeň	Scintigrafie k. dřeně	<sup>99m</sup> Tc -nanokoloidy	500	7 /kg	DC 2008 7 /kg	20
Mozek	Scintigrafie perfuze	<sup>99m</sup> Tc -HMPAO, -ECD	800	10- 12 /kg	DC 2008 12 /kg	100
	Scintigrafie receptorů	<sup>123</sup> I - ioflupan, -IBZM	180	3 /kg	---	---
	Cisternografie	<sup>111</sup> In - DTPA	40			
Štítná žláza	Scintigrafie statická	<sup>99m</sup> Tc - eluát	100		DC 2008 2 /kg	10
	Dozimetrické podmínky	<sup>131</sup> I	4		---	---
Ca štítné žlázy	Dozimetrické podmínky	<sup>131</sup> I	10- 300		---	---
	WB jodová	<sup>131</sup> I	74- 300		---	---
	WB s MIBI	<sup>99m</sup> Tc - MIBI, - fosminy	600		DC 2008	80
Příštitná tělíska	Scintigrafie přišt. tělísek	<sup>99m</sup> Tc-eluát <sup>99m</sup> Tc-MIBI	100 400		DC 2008	
Plíce	Perfuzní	<sup>99m</sup> Tc - MAA	100	50- 150		
	Ventilační	<sup>81m</sup> Kr-plyn	6000			
Srdce	First-pass	<sup>99m</sup> Tc - euluát	700 (400-800)	6- 10 /kg	DC 2008 10 /kg	80
	Ventrikulografie	<sup>99m</sup> Tc - erythrocyty	800	12 /kg	DC 2008 15 /kg	80
	Scintigrafie perfuze	<sup>99m</sup> Tc - MIBI, - fosminy	500 stress 600 klid	7 /kg	DC 2008	80
	Scintigrafie viability	<sup>201</sup> Tl	100	1,5 /kg	---	---
Cévy	Flebografie (1 končetina)	<sup>99m</sup> Tc - MAA	60-100		---	---
	Radionuklid. angiografie	<sup>99m</sup> Tc eluát, ERY, DTPA	400-800		10 /kg	80
Lymfatický systém	Lymfografie končetin	<sup>99m</sup> Tc - nanokoloid	80			
	SLU, 1-denní protokol	<sup>99m</sup> Tc - nanokoloid	100			
	SLU, 2-denní protokol	<sup>99m</sup> Tc - nanokoloid	200			

	SLU melanomu	<sup>99m</sup> Tc - nanokoloid	40			
Krev	Objemy krve	<sup>51</sup> Cr	2		0,03 /kg	1
	Přežívání erytrocytů	<sup>51</sup> Cr	4		0,06 /kg	1
Slezina	Scintigrafie sleziny	<sup>99m</sup> Tc - alterované ery	100		1,5 /kg	20
Játra	Statická scintigrafie	<sup>99m</sup> Tc - koloid	100	1,5 /kg	1,5 /kg	20
	Dynamická scintigrafie	<sup>99m</sup> Tc - IDA deriváty	150	2 /kg	2 /kg	20
	Scintigrafie hemangiomu	<sup>99m</sup> Tc - erytrocyty	600	10 /kg	10 /kg	80
GIT	Scintigrafie slinných žláz	<sup>99m</sup> Tc - eluát	100		---	---
	Motilita jícnu	<sup>99m</sup> Tc - koloid	40			
	Evakuace žaludku, GER	<sup>99m</sup> Tc - koloid, - MAA	40		DC 2008	10
	Scintigrafie Merckelova d	<sup>99m</sup> Tc - eluát	400	5 /kg	DC 2008 8 /kg	20
	Scintigrafie krvácení	<sup>99m</sup> Tc - erytrocyty	600	8 /kg	DC 2008 8 /kg	80
Ledviny	Scintigrafie statická	<sup>99m</sup> Tc - DMSA	140	2 /kg	DC 2008 2 /kg	15
	Scintigrafie dynamická	<sup>99m</sup> Tc-MAG3	70	1/ kg	1 /kg	15
		<sup>99m</sup> Tc-DTPA	140	2 /kg	2 /kg	20
Nádory	Scintigrafie	<sup>99m</sup> Tc MIBI, depreotid	600-800	10 /kg	10 /kg	80
		<sup>111</sup> In pentetreotid	140-180	2-2,5 /kg	2-2,5 /kg	40
	Scintimamografie	<sup>99m</sup> Tc - MIBI	600		---	---
Záněty	Značenými leukocyty	<sup>99m</sup> Tc - značené leuko	600	8 /kg	8 /kg	80
	Galiiová scintigrafie	<sup>67</sup> Ga	150	2 /kg	2 /kg	20

Zdroj: Oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s.

## Seznam použitých zkratek

ONM ČB	oddělení nukleární medicíny v Českých Budějovicích
a.s.	akciová společnost
Hp(10)	osobní dávkový ekvivalent v hloubce tkáně 10 mm
H <sub>T</sub>	ekvivalentní dávka
TLD	termoluminiscenční dozimetr
ČB	České Budějovice
CSOD	celostátní služba osobní dozimetrie
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
Sb.	sbírka zákona
W. C. (Röntgenem)	Wilhelm Conrad
A. H. (Bequelerem)	Antoine Henri
ICRP	International Commission on Radiological Protection
OSN	Organizace spojených národů
UNSCEAR	The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
IAEA	International Atomic Energy Agency
IRPA	International Radiation Protection Association
ČR	Česká republika
NM	nukleární medicína
keV	kiloelektronvolt
IZ	ionizující záření
DNA	deoxyribonukleová kyselina
kBq, MBq, GBq	kilobecquerel, megabecquerel, gigabecquerel
J	Joule
kg	kilogram
s	sekunda
MeV	megaelektronvolt
ALARA	As Low As Reasonably Achievable



