

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zdravotně sociální fakulta

**Pacient po diagnostické aplikaci radiofarmaka jako  
zdroj záření - radiační zátěž personálu a pacientů  
navzájem**

BAKÁLÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: Iveta Marková  
Studijní program: Specializace ve zdravotnictví  
Studijní obor: Radiologický asistent  
Vedoucí práce: Ing. Jindřich Pěnička

Datum odevzdání práce: 2. 5. 2012

## **ABSTRAKT**

### **Pacient po diagnostické aplikaci radiofarmaka jako zdroj záření - radiační zátěž personálu a pacientů navzájem**

Má práce je zaměřena na radiační ochranu z důvodu možného vlivu ionizačního záření, které může mít nepříznivý vliv na organismus. Ve své práci jsem se zaměřila na sledování obdržených osobních ekvivalentních dávek ionizujícího záření na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s. Také jsem se ve své práci zaměřila na měření a vyhodnocování dávkového příkonu, který obdrží zaměstnanci oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s. od aplikovaných pacientů s ohledem na vzdálenost a druh aplikovaného radiofarmaka.

Metodika zvolená k samostatnému měření, shromažďování, záznamu a vyhodnocení získaných dat je detailně popsána a uvedena v metodice mé práce. Data získaná z osobních TL dozimetrů jsou evidovaná a archivovaná na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s. dlouhodobě. Umožnila mi tak provést analýzu ekvivalentní dávky čtyř zdravotních sester za posledních pět let. Získané výsledky byly porovnány s údaji, které stanoví vyhláška č.307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. Prezentace získaných výsledků je pro přehlednost uvedena v tabulkách i grafech.

Shromážděná data potvrdila, že hodnoty ekvivalentních dávek získané z osobních TL dozimetrů čtyř zdravotních sester oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s. nepřekročí povolené hodnoty stanovené vyhláškou č. 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. Naměřené dávkové příkony klesají se vzdáleností a jsou úměrné podané aktivitě a druhu radiofarmaka.

## **ABSTRACT**

### **A patient after a diagnostic application of radiopharmaceuticals as a source of radiation – mutual radiation strain of the personnel and patients**

My work focuses on the radiation protection on account of the potential influence of ionizing radiation with its negative effects on a human organism. In my work I concentrated on observing the obtained personal equivalent doses of the ionizing radiation in the Department of Nuclear Medicine in the Hospital of České Budějovice, plc. I also focused on the measurement and assessment of the dose rate obtained by the employees of the Department of Nuclear Medicine in the Hospital of České Budějovice, plc. from treated patients with regard to the distance and type of the applied radiopharmaceutical.

The methods chosen for the actual measuring, gathering, recording and assessment of the data are described in a great detail and presented in the methodology of my work. The data obtained from the personal TL dosimeters is registered and filed in the Department of Nuclear Medicine in the Hospital of České Budějovice, plc. on a long term basis. Therefore it enabled me to analyze the equivalent dose of four nurses during the last five years. The results were compared with the figures determined in the regulation 307/2002 of the Code, as amended by regulation 499/2005 of the Code. The results are then clearly presented in tables and graphs.

The collected data has confirmed that the values of equivalent doses obtained from the personal TL dosimeters of four nurses working in the Department of Nuclear Medicine in the Hospital of České Budějovice, plc. do not exceed figures determined by the regulation 307/2002 of the Code, as amended by regulation 499/2005 of the Code. The measured dose rates decrease with the distance and are proportional to the activity and type of radiopharmaceutical.

## **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 – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou – 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 2. 5. 2012

.....

Iveta Marková

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu práce Ing. Jindřichovi Pěničkovi za čas, který mi věnoval a cenné rady. Dále bych chtěla poděkovat všem zaměstnancům Nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s. za ochotu a poskytnuté informace.

## **OBSAH**

Úvod	8
<b>1. Současný stav</b>	9
1.1 Nukleární medicína	9
1.2 Radionuklidy a radiofarmaka	9
1.3 Biologické účinky ionizujícího záření	12
1.3.1 Mechanismus biologického účinku	12
1.3.2 Deterministické účinky	14
1.3.3 Stochastické účinky	14
1.4 Radiační ochrana v nukleární medicíně	15
1.4.1 Základní principy radiační ochrany	15
1.4.2 Radiační limity a kategorizace	15
1.4.2.1 Dávkové limity	15
1.4.2.2 Kategorizace pracoviště	17
1.4.2.3 Kategorizace radiačních pracovníků	20
1.4.3 Uspořádání pracoviště nukleární medicíny	21
1.4.4 Kontrolované a sledované pásmo	21
1.4.5 Monitorování pracovníků a pracovního prostředí	21
1.4.5.1 Program monitorování	23
1.4.6 Radiační ochrana pracovníků	26
1.4.6.1 Zevní záření	27
1.4.6.2 Ochrana časem	27
1.4.6.3 Ochrana vzdáleností	27
1.4.6.4 Ochrana stíněním	28
1.4.6.5 Ochrana před vnitřní kontaminací	31
1.4.7 Radiační ochrana pacientů	32
1.4.7.1 Systém pobytu pacienta na nukleární medicíně	36
1.5 Legislativa	37
<b>2. Cíl práce a hypotézy</b>	39
2.1 Cíl práce	39

2.2 Hypotézy	39
<b>3. Metodika</b>	40
3.1 Sběr dat	40
3.2 Vyhodnocení dat	42
<b>4. Výsledky</b>	43
<b>5. Diskuse</b>	53
<b>6. Závěr</b>	55
<b>7. Seznam použité literatury</b>	56
<b>8. Klíčová slova</b>	58
<b>9. Přílohy</b>	59

## ÚVOD

Bakalářskou práci na téma „Pacient po diagnostické aplikaci radiofarmaka jako zdroj záření - radiační zátěž personálu a pacientů navzájem“ jsem si vybrala z důvodu zjištění dostatečné radiační ochrany pracovníků na nukleární medicíně. Především proto, že jsem všeobecná zdravotní sestra studující obor radiologický asistent kombinovanou formou a nemám takové zkušenosti, jako radiologický asistent pracující se zdroji ionizujícího záření. Obor nukleární medicína mě zaujal svým rozsáhlým spektrem vyšetření. V průběhu studia jsem zjistila možnost nepříznivých důsledků ionizujícího záření na organismus. Začala jsem se proto více zajímat o radiační ochranu. Proto jsem zaměřila svoji práci na sledování obdržených osobních ekvivalentních dávek ionizujícího záření na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s. Sledovala jsem dávkové příkony, které obdrží zaměstnanci oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s. od aplikovaných pacientů. Sledovala jsem dávkové příkony u nejpoužívanějších aplikovaných radiofarmak. V práci jsou popsány měsíční a roční ekvivalentní dávky z osobních dozimetrů pracovníků oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s.



# 1. SOUČASNÝ STAV

## *1.1 Nukleární medicína*

Nukleární medicína je lékařský obor, který má převážně diagnostický charakter. Je založen na znalostech biologických, fyzikálních a matematických. Na nukleární medicíně můžeme poukázat na zánětlivá, nádorová nebo cévní onemocnění. Proto s nukleární medicínou spolupracují specializovaná oddělení např. kardiologie, nefrologie, ortopedie, onkologie atd. (2)

## *1.2 Radionuklidy a radiofarmaka*

V nukleární medicíně se používají jen umělé radionuklidy s emisí záření gama a beta a energií záření gama v rozmezí od 30 keV do 511 keV.(3)

Pro diagnostické metody se využívají zářiče gama. Diagnostické metody můžeme rozdělit na vyšetření in vivo a in vitro. Při vyšetření in vivo se radiofarmaka do těla aplikují převážně intravenózně. Pomocí vhodného přístroje se detekuje záření gama neinvazivním způsobem studující fyziologické a biochemické procesy v těle, kde se lokalizují a diferencují patologické změny. Při vyšetření in vitro se pacientovi neaplikuje radiofarmakum. Používá se například ke stanovení kontaminace hormonů nebo protilátek v krvi, pracuje se jen se vzorkem pacientovy krve.(3)

Záření beta se používá v nukleární medicíně pro terapii u některých maligních a benigních onemocnění. Používají se např. tyto radiofarmaka:  $^{131}\text{I}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ -chloridem,  $^{186}\text{Re}$ -HEDP,  $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP a  $^{90}\text{Y}$ -koloidem( viz. tabulka č. 1. a 2.).(3)

**Tabulka č. 1 : Fyzikální charakteristika radionuklidů-zářičů gama**

<i>RADIONUKLID</i>	<i>POLOČAS</i>	<i>Energie záření gama [keV]</i>
F-18	1,83 h	511
Cr-51	27,7 d	320
Co-57	271,8 d	126
		137
Co-58	70,8 d	511
		811
Ga-67	3,26 d	93
		185
		300
Rb-81/Kr-81m	4,6 h	511
Kr-81m	13 s	190
Mo-99/Tc-99m	2,75 d	140
		740
		778
Tc-99m	6,02 h	K 18
		K 21
		140
In-111	2,8 d	K 23
		171
		245
I-123	13,2 h	K 27
		159
		529
I-125	60,1 d	K 27
		K 31
		36
I-131	8 d	284
		365
		637
Sm-153	1,95 d	K 41
		K 47
		103
Re-186	3,78 d	K 59
		K 63
		137
Tl-201	3,04 d	K 68-80(94)
		135
		167

*Zdroj: PRINCIPY A PRAXE RADIAČNÍ OCHRANY*

**Tabulka č. 2 : Fyzikální charakteristika radionuklidů-zářičů beta**

<i>RADIONUKLID</i>	<i>POLOČAS</i>	<i>Max. energie záření beta [keV]</i>
H-3	12,3 r	19
C-14	5730,0 r	157
F-18	1,83 h	634
P-32	14,3 d	1710
S-35	87,5 d	168
Sr-89	50,5 d	1492
Y-90	2,7 d	2284
I-131	8,0 d	248
		334
		606
Sm-153	1,95 d	634
		703
		807
Re-186	3,78 d	939
		1077
Re-188	17,0 h	1962
		2118

*Zdroj: PRINCIPY A PRAXE RADIAČNÍ OCHRANY, SÚJB*

Na odděleních nukleární medicíny v České Republice je největší spotřeba  $^{99m}\text{Tc}$  získaného z generátoru  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99m}\text{Tc}$  (obrázek č. 1).(3)

**Obrázek č. 1 :** Generátor  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99m}\text{Tc}$



*Zdroj: autor práce*

### ***1.3 Biologické účinky ionizujícího záření***

Ionizující záření má negativní účinky na člověka. Ionizované části molekul se stávají vysoce reaktivními a vedou k řadě chemických reakcí, které buňky buď rovnou usmrtí, nebo vedou ke změnám genetické informace.(11)

#### ***1.3.1 Mechanismus biologického účinku***

Mechanismem účinku ionizujícího záření na živý organismus se rozděluje podle toho, zda patří do úrovně molekulárního, buněčného, tkáňového či na úroveň celého těla.(2)

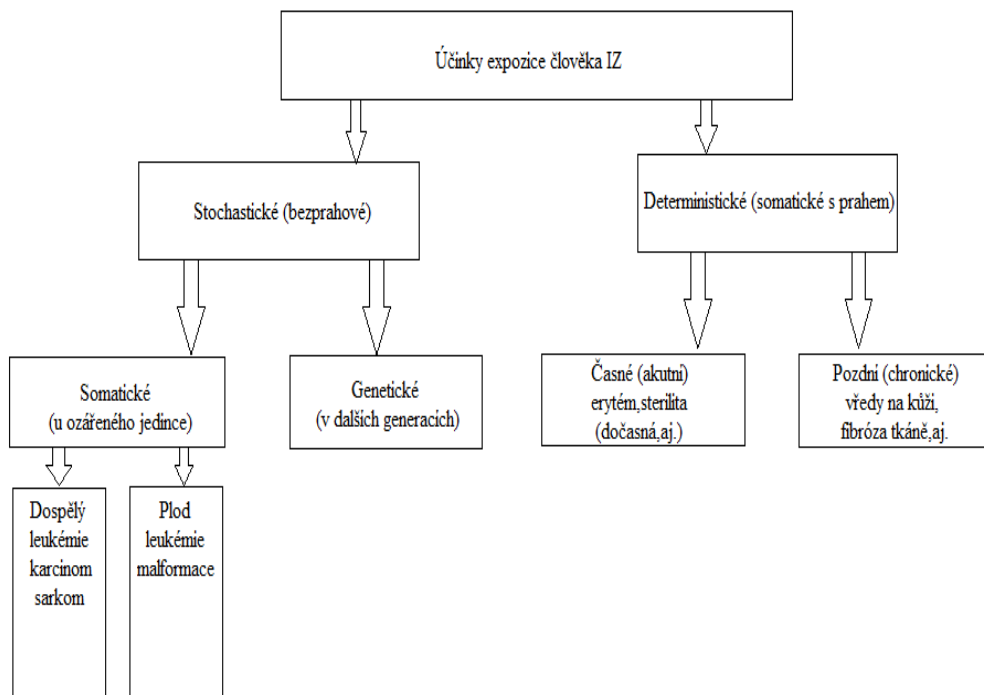
Primárním aktem molekulární úrovně vzniká radiační poškození v jádře buňky, kde se nachází terčová molekula DNA, jejíž poškození je příčinou vzniku radiačních poškození.(2)

Poškození molekuly DNA v buněčné úrovni se projeví buď úplnou ztrátou životních funkcí buňky, neschopností buňky se dělit, změnou genetické informace buňky formou mutací.(2)

Na tkáňové úrovni jsou fetálně poškozené buňky odstraněny a nahrazeny repopulací nebo při jejich velkém množství dojde ke ztrátě funkčnosti tkáně jako celku.(2)

Na úrovni organismu se buněčné mutace realizují jako genetické nebo somatické změny (obrázek č. 2).(2)

**Obrázek č. 2 :** Přehled biologických účinků ionizujícího záření



*Zdroj: RADIAČNÍ OCHRANA PRO RADIOLOGICKÉ ASISTENTY*

Genetické změny, jež se týkají zárodečných žláz, se přenášejí do dalších generací a jsou odpovědné za genetické účinky a projevují se poruchami ve vývoji lidského plodu. Somatické změny se týkají jiných než zárodečných tkání a orgánů. Důsledky somatických změn se projevují u jejich nositelů, přímo v ozářené tkáni. Somatické mutace jsou příčinou nádorových transformací. Transformované buňky se mohou stát zárodkem nádorového bujení a v důsledku toho mohou vést ke smrti organismu.(2)

### 1.3.2 Deterministické účinky

Mezi deterministické účinky řadíme např. akutní nemoc z ozáření, která je způsobena biologickým účinkem ionizujícího záření na organismus. Vzniká obvykle po jednorázovém velkém zevním ozáření. Je nutno zdůraznit, že dávka záření musí mít určitou velikost, jinak se nestochastické účinky nevyskytnou (obrázek č.3).(9)

### 1.3.3 Stochastické účinky

Stochastické účinky jsou takové, pro něž je pravděpodobnost, že účinek nastane, považována za bezprahovou funkci dávky. Z obrázku číslo 3 je zřejmé, že i minimální dávka záření je schopna vyvolat patologické změny v organismu. Vznik nádoru považujeme za hlavní somatické riziko při ozáření jedince nízkými dávkami, a proto je to hlavní problém ochrany před zářením. Všeobecně můžeme říct, že i minimální dávka záření může vyvolat vznik nádorového onemocnění. Čím vyšší je dávka záření, tím větší je pravděpodobnost, že u ozářeného jedince dojde ke vzniku nádorového onemocnění nebo poškození genetické výbavy. (9)

**Obrázek č. 3:** Deterministické a stochastické účinky ionizujícího záření



Zdroj: BIOFYZIKA PRO STUDENTY ZDRAVOTNICKÝCH OBORŮ

## **1.4 Radiační ochrana v nukleární medicíně**

V důsledku pronikavosti záření gama využívaného v diagnostice, se u pracovníků příkládá velký význam ochraně před vnějším zářením.(3)

### **1.4.1 Základní principy radiační ochrany**

Cílem radiační ochrany je zjistit velikost individuální dávky. Optimalizace radiační ochrany je nazývána principem ALARA „as low as reasonably achievable“. Smyslem je, aby při provozování zdrojů záření velikosti individuálních dávek, počet ozářených osob a pravděpodobnost ozáření byly „tak nízké, jak je rozumně dosažitelné“, jak lze rozumně dosáhnout při respektování hospodářských a sociálních hledisek.(3)

### **1.4.2 Radiační limity a kategorizace**

Funkce dávkových limitů spočívá ve vztahu k deterministickým účinkům v zábraně překročení jejich dávkového prahu a účinku stochastických.(3)

Nukleární medicína dle vyhlášky č. 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. se zařazuje do I., II., III. nebo IV. kategorie podle předpokládaného charakteru prací a zpracovávaných aktivit radionuklidů. Nukleární medicína v Nemocnici České Budějovice a.s. se zařazuje do kategorie II. (3)

#### **1.4.2.1 Dávkové limity**

Limity stanovené vyhláškou č. 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. rozlišuje několik základních druhů limitů. Patří sem základní limity pro pracovníky se zdroji, základní limity pro učně a studenty a základní limity obecné. Základní limity se vztahují na součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků této dávky z radioaktivních látek ( $\Sigma E + \Sigma E_{50}$ ) přijatých do organismu za stejného období, (tímto způsobem se vykládá pojem „úvazek vnitřního ozáření“, použitý ve vyhlášce) popř. na ekvivalentní dávky v určitém orgánu či tkáni ( $H_T$ ). Hodnoty platných limitů jsou uvedené v tabulce č. 3. (3)

**Tabulka. č. 3:** Základní limity stanovené vyhláškou č. 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.

- a) vztahuje se na průměrnou ekvivalentní dávkou v 1 cm<sup>2</sup> kůže;
- b) končetiny - ruce od prstů až po předloktí a nohy od chodidel až po kotníky.

Veličina	ZL pro pracovníky se ZIZ (mSv)		ZL pro učně a studenty (mSv)	ZL obecné (mSv)
	Za 5 za sebou jdoucích roků	Za rok	Za rok	Za rok
$\Sigma E + \Sigma E_{50}$	100	50	6	1
$H$ oční čočka	-	150	50	15
$H$ kůže <sup>a)</sup>	-	500	150	50
$H$ končetiny <sup>b)</sup>	-	500	150	-

Zdroj: PRINCIPY A PRAXE RADIAČNÍ OCHRANY

Efektivní dávka je veličina označována  $E$  je součtem součinů tkáňových váhových faktorů  $w_T$  a ekvivalentních dávek  $H_T$  v ozářených tkáních o orgánech  $T$ . (2)

$$E = \Sigma w_T H_T$$

Ekvivalentní dávka je označována jako  $H_T$  představuje součin radiačního váhového faktoru  $w_R$  a střední absorbované dávky  $D_{TR}$  v orgánu nebo tkáni  $T$  způsobené ionizujícím zářením druhu  $R$ , tj.

$$H_T = w_R \cdot D_{TR}$$

nebo součet takových součinů, je-li pole ionizujícího záření složeno z více druhů záření. Jednotkou je  $J \cdot kg^{-1}$  nazvaná sievert (Sv). (2)

Obecné limity se vztahují na průměrné ozáření kritické skupiny obyvatel, a to pro všechny cesty ozáření ze všech zdrojů ionizujícího záření a všechny činnosti vedoucí k ozáření. Mezi obecné limity nezahrnujeme ozáření z přírodních zdrojů, profesní ozáření, ozáření učňů a studentů, lékařské ozáření, havarijní ozáření a ozáření ve zvláštních případech. (2)

Limity pro radiační pracovníky se vztahují na profesní ozáření, tj. na ozáření, kterému jsou vystaveni v přímém vztahu k vykonávané práci. Do profesní radiační



zátěže se nezahrnuje ozáření z přírodních zdrojů. Roční efektivní dávka pro pracovníky nesmí překročit 50 mSv, celkově za 5 let to nesmí být větší než 100 mSv. Obdržel-li pracovník za rok efektivní dávku např. 40 mSv, nesmí efektivní dávku dohromady v dalších čtyřech letech překročit  $100-40=60$  mSv, tedy např. může být v průměru maximálně 15 mSv za rok. (2)

Limity pro učně a studenty jsou platné od roku, v němž tyto osoby dovrší 16 let, až do roku, v němž dovrší 18 let. (2)

#### ***1.4.2.2 Kategorizace pracoviště***

Pracoviště, kde se vykonávají radiační činnosti, se kromě pracovišť, kde se používají výhradně nevýznamné nebo typově schválené drobné zdroje ionizujícího záření, kategorizují vzestupně podle ohrožení zdraví a životního prostředí ionizujícím zářením na pracoviště I., II., III. a IV viz tabulka č. 4. Kategorie na základě klasifikace zdrojů ionizujícího záření, o nichž se předpokládá, že se s nimi bude na pracovišti nakládat, očekávaného běžného provozu pracoviště a související míry možného ozáření pracovníků a obyvatelstva, zaměření radiační činnosti a náročnosti na zajištění radiační ochrany a jakosti při této činnosti, vybavení a zajištění pracoviště pro bezpečnou práci se zdroji ionizujícího záření, zejména ochrannými pomůckami, izolačními a stínícími zařízeními, provedením ventilace a kanalizace, možnosti radioaktivní kontaminace pracoviště nebo jeho okolí radionuklidy, možnosti vzniku radioaktivních odpadů a náročnosti jejich zneškodnění, potenciálního ohrožení plynoucím z předvídatelných poruch a odchylek od běžného provozu, rizika vzniku radiační nehody nebo havárie, závažnosti následků takové události a možnosti zásahů.(13)

Pracovištěm I. kategorie je pracoviště s drobnými typově neschválenými zdroji ionizujícího záření, pracoviště s kostním denzitometrem, pracoviště s veterinárním, zubním nebo kabinovým rentgenovým zařízením, pracoviště s indikačním nebo měřicím zařízením obsahujícím uzavřený radionuklidový zářič, na nichž charakter radiační činnosti nevyžaduje vymezení kontrolovaného pásma, pracoviště s technickým rentgenovým zařízením, na němž charakter radiační činnosti nevyžaduje vymezení kontrolovaného pásma, pracoviště s otevřenými radionuklidovými zářiči,

pokud vybavení izolačními a ventilačními zařízeními a úroveň provedení kanalizace splňuje příslušné minimální požadavky.(13)

Pracovištěm II. kategorie je pracoviště s jednoduchým zdrojem ionizujícího záření, které není pracovištěm I. kategorie, pracoviště s rentgenovým zařízením určeným k radiodiagnostice nebo radioterapii, kromě kostních denzitometrů, kabinových a zubních rentgenových zařízení a kromě veterinárních rentgenových zařízení, pracoviště s mobilním defektoskopem s uzavřeným radionuklidovým zářičem, pracoviště s mobilním ozařovačem s uzavřeným radionuklidovým zářičem, kromě těch pracovišť, u nichž s ohledem na typický způsob provozu pracoviště, související míru možného ozáření a potenciální riziko plynoucí z předvídatelných poruch a odchylek od běžného provozu bylo jejich zařazení do jiné kategorie určeno v rámci řízení o vydání povolení k provozu pracoviště podle § 9 odst. 1 písm. d) zákona nebo povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření podle § 9 odst. 1 písm. i) zákona k nakládání s těmito ozařovači, pracoviště s indikačními nebo měřicími zařízeními obsahujícími uzavřené radionuklidové zářiče, na nichž charakter radiační činnosti vyžaduje vymezení kontrolovaného pásma, pracoviště s technickými rentgenovými zařízeními, na nichž charakter radiační činnosti vyžaduje vymezení kontrolovaného pásma, pracoviště s otevřenými radionuklidovými zářiči, pokud vybavení izolačními a ventilačními zařízeními a úroveň provedení kanalizace splňuje příslušné minimální požadavky.(13)

Pracovištěm III. kategorie je pracoviště s urychlovačem částic, kromě těch pracovišť, u nichž s ohledem na typický způsob provozu pracoviště, související míru možného ozáření a potenciální riziko plynoucí z předvídatelných poruch a odchylek od běžného provozu bylo jejich zařazení do jiné kategorie určeno v rámci řízení o vydání povolení k provozu pracoviště podle § 9 odst. 1 písm. d) zákona nebo povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření podle § 9 odst. 1 písm. i) zákona, pracoviště se zařízením obsahujícím uzavřený radionuklidový zářič určené k radioterapii, včetně brachyterapie, klasifikovaným jako významný zdroj, uznaný sklad, pracoviště s otevřenými radionuklidovými zářiči, pokud vybavení izolačními a ventilačními zařízeními a úroveň provedení kanalizace splňuje příslušné minimální požadavky a

zařazení do této kategorie potvrdil Úřad v rámci vydání povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření podle § 9 odst. 1 písm. i) zákona, pracoviště se stacionárním průmyslovým ozařovačem určeným k ozařování potravin a surovin, předmětů běžného užívání nebo jiných materiálů, pracoviště pro těžbu a zpracování uranové rudy zahrnující těžbu, úpravu, nakládání s koncentrátem, provoz dekontaminačních stanic, shromažďování produktů hornické činnosti na odvalech a v kalových polích.<sup>(13)</sup>

Pracovištěm IV. kategorie je jaderné zařízení ve smyslu § 2 písm. h) bod 1 zákona, úložiště radioaktivních odpadů ve smyslu § 2 písm. u) zákona, pracoviště s otevřenými radionuklidovými zářiči, které s ohledem na vysoké aktivity zpracovávané současně na jednom pracovním místě, na typický způsob provozu pracoviště a související míru možného ozáření a potenciální riziko plynoucí z předvídatelných odchylek od běžného provozu, z nehod nebo havárií nelze zařadit do nižší kategorie, sklad vyhořelého nebo ozářeného jaderného paliva.<sup>(13)</sup>

**Tabulka č. 4 :** Přehled kategorií pracovišť ve zdravotnických zařízeních, používaných zdrojů ionizujícího záření, metod a oborů.