DRÚ	diagnostická referenční úroveň
mSv	milisievert
cm <sup>2</sup>	centimetr čtvereční
mm	milimetr
CSOD, s.r.o.	Celostátní služba osobní dozimetrie, společnost s ručením omezeným
GM (detector)	Geiger-Müllerův
m	metr
SPECT	jednofotonová emisní výpočetní tomografie (Single-Photon Emission Computed Tomography)
CT	výpočetní tomografie (Computed Tomography)
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
PACS	Picture Archiving and Communication System
Pb	chemická značka- Olovo
NaI	Jodid sodný
Tl	chemická značka- Thallium
μSv	mikrosievert
h	hodina
l	litr
Radionuklidy	RN
<sup>99m</sup> Tc	metastabilní technecium
<sup>99m</sup> Tc -HMPAO	hexamethylpropyleneamine oxime
<sup>99m</sup> Tc- ECD	ethyl cysteinate dimer
<sup>123</sup> I- IBZM	iodobenzamid
DTPA	diethylentriaminpentaacetát
DC	dávkovací karta dle EANM pro dětské pacienty (verze z 1.5.2008)
MUDr.	akademický titul- doktor medicíny

## Seznam obrázků

- Obrázek 1: varovný signál povolující vstup do pásma  
Obrázek 2: kontejner na přenos želatinové kapsle  
Obrázek 3: odstíněná plocha pro práci s radiofarmaky, olověná guma  
Obrázek 4: ochranné dveře s Pb vložkou  
Obrázek 5: ochranný Pb límec, ochranná Pb zástěra  
Obrázek 6: scintilační sonda s krystalem NaI(Tl)  
Obrázek 7: vyhodnocovací zařízení jako součást k scintilační sondě  
Obrázek 8: místnost a lednice určená pro pevný odpad  
Obrázek 9: záchytné nádrže pro kapalný odpad  
Obrázek 10: osobní termoluminiscenční dozimetr  
Obrázek 11: schéma prstového termoluminiscenčního dozimetru

## Seznam tabulek

- Tabulka 1: radiační váhové faktory a jejich hodnoty vztahující se k záření dopadajícímu na tělo dle doporučení ICRP Publikace 103  
Tabulka 2: tkáňové váhové faktory a jejich hodnoty dle doporučení ICRP Publikace 103  
Tabulka 3: roční efektivní dávka E [mSv] pracovníků lůžkové části oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s. za období let 2009-2013  
Tabulka 4: osobní dávkové ekvivalenty Hp(10) za rok 2009 pracovníků lůžkové části  
Tabulka 5: osobní dávkové ekvivalenty Hp(10) za rok 2010 pracovníků lůžkové části  
Tabulka 6: osobní dávkové ekvivalenty Hp(10) za rok 2011 pracovníků lůžkové části.  
Tabulka 7: osobní dávkové ekvivalenty Hp(10) za rok 2012 pracovníků lůžkové části  
Tabulka 8: osobní dávkové ekvivalenty Hp(10) za rok 2013 pracovníků lůžkové části

Tabulka 9: roční efektivní dávky  $E$  [mSv] pracovníků ambulantní části oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice a.s. za období let 2009-2013

Tabulka 10: efektivní dávka za rok 2009 pracovníků ambulantní části

Tabulka 11: efektivní dávka za rok 2010 pracovníků ambulantní části

Tabulka 12: efektivní dávka za rok 2011 pracovníků ambulantní části

Tabulka 13: efektivní dávky za rok 2012 pracovníků ambulantní části

Tabulka 14: efektivní dávky za rok 2013 pracovníků ambulantní části

Tabulka 15: hodnoty ekvivalentní dávky  $H_T$  získané z prstového TLD za období let 2009-2013

Tabulka 16: hodnoty efektivní dávky  $E$  u celotělového TLD a ekvivalentní dávky  $H_T$  u prstového TLD za rok 2009

Tabulka 17: hodnoty efektivní dávky  $E$  u celotělového TLD a ekvivalentní dávky  $H_T$  u prstového TLD za rok 2010

Tabulka 18: hodnoty efektivní dávky  $E$  u celotělového TLD a ekvivalentní dávky  $H_T$  u prstového TLD za rok 2011

Tabulka 19: hodnoty efektivní dávky  $E$  u celotělového TLD a ekvivalentní dávky  $H_T$  u prstového TLD za rok 2012

Tabulka 20: hodnoty efektivní dávky  $E$  u celotělového TLD a ekvivalentní dávky  $H_T$  u prstového TLD za rok 2013

## **Seznam grafů**

Graf 1: k tab. 3  $E$  [mSv] za roky 2009-2013

Graf 2: k tab. 4  $H_p(10)$  za rok 2009

Graf 3: k tab. 5  $H_p(10)$  za rok 2010

Graf 4: k tab. 6  $H_p(10)$  za rok 2011

Graf 5: k tab. 7  $H_p(10)$  za rok 2012

Graf 6: k tab. 8  $H_p(10)$  za rok 2013

Graf 7: k tab. 10 E [mSv] za rok 2009  
Graf 8: k tab. 11 E [mSv] za rok 2010  
Graf 9: k tab. 12 E [mSv] za rok 2011  
Graf 11: k tab. 14 E [mSv] za rok 2013  
Graf 12:  $H_T$  [mSv] za rok 2009  
Graf 13:  $H_T$  [mSv] za rok 2010  
Graf 14:  $H_T$  [mSv] za rok 2011  
Graf 15:  $H_T$  [mSv] za rok 2012  
Graf 16:  $H_T$  [mSv] za rok 2013