Kategorie pracoviště	Zdroje	Používaná zařízení nebo metody	Obor
I. kategorie	jednoduché	kostní denzitometrie zubní rentgen kabinový rentgen provádění testů RIA	radiodiagnostika  diagnostika v NM
II. kategorie	jednoduché	různá rentgenová zařízení CT generátory <sup>99</sup> Mo- <sup>99m</sup> Tc	radiodiagnostika radioterapie diagnostika v NM
III. kategorie	významné	urychlovače ozařovače s uzavřenými zářiči otevřené zářiče	radioterapie radionuklidová terapie v NM

*Zdroj: RADIAČNÍ OCHRANA PRO RADIOLOGICKÉ ASISTENTY*

### ***1.4.2.3 Kategorizace radiačních pracovníků***

Pro účely monitorování se radiační pracovníci podle ohrožení zdraví ionizujícím zářením rozdělují do kategorie A nebo B. Je to na základě očekávaného ozáření za běžného provozu a při předvídatelných poruchách a odchylkách od běžného provozu s výjimkou ozáření v důsledku radiační nehody nebo havárie. (2)

Pracovníci kategorie A jsou radiační pracovníci, kteří by mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávku vyšší než 0,3 limitu ozáření pro oční čočku nebo končetiny. Do kategorie B patří všichni radiační pracovníci, kteří nejsou zařazeni do kategorie A. (2)

V souladu s vyhláškou č. 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. jsou v rámci monitorovacího systému rozlišovány 3 referenční úrovně: záznamová, vyšetřovací a zásahová. Jejich vymezení je závislé na sledované problematice, detekčních možnostech pracoviště, aktuální situaci a potřebách radiační ochrany oddělení nukleární medicíny. (2)

Referenční úrovně jsou nastaveny na základě běžných hodnot dozimetrického monitorování za poslední období. Vyplývají a jsou vymezeny i časově z hlediska intervalu vyhodnocování příslušných dozimetrických měření. (2)

Pro TL dozimetry v měsíčních intervalech:

- záznamová = 0.2mSv / měsíc
- vyšetřovací = 0.7mSv / měsíc
- zásahová = 20mSv

Pro prstenové TLD dozimetry v měsíčních intervalech:

- záznamová = 20mSv / měsíc
- vyšetřovací = 30mSv / měsíc
- zásahová = 150mSv (překročení limitu)

### **1.4.3 Uspořádání pracoviště nukleární medicíny**

Nukleární medicína je složena ze tří částí: úsek pro příjem, přípravu a kontrolu radiofarmak (laboratorní úsek+vyšetření in vitro), úsek radionuklidové diagnostiky (ambulantní část) a lůžková část pro léčbu hospitalizovaných pacientů.(3)

### **1.4.4 Kontrolované a sledované pásmo**

Kontrolované pásmo se na pracovištích s ionizujícím zářením vymezuje všude tam, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv ročně nebo tam, kde by ekvivalentní dávka mohla být za rok vyšší než desetina limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny.(2)

Sledované pásmo se vymezuje všude tam, kde se očekává, že efektivní dávka by mohla být vyšší než 1 mSv ročně nebo ekvivalentní dávka by mohla být vyšší než jedna desetina limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny. (2)

### **1.4.5 Monitorování pracovníků a pracovního prostředí**

Program monitorování má podle způsobu a rozsahu nakládání se zdroji ionizujícího záření nebo s radioaktivními odpady zpravidla tyto části:

- a) monitorování pracoviště ;
- b) osobní monitorování ;
- c) monitorování výpustí ;
- d) monitorování pracovního prostředí CT ;
- e) monitorování okolí.(13)

Program monitorování musí zahrnovat monitorování pro běžný provoz, pro předvídatelné odchylky od běžného provozu i pro případy radiačních nehod a radiačních havárií:

- a) vymezení veličin, které budou monitorovány, způsob, rozsah a frekvence měření ;
- b) návody na vyhodnocování výsledků měření ;
- c) hodnoty referenčních úrovní a přehled příslušných opatření při jejich překročení ;
- d) specifikaci metod měření ;
- e) specifikaci používaných typů měřících přístrojů a pomůcek a jejich parametrů.(13)

Program monitorování musí být navržen takovým způsobem a v takovém rozsahu, aby za provozu pracoviště umožňoval ověření požadavků limitování ozáření, prokazování, že radiační ochrana je optimalizována a zajištění dalších požadavků na bezpečný provoz pracovišť, zejména včasné zjištění odchylek od běžného provozu. Monitorování se podle povahy věci navrhuje a zavádí buď jako rutinní, to je kontinuální nebo periodické, nebo jako operativní při určité činnosti s cílem zhodnotit a zajistit přijatelnost této činnosti z hlediska systému limitování. Dojde-li ke změnám v uspořádání pracoviště, ve zdrojích ionizujícího záření, způsobu a podmínkách nakládání s nimi nebo ke změnám v monitorovacích metodách, program monitorování se aktualizuje. (13)

V programu monitorování se vymezují referenční úrovně, což jsou hodnoty nebo kritéria rozhodné pro určité předem stanovené postupy nebo opatření. Referenční úrovně, při jejichž překročení je třeba údaj zaznamenávat a evidovat, se označují jako záznamové úrovně. Záznamové úrovně oddělují hodnoty zasluhující pozornost od hodnot bezvýznamných. Záznamové úrovně se zpravidla stanovují jako odpovídající jedné desetiné limitů a metody monitorování se volí tak, aby nejmenší detekovatelná hodnota měřené veličiny radiační ochrany byla menší než takto stanovená záznamová úroveň. Referenční úrovně, jejichž překročení je podnětem k následnému šetření o příčinách a možných důsledcích zjištěného výkyvu sledované veličiny radiační ochrany, se označují jako vyšetřovací úrovně. Vyšetřovací úrovně se zpravidla stanovují jako odpovídající třem desetinám limitů ozáření nebo jako horní mez obvykle se vyskytujících hodnot. Referenční úrovně, jejichž překročení je podnětem k zahájení nebo zavedení opatření ke změně zjištěného výkyvu sledované veličiny radiační ochrany, se označují jako zásahové úrovně. U zásahových úrovní vymezených v programu monitorování se uvádí také přesně, o jaký zásah se jedná a jakým postupem se o něm rozhoduje. Pro jednotlivou měřenou veličinu nebo parametr může být stanoveno i několik na sebe navazujících zásahových úrovní, odpovídajících navazujícím zásahům postupně významnějším podle toho, jak roste význam zjištěného výkyvu sledované veličiny. (13)

### **1.4.5.1 Program monitorování**

Dávkové příkony na pracovištích kontrolovaného pásma se měří při činnostech s vyššími radioaktivitami a rizikovými radionuklidy s předpokladem vyššího dávkového příkonu. Měření se provádí přístrojem RM 552GS na odpovídajících pracovních místech kontrolovaného pásma – příprava radiofarmak, vyšetřovny gama kamer, aplikační místnost, vymírací boxy, sklad radiofarmak včetně transportní místnosti, v případě potřeby i kontrola čekáren pacientů a chodeb kontrolovaného pásma, hygienická zařízení.

- Monitorování pracoviště

Monitorování pracoviště se uskutečňuje sledováním, měřením, hodnocením a zaznamenáváním veličin a parametrů charakterizujících pole ionizujícího záření a výskyt radionuklidů na pracovišti, zejména příkonů dávkového ekvivalentu na pracovišti, objemových aktivit v ovzduší pracoviště a plošných aktivit na pracovišti. Zavádí se na všech pracovištích I. až IV. kategorie kromě pracovišť I. kategorie, kde se používají výhradně drobné zdroje ionizujícího záření. (13)

Při zahájení prací a při změnách v pracovních postupech nebo při změnách způsobu radiační ochrany se ověřuje účinnost radiační ochrany před zevním i vnitřním ozářením podrobným měřením příkonu dávkového ekvivalentu, objemových aktivit a dalších veličin u zdrojů ionizujícího záření, míst práce s nimi a v místech možného pobytu pracovníků. (13)

Monitorování radioaktivní kontaminace se volí na pracovištích s otevřenými zářiči tak, aby umožnilo signalizovat provozní odchylky od běžného provozu, nedostatečnou funkci nebo selhání bariér bránících rozptylu radioaktivních látek. (13)

- Monitorování osobní

Osobní monitorování slouží k určení osobních dávek sledováním, měřením a hodnocením individuálního zevního i vnitřního ozáření jednotlivých osob zpravidla osobními dozimetry. (13)

Osobní monitorování osobními dozimetry se zajišťuje pro všechny pracovníky kategorie A a pro osoby, které podle vnitřního havarijního plánu na pracovišti zasahují při radiačních nehodách nebo při živelních pohromách, pokud není stanoveno jinak v

podmínkách povolení nebo schváleném programu monitorování. Pro pracovníky kategorie A je kontrolní období pro vyhodnocování osobního dozimetru 1 měsíc. Vyhodnocování osobních dozimetrů provádí oprávněná dozimetrická služba. (13)

Osobní dozimetr se nosí na přední levé straně hrudníku (dále jen "referenční místo"), pokud není v programu monitorování stanoveno jinak. Při používání ochranné stínící zástěry se nosí vně zástěry. V případě překročení vyšetřovací úrovně stanovené ve schváleném programu monitorování se osobní dávkový ekvivalent naměřený vně zástěry sníží o hodnotu odpovídající zeslabení v zástěře. Když dozimetr umístěný na referenčním místě nedovoluje odhad efektivní dávky a ekvivalentní dávky v orgánech a tkáních, pro které jsou stanoveny limity, je pracovník vybaven dalším dozimetrem, který svými vlastnostmi nebo umístěním takový odhad umožní. (13)

Osobní dozimetr musí měřit všechny druhy záření podílející se na zevním ozáření pracovníka při nakládání se zdroji ionizujícího záření. Když tuto podmínku nesplní jeden dozimetr, pracovník se vybavuje dalšími dozimetry, pokud není v programu monitorování povolen jiný způsob monitorování. (13)

Na pracovištích, kde nelze vyloučit radiační nehodu v důsledku jednorázového zevního ozáření, jsou radiační pracovníci vybavováni operativními dozimetry, které překročení nastavené úrovně jsou schopny přímo signalizovat. Může-li zdroj ionizujícího záření způsobit jednorázovým ozářením překročení pětinasobku limitů pro radiační pracovníky, musí monitorování umožnit stanovení dávek a jejich distribuce v těle pracovníků včetně rekonstrukce nehody. (13)

Na pracovištích, kde může dojít k vnitřnímu ozáření pracovníků, se příjmy radionuklidů, popřípadě úvazky efektivní dávky od vnitřního ozáření jednotlivých pracovníků zjišťují zpravidla měřením aktivity radionuklidů v těle pracovníka nebo v jeho exkretách a převádí se na příjem pomocí modelů dýchacího traktu, zažívacího traktu a kinetiky příslušných prvků. Při práci s otevřenými radionuklidovými zářiči je měření aktivity radionuklidů v těle pracovníka nebo v jeho exkretách požadováno na pracovištích IV. kategorie vždy a na pracovištích III. kategorie, je-li tak stanoveno v programu monitorování. (13)



V případě podezření, že došlo k neplánovanému jednorázovému ozáření pracovníka, provádí se okamžitě vyhodnocení osobních dozimetrů a dozimetrické hodnocení dané události. (13)

Radiačním pracovníkům musí zaměstnavatel zajistit, aby měli na požádání přístup k výsledkům svého osobního monitorování včetně výsledků měření, na jejichž základě byly odhadnuty dávky, nebo k odhadům jejich dávek provedených na základě monitorování pracoviště. (13)

- Monitorování výpustí

Monitorování výpustí a jiných cest uvolňování radioaktivních látek do životního prostředí se uskutečňuje sledováním, měřením, zaznamenáváním a hodnocením veličin a parametrů charakterizujících uvolňované látky, zejména jejich celkovou, hmotnostní nebo objemovou aktivitu. Zavádí se na všech pracovištích, kde dochází ke zneškodňování látek znečištěných radionuklidy jejich řízeným uvolňováním nebo kde existuje možnost úniku závažného množství radionuklidů do okolí. Slouží ke kontrole dodržování povolených výpustí nebo podmínek povolení a k včasnému zjištění a zhodnocení případných úniků a jejich důsledků na obyvatelstvo v okolí pracoviště a na životní prostředí. (13)

Monitorování výpustí a jiných cest uvolňování radioaktivních látek do životního prostředí z pracovišť IV. kategorie a z těch pracovišť III. kategorie, u nichž je to vyžadováno úřadem v podmínkách povolení, zahrnuje jak soustavné bilanční měření všech radionuklidů, které se nezanedbatelně podílejí na ozáření obyvatelstva, tak i nepřetržité měření reprezentativních radionuklidů, které je schopné rychle signalizovat odchylky od běžného provozu. Existuje-li možnost nepřípustných úniků radionuklidů do ovzduší, zajišťuje se také soustavné monitorování všech potenciálních cest těchto úniků. (13)

- Monitorování pracovního prostředí CT

Monitorování pracoviště CT se uskutečňuje sledováním, měřením, hodnocením a zaznamenáváním veličin a parametrů charakterizujících pole ionizujícího záření. Na vybraných místech pracoviště se měří kerma nebo kermový příkon (dle normy ČSN EN 60601-1-3, část 1), tj. na pracovních místech, v případě ochranných zástěn za těmito

zástěnami a v přilehlých místnostech. Měření se provádí při úrovni 66% maximálních provozních hodnot ( kV, mA nebo mAs) a při použití vodního fantomu. Neprovádí se pravidelně, ale pouze při stavebních úpravách, opravě přístroje, při které mohlo dojít ke změně naměřených hodnot nebo po změnách odstínění příp. pracovních míst. (13)

Měření provádí dohlížející osoba pro rtg zdroje ionizujícího záření vhodným dozimetrickým přístrojem nebo je zajištěno externí firmou provádějící měření dlouhodobé stability. (13)

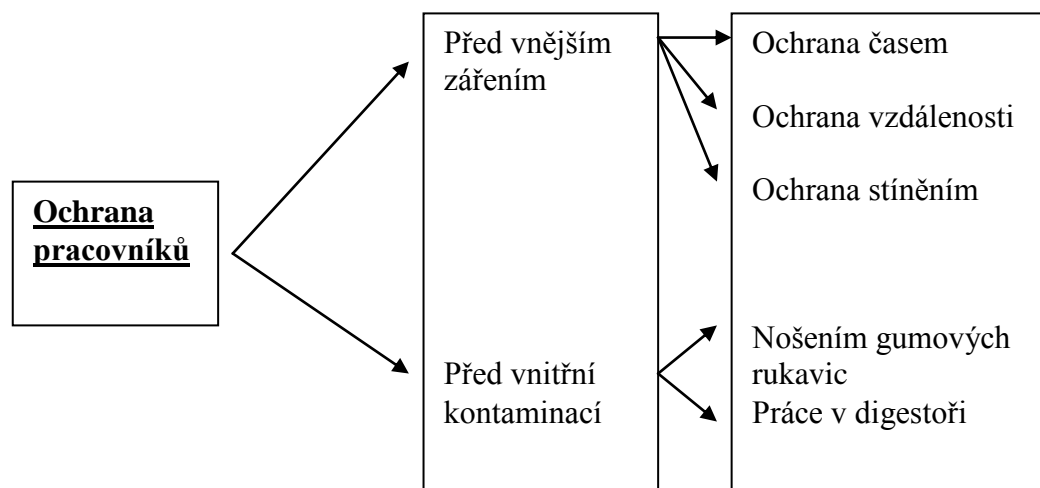
- Monitorování okolí pracoviště

Není prováděno pravidelně, pouze při mimořádných činnostech s možností úniku radioaktivní látky zejména v plynném stavu a při mimořádných událostech v souladu s vnitřním havarijním plánem. (13)

#### **1.4.6 Radiační ochrana pracovníků**

Na pracovištích s otevřenými zářiči je nutné dodržovat zásady ochrany jak před zevním zářením, tak před vnitřní kontaminací. Schematické zobrazení na obrázku č.4. (2)

**Obrázek č. 4 :** Schéma ochrany pracovníků.



Zdroj: RADIAČNÍ OCHRANA PRO RADIOLOGICKÉ ASISTENTY.

### 1.4.6.1 Zevní záření

K základním zdrojům zevní radiační zátěže pracovníků v nukleární medicíně patří:

1. příprava radiofarmak
2. vlastní aplikace
3. samotní naaplikování pacienti

Radiační zátěž pracovníků vznikající ze zevních zdrojů se usměrňuje používáním ochrany časem, vzdáleností a stíněním.(2)

### 1.4.6.2 Ochrana časem

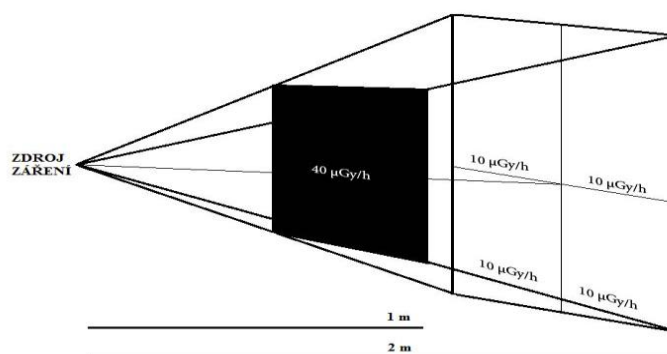
Radiační zátěž pracovníka nukleární medicíny roste s dobou, po kterou pobývá v blízkosti zdroje ionizujícího záření.(2)

Platí vztah: dávka = dávkový příkon x doba pobytu vyjádřeno pomocí  $D = D \cdot t$ . Zkrátí-li se doba pobytu  $t$ , bude menší i dávka záření  $D$ .(2)

### 1.4.6.3 Ochrana vzdáleností

Využívá se skutečnosti, že dávkový příkon záření gama klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje ionizujícího záření. Zvětší-li se vzdálenost od zdroje na dvojnásobek, dávka klesne na čtvrtinu. Jestliže se vzdálenost od zdroje zmenší na polovinu, dávka vzroste čtyřikrát. Schematické zobrazení na obrázku č. 5. (2)

Obrázek č. 5 : Zdroj záření.



Zdroj: *RADIAČNÍ OCHRANA PRO RADIOLOGICKÉ ASISTENTY.*

#### **1.4.6.4 Ochrana stíněním**

Tato ochrana je velmi účinná, bývá ale dosti nákladná a někdy ji nelze použít. Dalším problémem jsou stínící pomůcky, které v řadě případů ztěžují práci viz. obrázek č. 6,7,8,9, 10a 11.

**Obrázek č. 6 :** Stínící ochranné pomůcky



*Zdroj: autor práce oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s.*

**Obrázek č. 7 :** Stínící olověné kryty stříkaček radiofarmak



*Zdroj: autor práce oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s.*

**Obrázek č. 8 :** Stínící olověné kryty stříkaček radiofarmak



*Zdroj: autor práce oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s.*

**Obrázek č. 9 :** Aplikační stůl radiofarmak se stíněným odpadem



*Zdroj: autor práce oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice*

**Obrázek č. 10 :** Ochranná pracovní pomůcka, vesta, olověná guma



*Zdroj: autor práce oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s.*

K ochraně pracovníků obsluhujících scintilační kameru se vyšetřovna odděluje od ovladovny stínící stěnou s pozorovacím okénkem z Pb skla viz obrázek č. 11.(2)

**Obrázek č. 11 :** Stínící stěna s barytovou omítkou a pozorovacím okénkem z Pb skla



*Zdroj: autor práce oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s.*

Radiační zátěž ambulantních pracovníků (radiologických asistentů a zdravotních sester) závisí na možnostech radiační ochrany konkrétních oddělení nukleární

medicíny. Uvedené hodnoty efektivních dávek znázorněné v tabulce č.5, spíše platí na pracovištích, kde je možné dodržovat výše zmíněné ochrany. (2)

**Tabulka č. 5 :** Efektivní dávka pracovníků vztažena jen na jedno vyšetření pacienta.

Vyšetření	Radiofarmakum	Aktivita aplikovaná pacientovi (MBq)	Efektivní dávka ( $\mu\text{Sv}$ ) při jednom vyšetření
pozitronová tomografie	$^{18}\text{F}$ -FDG	400	5-8
perfuze myokardu	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI	800-1000	2
scintigrafie mozku	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO	800	1,1-3,8
scintigrafie kostí	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -fosfáty	800	0,4-3
scintigrafie plic	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA	200	0,3-1
scintigrafie ledvin	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA	200	0,4-1
scintigrafie štítné žlázy	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ - $\text{O}_4$	200	0,2-0,6
perfuze myokardu	$^{201}\text{Tl}$ -chlorid	110	0,5-0,6
galiová scintigrafie	$^{67}\text{Ga}$ -citrát	200	0,2-0,3

Zdroj: *RADIAČNÍ OCHRANA PRO RADIOLOGICKÉ ASISTENTY.*

#### 1.4.6.5 Ochrana před vnitřní kontaminací

Radiační zátěž těla je způsobena radioaktivními látkami, které se dostanou do organismu přes oděvy pracovníků a částí těla (rukou). Radioaktivní látka bývá na površích laboratořích a vyšetřoven. (2)

Důležité je monitorování povrchové kontaminace otevřenými zářiči. Průběžnou kontrolou lze zamezit případnému většímu rozšíření kontaminace. Velikost povrchové kontaminace lze vyjádřit veličinou  $a_s$  nejčastěji vyjadřovanou v  $\text{Bq.cm}^{-2}$ . Plošná aktivita se měří buď přímo pomocí měřičů kontaminace kalibrovaných v  $\text{Bq.cm}^{-2}$ , nebo nepřímou metodou založenou na stěru. Povrchy v kontrolovaném pásmu nesmí převyšovat v případě zářiče gama  $^{99\text{m}}\text{Tc}$   $300 \text{ Bq.cm}^{-2}$  a na povrch těla  $30 \text{ Bq.cm}^{-2}$  dle vyhlášky č. 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. více v tabulce č.6. Ihned po skončení práce s otevřenými zářiči se musí provést kontrola povrchové

kontaminace. U pracovníků musíme věnovat zvláštní pozornost na kontaminaci rukou radioaktivními látkami, způsobenou např. při neopatrném svlékání rukavic a podobně. Někdy může být kontaminován i obličej a další části těla pracovníka při nehodách (rozbití lahvičky nebo netěsnosti hadičky přivádějící radiofarmakum při injekci). Mezi základní ochranné opatření patří: převlékání se do pracovních oděvů, používání ochranných prostředků (gumové rukavice, zástěry, brýle), nikdy nebrat otevřené zářiče do rukou, používat ochranné pracovní pomůcky (pinzety, kleště, stínící ochranné obaly, kontejnery apod.), činnosti, při kterých by mohlo dojít k úniku radioaktivních látek do ovzduší vykonávat v uzavřených prostorách (digestoř, laminární skříň), v kontrolovaném pásmu oddělení nukleární medicíny nejíst, nepít a nekouřit. (2)

**Tabulka č. 6 :** Směrné hodnoty povrchové kontaminace, vybrány z tabulky přílohy 2 vyhlášky č. 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.

Třída	Radionuklidy	Směrné hodnoty povrch. kontaminace (Bq.cm <sup>-2</sup> )	
		Povrchů v kontrolovaném pásmu	Povrch těla
1	<sup>58</sup> Co, <sup>60</sup> Co, <sup>137</sup> Cs	3	0,3
2	<sup>18</sup> F, <sup>57</sup> Co, <sup>67</sup> Ga, <sup>99m</sup> Tc, <sup>111</sup> In, <sup>201</sup> Tl, <sup>125</sup> I, <sup>131</sup> I	30	3
3	<sup>14</sup> C, <sup>32</sup> P, <sup>90</sup> Y, <sup>99m</sup> Tc, <sup>51</sup> Cr, <sup>89</sup> Sr, <sup>186</sup> Re	300	30
4	<sup>3</sup> H, <sup>35</sup> S	3000	300

*Zdroj: RADIAČNÍ OCHRANA PRO RADIOLOGICKÉ ASISTENTY.*

#### 1.4.7 Radiační ochrana pacientů

Aplikuje se jen nezbytné množství radioaktivní látky (radiofarmaka) požadované čistoty a aktivity, které zaručuje dostatečnou diagnostickou informaci při co nejnižší radiační zátěži pacienta. Aktivita radiofarmaka aplikovaného pacientovi před diagnostickým výkonem se ověřuje pomocí měřiče aktivity se studnovou ionizační komorou. Výsledky měření aktivity jsou v MBq. Dále je nutné přihlídnout ke směrným hodnotám aplikované aktivity radiofarmak stanovených vyhláškou č. 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. znázorněné v tabulce č. 7. Pro hmotnost



pacienta > 85 kg je faktor  $F$  uvedený v této tabulce počítán ze vztahu  $F = W^{0,7}/70^{0,7}$ , kde  $W$  je hmotnost těla (faktor  $F$  je odvozený z povrchu těla, ale je zde vyjádřen v závislosti na  $W$ ). V případě dětí s hmotností menší než 70 kg je faktor  $F$  uvedený v tabulce č. 8. shodný s hodnotami v běžně užívané tabulce doporučené skupinou odborníků Pediatric Task Group EANM. Příklad: optimalizovaná aplikovaná aktivita  $^{99m}\text{Tc}$ -fosfonátů pro scintigrafii kostí rutinně používaná na daném pracovišti nukleární medicíny u pacientů o hmotnosti 70 kg je 700 MBq (při DRÚ 800 MBq). Je-li hmotnost pacienta 120 kg, doporučuje se aplikovat mu aktivitu  $700 \times 1,46 \sim 1020$  MBq.(12)

**Tabulka č. 7 :** Diagnostické referenční úrovně pro vyšetření v nukleární medicíně dle vyhlášky č. 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.

Vyšetření			Radio-nuklid	Látka, chemická forma	Aktivita aplikovaná při jednom vyšetření [MBq]	
orgán, systém, onemocnění	druh vyšetření, skupina					
kosti	scintigrafie (celotělová, třífázová, SPECT)		Tc-99m	fosfáty, fosfonáty	800	
kostní dřev	scintigrafie (celotělová, SPECT)		Tc-99m	nanokoloidy	550	
mozek	scintigrafie	dynamická	Tc-99m	TcO <sub>4</sub> , DTPA	600	
		statická, planární	Tc-99m	TcO <sub>4</sub> , DTPA	600	
		SPECT	Tc-99m	TcO <sub>4</sub> , DTPA, HMPAO, ECD	800	
		receptory	I-123	Ioflupan, IBZM	200	
		akumulace glukózy	F-18	FDG	400	
	cisternografie		In-111	DTPA	40	
			Yb-169	EDTA	40	
štítná žláza	akumulační test		I-131	jodid	0,5	
	scintigrafie	planární	Tc-99m	TcO <sub>4</sub>	200	
			Tc-99m	MIBI, DMSA (V)	400	
			I-123	jodid	20	
			I-131	jodid	7	
			Tl-201	chlorid	80	
		celotělová při karcinomu štítné žlázy		Tc-99m	MIBI, DMSA (V)	800
			I-131	jodid	185	
			Tl-201	chlorid	100	
	příštítná těliska	scintigrafie	planární	Tc-99m	TcO <sub>4</sub>	200
Tc-99m				MIBI	800	

Vyšetření			Radio-nuklid	Látka, chemická forma	Aktivita aplikovaná při jednom vyšetření [MBq]
orgán, systém, onemocnění	druh vyšetření, skupina				
			Tl-201	chlorid	80
plíce	scintigrafie ventilační	planární	Tc-99m	aerosol, technegas	1000
			Kr-81m	plyn	6000
	scintigrafie planární	planární	Tc-99m	MAA, mikrosféry	200
		SPECT	Tc-99m	MAA, mikrosféry	3000
srdce	perfuze myokardu	SPECT	Tc-99m	MIBI, tetrofosmin	900 1400
		SPECT	Tl-201	chlorid	110
		SPECT (reinjekce)	Tl-201	chlorid	40
	metabol. zobrazování PET (viabilita)		F-18	FDG	500
	radionuklidová ventrikulografie		Tc-99m	erytrocyty	800
	scintigrafie prvního průtoku		Tc-99m	TcO <sub>4</sub> , Tc-99m DTPA	900
	adrenergní inervace		I-123	MIBG	400
lymfatický systém	radionuklidová lymfografie		Tc-99m	nanokoloid	150
	detekce sentinel. uzlin		Tc-99m	nanokoloid	150
cévy	radionuklidová venografie (jedna končetina)		Tc-99m	MAA	200
			Tc-99m	DTPA	300
	radionuklidová angiografie		Tc-99m	erytrocyty, TcO <sub>4</sub> , DTPA, HSA	800
	scintigrafická detekce trombu		Tc-99m	trombocyty	500
krev	objem krve a složek		Tc-99m	HSA	80
			I-131	HSA	6
			Cr-51	erytrocyty	6
	přežívání a lokální destrukce krevních elementů		Cr-51	erytrocyty, trombocyty	6
			In-111	trombocyty	10
ferokinetika		Fe-59	Fe (III) citrát	3	
slezina	scintigrafie	planární	Tc-99m	alterované erytrocyty	100
		SPECT	Tc-99m	alterované erytrocyty	200
hepatobiliární systém	scintigrafie	planární	Tc-99m	koloidy	150
		SPECT	Tc-99m	koloidy	300
		dynamická	Tc-99m	IDA deriváty	250
gastrointestinální trakt	scintigrafie slinných žláz		Tc-99m	TcO <sub>4</sub>	100
	scintigrafická motilita jícnu		Tc-99m	koloidy	70
	gastroesofageální reflux		Tc-99m	koloidy	50
	evakuace žaludku		Tc-99m	koloidy	60
	scintigrafie div. Meckeli		Tc-99m	TcO <sub>4</sub>	500

Vyšetření		Radio-nuklid	Látka, chemická forma	Aktivita aplikovaná při jednom vyšetření [MBq]	
orgán, systém, onemocnění	druh vyšetření, skupina				
	scintigrafie krvácení do GIT	Tc-99m	erythrocyty	700	
	stanovení ztrát krve a bílkovin v GIT	Cr-51	erythrocyty	4	
		I-125	HSA	6	
		I-131	HSA	6	
	Schillingův test	Co-57	monocyanocobalamin	1	
		Co-58	monocyanocobalamin	1	
ledviny	renografie prostá	I-131	hippuran	1	
	scintigrafie	planární	Tc-99m	DMSA (III), glukonát	150
		SPECT	Tc-99m	DMSA (III), glukonát	250
		dynamická	Tc-99m	DTPA, MAG3, EC	250
		s hodnocením perfuze	Tc-99m	DTPA, MAG3, EC	500
	stanovení EPPL, GFR	Tc-99m	MAG3, DTPA	20	
		I-131	hippuran	0,5	
		Cr-51	EDTA	3	
močový měchýř	radionuklidová cystografie	přímá	Tc-99m	TcO <sub>4</sub>	50
		nepřímá	Tc-99m	MAG3	200
varlata, šourek	scintigrafie	Tc-99m	TcO <sub>4</sub>	600	
nádory	scintigrafie (planární, SPECT)	Tc-99m	MIBI, depreotid, protilátky	800	
		In-111	protilátky, pentetreotid	190	
		Ga-67	citrát	300	
		Tl-201	chlorid	100	
		I-123	MIBG	400	
		F-18	FDG	750	
	scintimamografie (planární, SPECT)	Tc-99m	MIBI, tetrafosmin, fosfonáty	800	
záněty	scintigrafie (planární, SPECT)	Tc-99m	leukocyty, HIG	600	
		Tc-99m	protilátky	800	
		In-111	leukocyty	30	
		Ga-67	citrát	150	

Zdroj: SÚJB

**Tabulka č. 8 :** Hodnoty faktoru F pro výpočet aplikované aktivity RF v závislosti na tělesné hmotnosti vyšetřované osoby s platností i pro dětský věk

Pacienti s hmotností < 85 kg		Pacienti s hmotností > 85 kg	
Hmotnost pacienta[kg]	Faktor F	Hmotnost pacienta[kg]	Faktor F
4	0,14	90	1,19
5	0,17	95	1,24
6	0,19	100	1,28
7	0,21	105	1,33
8	0,23	110	1,37
9	0,25	115	1,41
10	0,27	120	1,46
11	0,29	125	1,50
12	0,32	130	1,54
13	0,34	135	1,58
14	0,36	140	1,62
15	0,38	145	1,66
20	0,46	150	1,70
25	0,54	155	1,74
30	0,62	160	1,78
35	0,69	165	1,82
40	0,76	170	1,86
45	0,81	180	1,94
50	0,88	190	2,01
55	0,91	200	2,085
60-85	1		

Zdroj: MINISTERSTVA ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY

#### **1.4.7.1 Systém pobytu pacienta na nukleární medicíně**

Pacient po příchodu na oddělení nukleární medicíny je umístěn do čekárny, kde vyčká výzvy aplikační sestry. Po výzvě se přemístí do aplikační místnosti, kde je pacientovi aplikováno radiofarmakum pro požadované vyšetření. Po aplikaci radiofarmaka se vrátí do čekárny, kde setrvá na požadované vyšetření. V případě imobilních pacientů, kterým nelze provést aplikaci radiofarmaka v aplikační místnosti, je ve výjimečných případech aplikováno radiofarmakum v čekárně oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s. Pokud je imobilní pacient hospitalizován v Nemocnici České Budějovice a.s., je možné radiofarmakum aplikovat přímo na oddělení, kde se pacient léčí. U dynamických studií je radiofarmakum aplikováno přímo

pod kamerou. Tento systém aplikace je prováděn z důvodů malých prostorů oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s. zvláště aplikační místnosti.

Aplikace radiofarmaka provádí pověřená aplikační sestra. Pokud nelze výkon provádět ihned po aplikaci radiofarmaka, musí se pacient přesunout do čekárny nebo je možné se vzdálit z oddělení nukleární medicíny a vrátit se na požadovaný čas vyšetření.

Po ukončení vyšetření pacient může odejít domů nebo sečká v čekárně na odvoz.

### ***1.5 Legislativa***

Smyslem legislativy v radiační ochraně je zabránit zdravotní újmě. Zdravotní újma dle legislativy je myšlena „ pravděpodobnost poškození zdraví způsobené somatickými účinky ionizujícího záření (včetně rakoviny) a vážnými genetickými poruchami, které se mohou projevit u fyzických osob po ozáření ionizujícím zářením a které stanoví odhadem rizika snížené délky a kvality života.“ (12)

Pro dosažení tohoto cíle byli ve světě (doporučení ICRP) i v legislativě ČR (zákon č.18/1997 Sb.) uvedeny do praxe tři základní principy:

#### **1. Odůvodnění radiační činnosti**

„Každý, kdo využívá jadernou energii nebo provádí činnosti vedoucí k ozáření nebo zásahy k omezení přírodního ozáření nebo ozáření v důsledku radiačních nehod, musí dbát na to, aby toto jeho jednání bylo odůvodněno přínosem, který vyváží rizika, která při těchto činnostech vznikají nebo mohou vzniknout.“ (12)

#### **2. Optimalizace radiační ochrany**

„Každý, kdo využívá jadernou energii nebo provádí činnosti vedoucí k ozáření nebo provádí zásahy k omezení přírodního ozáření nebo ozáření v důsledku radiačních nehod, je povinen dodržovat takovou úroveň jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, fyzické ochrany a havarijní připravenosti, aby riziko ohrožení života, zdraví osob a životního prostředí bylo tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při uvážení hospodářských a společenských hledisek.“ (12)

### 3. Nepřekročení limitů

„Každý, kdo provádí činnosti vedoucí k ozáření, je povinen omezovat ozáření osob tak, aby celkové ozáření způsobené možnou kombinací ozáření z činností vedoucích k ozáření nepřesáhlo v součtu stanovené limity.“ (12)

Parlament ČR přijal zákon č. 18/1997 Sb. ze dne 24. ledna o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů ve znění pozdějších předpisů (poslední novelizace zákonem č. 13/2002 Sb.) , (12)

K zákonu bylo vydáno několik vyhlášek:

1. vyhláška č. 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. (nahrazuje vyhlášku č. 184/1997 Sb.) o radiační ochrana,
2. vyhláška č. 315/2002 Sb. zvláště důležité činnosti a odborná způsobilost (mění vyhlášku č. 146/1997 Sb.,
3. vyhláška č. 316/2002 Sb. evidence a kontrola jaderných materiálů (mění vyhlášku č. 145/1997 Sb.),
4. vyhláška č. 317/2002 Sb. typové schvalování a přeprava. (nahrazuje vyhlášky č. 142 a č. 143/1997 Sb.),
5. vyhláška č. 318/2002 Sb. havarijní připravenost (nahrazuje vyhlášku č.219/1997 Sb.),
6. vyhláška č. 319/2002 Sb. funkce a organizace celostátní radiační monitorovací sítě,
7. vyhláška č. 419/2008 Sb. osobní radiační průkazy,
8. vyhláška č. 241/1997 Sb. zajištění jakosti.

## **2. CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY**

### ***2.1 Cíl práce***

Cílem práce je zjistit v jaké míře je pacient zdrojem záření po diagnostickém podání radiofarmak pro personál oddělení nukleární medicíny v Nemocnici České Budějovice a.s. a okolních pacientů v souvislosti na vzdálenost.

### ***2.2 Hypotézy***

Pacient po diagnostické aplikaci radiofarmak je zdrojem záření, radiační zátěž personálu je úměrná podané aktivitě pacientovi, nepřekročí povolené hodnoty a klesá se vzdáleností od pacienta.

### 3. METODIKA

#### 3.1 Sběr dat

V mé práci jsem zvolila kvantitativní výzkum. Jako základní soubor mého měření byli zvoleni pacienti Nemocnice České Budějovice a.s., a to obou pohlaví ve věku od 25-80 let a personál oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s. Ke zpracování výsledků jsem zvolila data z osobního dozimetru čtyř zdravotních sester za sledované období posledních 5 let (od roku 2007 až 2011). Osobní TL dozimetry všichni ze sledovaného souboru zdravotních sester nosili po dobu 5 let vždy při práci se zdrojem ionizujícím zářením, a to na referenčním místě. To znamená na přední levé straně hrudníku. Dávky z osobních dozimetrů byly vyhodnocovány vždy oprávněnou dozimetrickou službou. Vyhodnocení osobních dozimetrů probíhá vždy jednou za měsíc. Na nukleární medicíně v Nemocnici České Budějovice a.s. se používají TL osobní dozimetry viz. obrázek č. 12.

**Obrázek č. 12 :** Osobní TL dozimetr



*Zdroj: autor práce oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s.*

Tyto data jsem získala z pravidelných měsíčních výpisů vyhodnocení ekvivalentních dávek ionizujícího záření zaslaných oprávněnou dozimetrickou službou.



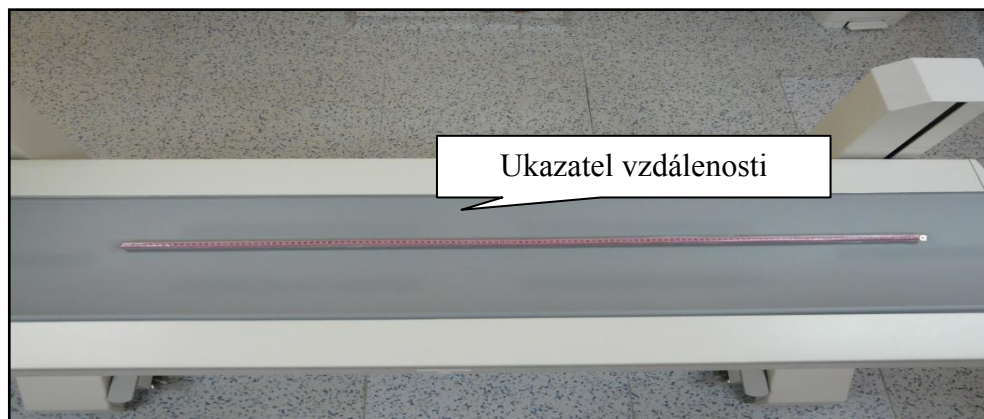
Dále jsem pomocí přístroje RM 552 GS výrobní číslo 0100 (viz obrázek č. 13) prováděla měření dávkového příkonu personálu oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s. po aplikaci radionuklidu pacientovi. Tento přístroj je ověřen Českým meteorologickým institutem viz příloha A. Měření jsem měla možnost provádět pouze u radionuklidu  $^{99m}\text{Tc}$  a  $^{67}\text{Ga}$ . Měřila jsem dávkový příkon ze vzdálenosti 0,5 m, 1,5m a 3,0m. Vzdálenost 0,5 m jsem zvolila jako aplikační a manipulační vzdálenost, 1,0 m jsem zvolila jako vzdálenost obsluhy gama kamer a 3,0 m jsem zvolila jako vzdálenost pro obsluhu výpočetních jednotek gama kamer. Tuto vzdálenost jsem určovala připraveným ukazatelem vzdálenosti viz. obrázek č 14. Ukazatel vzdálenosti jsem si připravila z kovové tyče a krejčovského metru, který jsem na tyč připevnila pomocí průhledné izolační pásky. Vzdálenost od pacienta jsem vždy důkladně odměřila připraveným ukazatelem vzdálenosti. Ukazatel vzdálenosti jsem vždy přiložila ke středu hrudní kosti a měřicí přístroj jsem umístila na danou vzdálenost. Poté jsem odměřila čas 20s od aplikace pomocí stopek a vizuálně jsem odečetla danou hodnotu na přístroji RM 552 GS. Jako první jsem po 20s odečetla dávkový příkon ze vzdálenosti 0,5m, poté 1,5m a nakonec ze 3,0m. Hodnoty jsem si u každého měření důkladně zapisovala. Zaznamenala jsem vždy i aplikovanou aktivitu pacientovi v MBq a daný druh radiofarmaka.

**Obrázek č. 13 :** Přístroj RM 552 GS



*Zdroj: autor práce oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s.*

**Obrázek č. 14 :** Ukazatel vzdálenosti.



*Zdroj: autor práce oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s.*

### **3.2 Vyhodnocení dat**

Získaná a změřená data byla porovnána s maximálními povolenými dávkami, které může obdržet zaměstnanec pracující se zdroji ionizujícího záření podle vyhlášky 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. Data byla zpracována do tabulek a grafů pomocí softwarového balíku MS- Office.

## 4. VÝSLEDKY

V této části byly zpracovány dávky z osobních TL dozimetrů čtyř zdravotních sester pracujících na oddělení nukleární medicíny v Nemocnici České Budějovice a.s. v měsíčních intervalech za posledních pět let. V měřeních je zahrnuta případná dovolená, nemocenská, střídání sester při aplikaci a obsluze příslušných gama kamer.

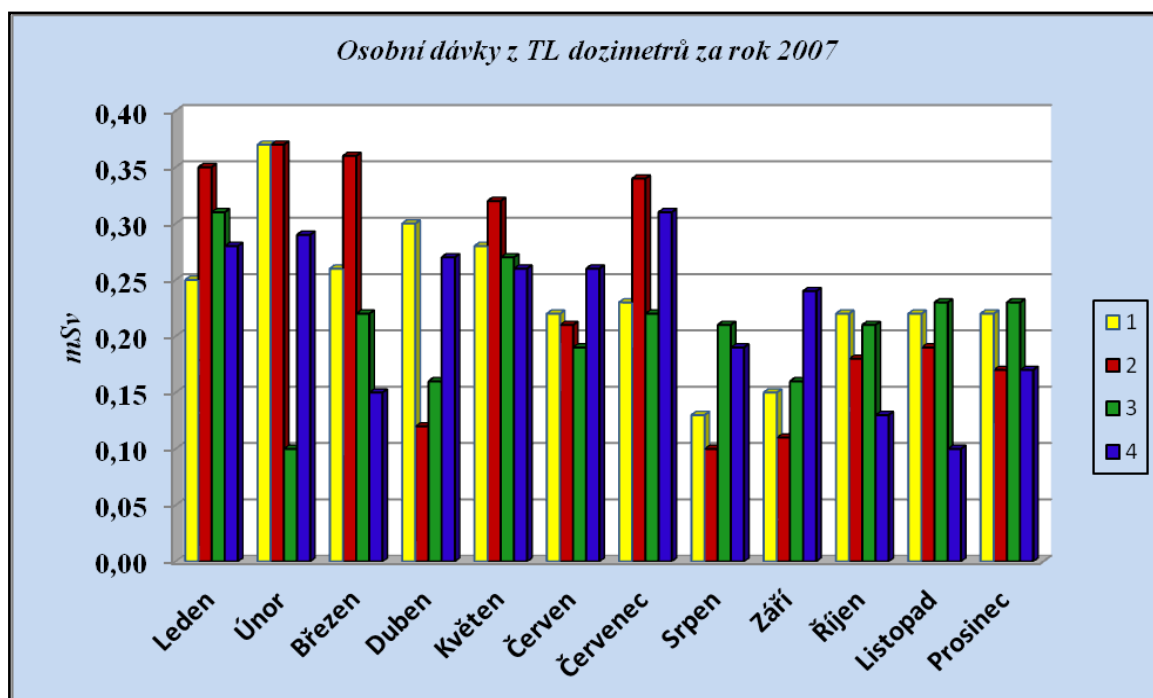
Hodnoty dávkového příkonu jsem porovнала s ohledem na vzdálenost od naaplikovaného pacienta, podané aktivity a podaného radiofarmaka. Radiofarmakum  $^{99m}\text{Tc}$  jsem měla možnost změřit několikrát. Měření jsem prováděla na oddělení nukleární medicíny v Nemocnici České Budějovice a.s. od 20. 2. 2012 do 2. 3. 2012. Hodnoty dávkového příkonu u radiofarmaka  $^{67}\text{Ga}$  jsem měřila na oddělení nukleární medicíny v Nemocnici České Budějovice a.s. Měření probíhalo v delším časovém úseku od února 2012 do dubna 2012 z důvodu, že toto radiofarmakum je používáno méně často než radiofarmakum  $^{99m}\text{Tc}$ . Dávkový příkon jsem měřila přístrojem RM 552 GS v  $\mu\text{Sv/hod}$ .

**Tabulka č. 9 :** Dávky z osobních TL dozimetrů čtyř zdravotních sester za rok 2007 v mSv.

<i>Osobní dávky z TL dozimetrů za rok 2007 v mSv</i>												
<i>zdr. sestra</i>	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
<b>1</b>	0,25	0,37	0,26	0,30	0,28	0,22	0,23	0,13	0,15	0,22	0,22	0,22
<b>2</b>	0,35	0,37	0,36	0,12	0,32	0,21	0,34	0,10	0,11	0,18	0,19	0,17
<b>3</b>	0,31	0,10	0,22	0,16	0,27	0,19	0,22	0,21	0,16	0,21	0,23	0,23
<b>4</b>	0,28	0,29	0,15	0,27	0,26	0,26	0,31	0,19	0,24	0,13	0,10	0,17

*Zdroj: Celostátní služba osobní dozimetrie*

Graf č. 1 k tabulce č. 9



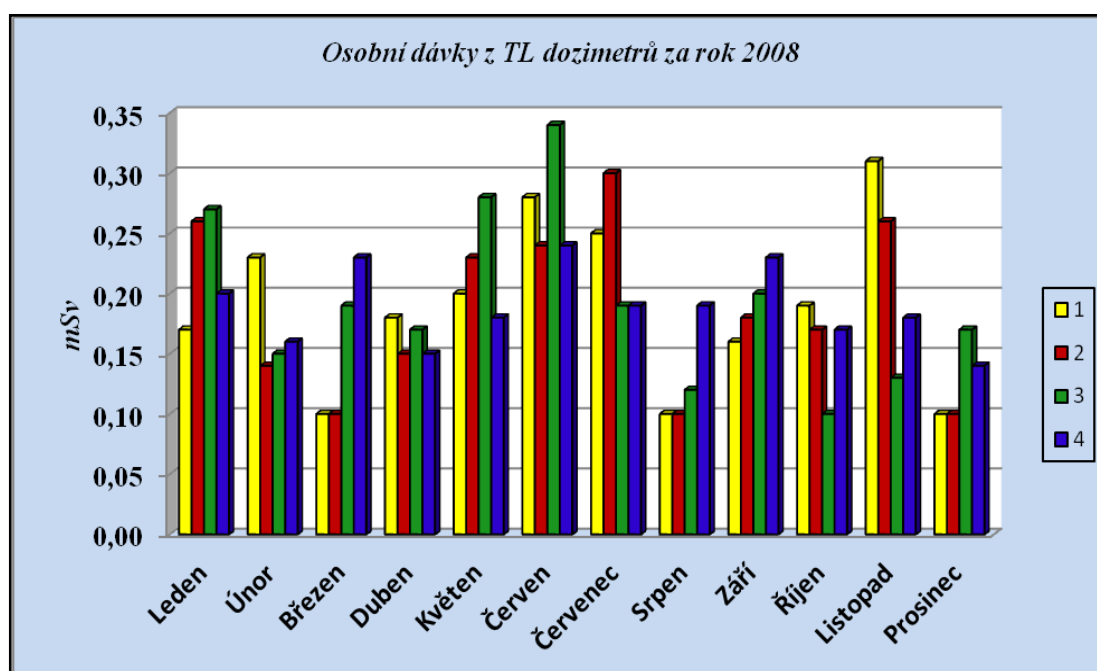
*Zdroj: Celostátní služba osobní dozimetrie*

**Tabulka č. 10 :** Dávky z osobních TL dozimetrů čtyř zdravotních sester za rok 2008 v mSv.

<i>Osobní dávky z TL dozimetrů za rok 2008 v mSv</i>												
<i>zdr. sestra</i>	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
<b>1</b>	0,17	0,23	0,10	0,18	0,20	0,28	0,25	0,10	0,16	0,19	0,31	0,10
<b>2</b>	0,26	0,14	0,10	0,15	0,23	0,24	0,30	0,10	0,18	0,17	0,26	0,10
<b>3</b>	0,27	0,15	0,19	0,17	0,28	0,34	0,19	0,12	0,20	0,10	0,13	0,17
<b>4</b>	0,20	0,16	0,23	0,15	0,18	0,24	0,19	0,19	0,23	0,17	0,18	0,14

*Zdroj: Celostátní služba osobní dozimetrie*

Graf č. 2 k tabulce č. 10



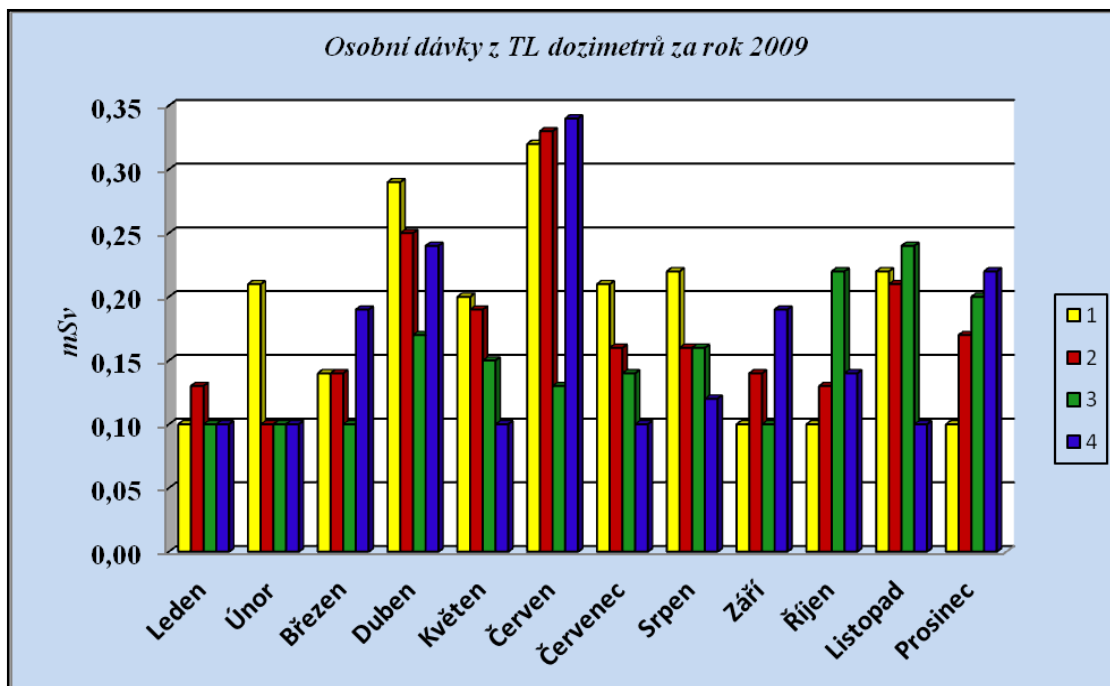
*Zdroj: Celostátní služba osobní dozimetrie*

**Tabulka č. 11 :** Dávky z osobních TL dozimetrů čtyř zdravotních sester za rok 2009 v mSv.

<i>Osobní dávky z TL dozimetrů za rok 2009 v mSv</i>												
<i>zdr. sestra</i>	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
<b>1</b>	0,10	0,21	0,14	0,29	0,20	0,32	0,21	0,22	0,10	0,10	0,22	0,10
<b>2</b>	0,13	0,10	0,14	0,25	0,19	0,33	0,16	0,16	0,14	0,13	0,21	0,17
<b>3</b>	0,10	0,10	0,10	0,17	0,15	0,13	0,14	0,16	0,10	0,22	0,24	0,20
<b>4</b>	0,10	0,10	0,19	0,24	0,10	0,34	0,10	0,12	0,19	0,14	0,10	0,22

*Zdroj: Celostátní služba osobní dozimetrie*

Graf č. 3 k tabulce č. 11



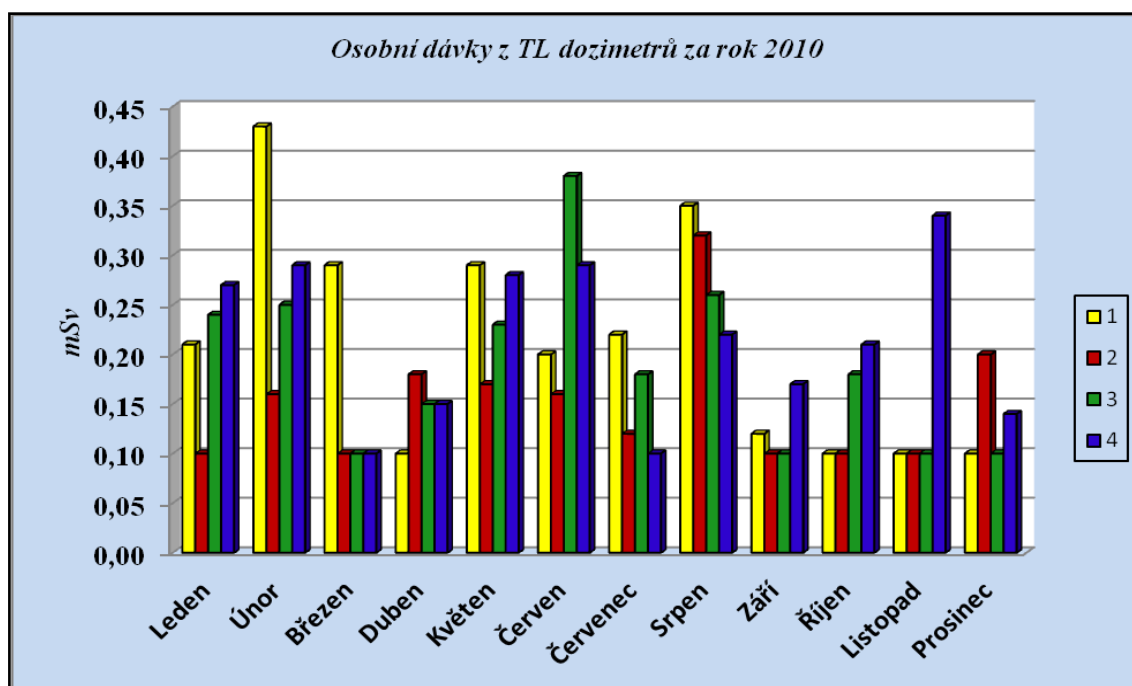
*Zdroj: Celostátní služba osobní dozimetrie*

**Tabulka č. 12 :** Dávky z osobních TL dozimetrů čtyř zdravotních sester za rok 2010 v mSv.

<i>Osobní dávky z TL dozimetrů za rok 2010 v mSv</i>												
<i>zdr. sestra</i>	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
<b>1</b>	0,21	0,43	0,29	0,10	0,29	0,20	0,22	0,35	0,12	0,10	0,10	0,10
<b>2</b>	0,10	0,16	0,10	0,18	0,17	0,16	0,12	0,32	0,10	0,10	0,10	0,20
<b>3</b>	0,24	0,25	0,10	0,15	0,23	0,38	0,18	0,26	0,10	0,18	0,10	0,10
<b>4</b>	0,27	0,29	0,10	0,15	0,28	0,29	0,10	0,22	0,17	0,21	0,34	0,14

*Zdroj: Celostátní služba osobní dozimetrie*

Graf č. 4 k tabulce č. 12



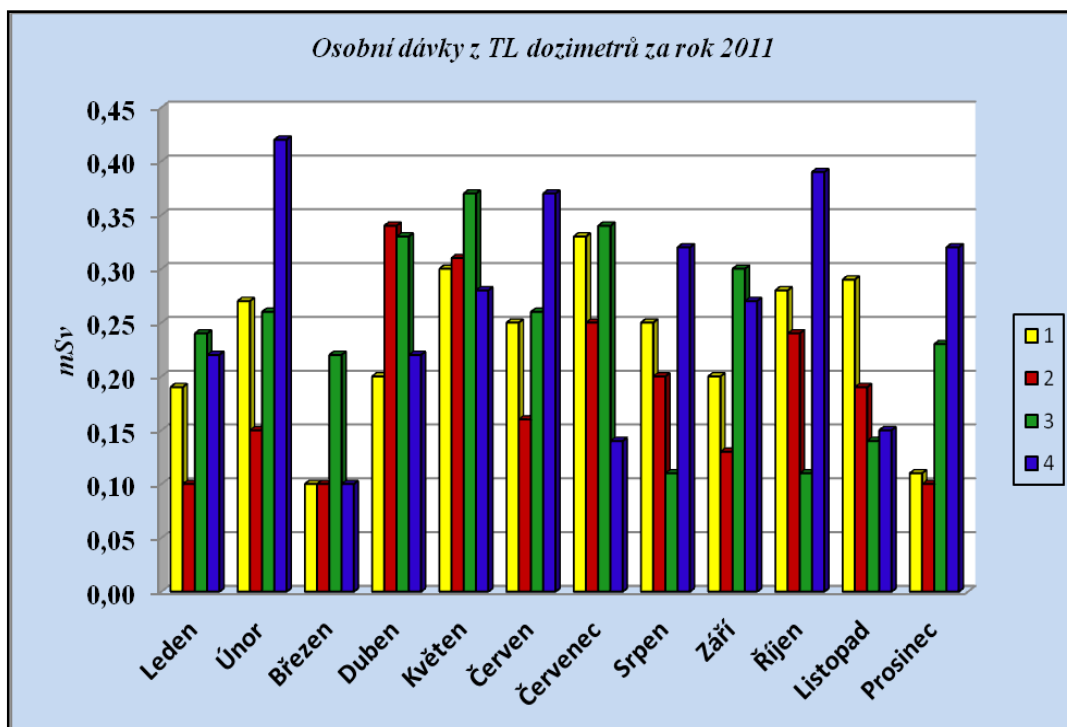
*Zdroj: Celostátní služba osobní dozimetrie*

**Tabulka č. 13 :** Dávky z osobních TL dozimetrů čtyř zdravotních sester za rok 2011 v mSv.

<i>Osobní dávky z TL dozimetrů za rok 2011 v mSv</i>												
<i>zdr. sestra</i>	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
<b>1</b>	0,19	0,27	0,10	0,20	0,30	0,25	0,33	0,25	0,20	0,28	0,29	0,11
<b>2</b>	0,10	0,15	0,10	0,34	0,31	0,16	0,25	0,20	0,13	0,24	0,19	0,10
<b>3</b>	0,24	0,26	0,22	0,33	0,37	0,26	0,34	0,11	0,30	0,11	0,14	0,23
<b>4</b>	0,22	0,42	0,10	0,22	0,28	0,37	0,14	0,32	0,27	0,39	0,15	0,32

*Zdroj: Celostátní služba osobní dozimetrie*

Graf č. 5 k tabulce č. 13



*Zdroj: Celostátní služba osobní dozimetrie*

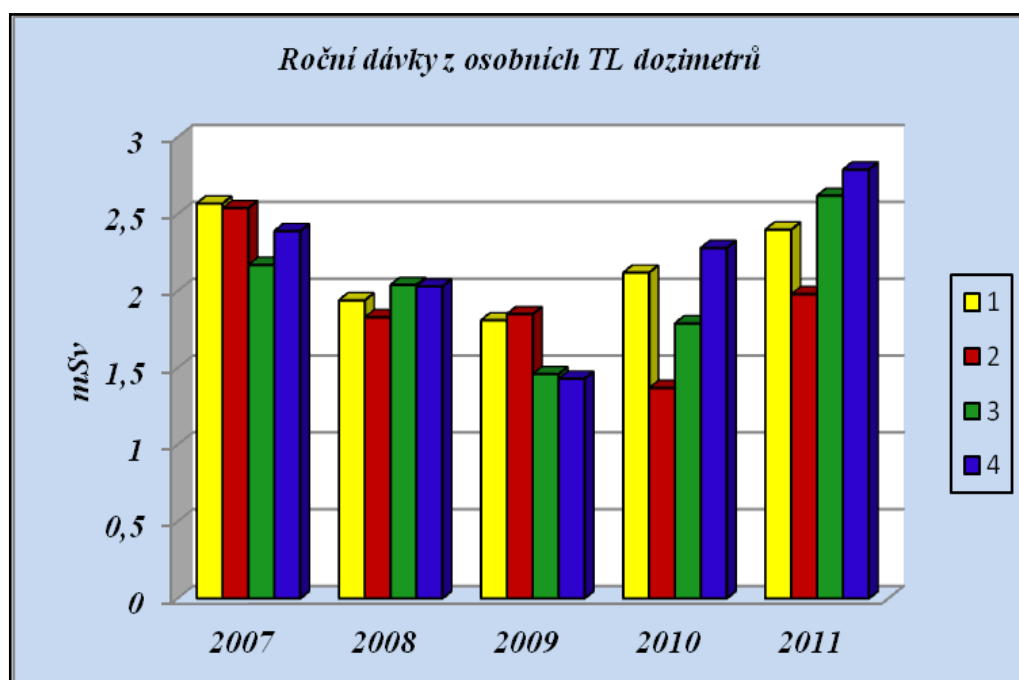


**Tabulka č. 14 :** Dávky z osobních TL dozimetrů čtyř zdravotních sester za posledních 5 let v mSv.

	<i>Roční dávky z osobních TL dozimetrů</i>				
<i>zdr. sestra</i>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
<b>1</b>	2,57	1,94	1,81	2,12	2,40
<b>2</b>	2,54	1,83	1,85	1,37	1,98
<b>3</b>	2,17	2,04	1,46	1,79	2,62
<b>4</b>	2,39	2,03	1,43	2,28	2,79

*Zdroj: Celostátní služba osobní dozimetrie*

Graf č. 6 k tabulce č. 14



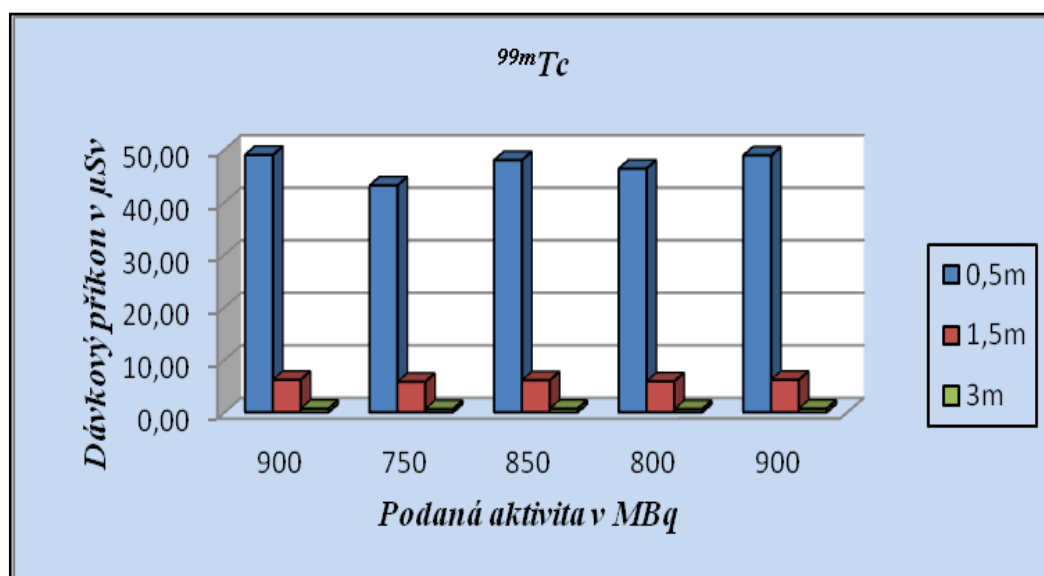
*Zdroj: Celostátní služba osobní dozimetrie*

**Tabulka č. 15 :** Hodnoty dávkového příkonu s ohledem na vzdálenost a podané aktivitě v MBq, pacienti u radiofarmaka  $^{99m}\text{Tc}$  v  $\mu\text{Sv/hod}$ .

	<i>Dávkový příkon v <math>\mu\text{Sv}</math> s ohledem na vzdálenost</i>		
<i>Podaná aktivita <math>^{99m}\text{Tc}</math> v MBq</i>	<i>0,5m</i>	<i>1,5m</i>	<i>3m</i>
<b>900</b>	49,00	6,20	0,70
<b>750</b>	43,20	5,80	0,60
<b>850</b>	48,00	6,10	0,70
<b>800</b>	46,40	5,90	0,60
<b>900</b>	48,90	6,20	0,70

*Zdroj: autor práce*

Graf č. 7 k tabulce č. 15



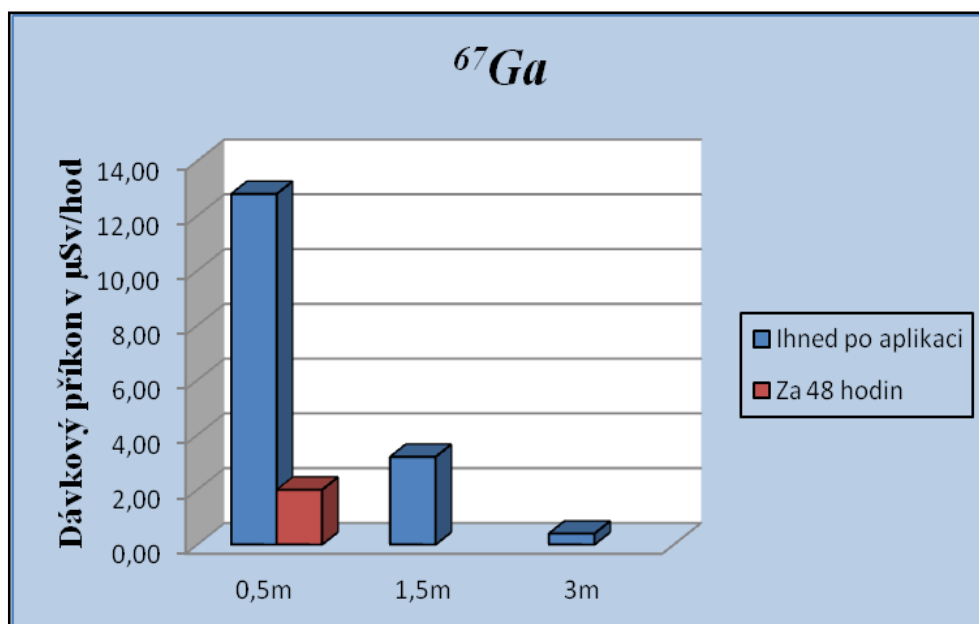
*Zdroj: autor práce*

**Tabulka č. 16 :** Hodnoty dávkového příkonu s ohledem na vzdálenost a podané aktivitě v MBq, pacientovi u radiofarmaka  $^{67}\text{Ga}$  v  $\mu\text{Sv/hod}$ .

	<i>Dávkový příkon v <math>\mu\text{Sv}</math> s ohledem na vzdálenost</i>		
<i><math>^{67}\text{Ga}</math> v podané aktivitě 190 MBq</i>	<i>0,5m</i>	<i>1,5m</i>	<i>3m</i>
<b>Ihned po aplikaci</b>	12,80	3,20	0,40
<b>Za 48 hodin</b>	2,00		

*Zdroj: autor práce*

Graf č. 8 k tabulce č. 16



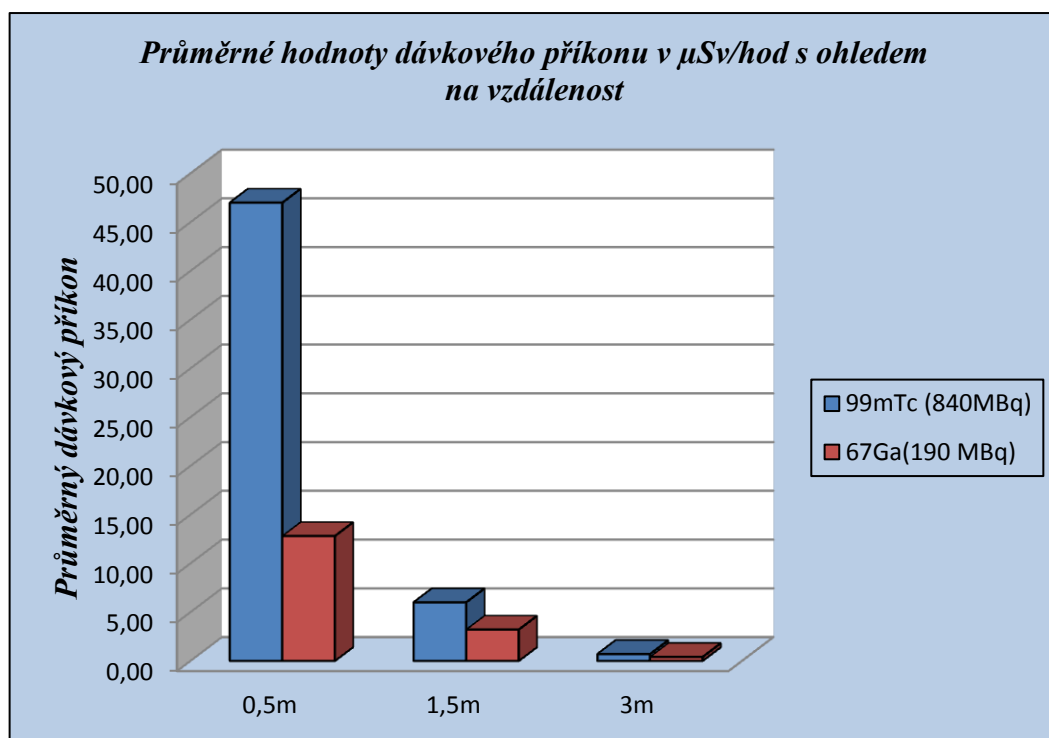
*Zdroj: autor práce*

**Tabulka č. 17 :** Průměrné hodnoty dávkového příkonu s ohledem na vzdálenost u radiofarmak  $^{99m}\text{Tc}$  a  $^{67}\text{Ga}$  v  $\mu\text{Sv/hod}$ .

	<i>Průměrné hodnoty dávkového příkonu v <math>\mu\text{Sv/hod}</math> s ohledem na vzdálenost</i>		
<i>Průměrné podané aktivity radiofarmak</i>	<i>0,5m</i>	<i>1,5m</i>	<i>3m</i>
$^{99m}\text{Tc}$ (840MBq)	47,00	6,00	0,70
$^{67}\text{Ga}$ (190 MBq)	12,80	3,20	0,40

*Zdroj: autor práce*

Graf č. 9 k tabulce č. 17



*Zdroj: autor práce*

## 5. DISKUZE

Ve své práci se zabývám dostatečnou radiační ochranou před ionizujícím zářením související s prací na oddělení nukleární medicíny v Nemocnici České Budějovice a.s. Se stanoveným cílem byla formulována hypotéza „Pacient po diagnostické aplikaci radiofarmak je zdrojem záření, radiační zátěž personálu je úměrná podané aktivitě pacientovi, nepřekročí povolené hodnoty a klesá se vzdáleností od pacienta“.

Pro zjištění nepřekročení povolené hodnoty osobních ekvivalentních dávek ionizujícího záření jsem zpracovala data do tabulek a grafů měsíční a roční hodnoty z osobních TL dozimetrů čtyř zdravotních sester pracujících na oddělení nukleární medicíny v Nemocnici České Budějovice a.s. za posledních pět let. Ani v jednom případě nepřekročily získané údaje z osobních TL dozimetrů povolené limity stanovené pro pracovníky na oddělení nukleární medicíny. Rozhodla jsem se změřit dávkové příkony ke zjištění klesání ionizačního záření se vzdáleností od naaplikovaného pacienta u nejpoužívanějších radionuklidů na oddělení nukleární medicíny v Nemocnici České Budějovice a.s., a to radionuklidu  $^{99m}\text{Tc}$  a  $^{67}\text{Ga}$ , vzhledem k naaplikované aktivitě pacientovi. Vzdálenost měření dávkového příkonu od naaplikovaného pacienta jsem si zvolila 0,5m, 1,5m a 3,0m. Ve vytvořených tabulkách a grafech je viditelné, že dávkový příkon je úměrný podané aktivitě a radionuklidu a klesá se vzdáleností od naaplikovaného pacienta. Získávání dat z osobních TL dozimetrů a samostatné měření dávkového příkonu jsem prováděla na oddělení nukleární medicíny v Nemocnici České Budějovice a.s. od února 2012 do dubna 2012.

Při měření jsem zjistila, že nelze rozdělit mé určené vzdálenosti na vzdálenost pro aplikační sestru, na vzdálenost pro obsluhu gama kamer a na vzdálenost pro obsluhu výpočetní jednotky pro ovládání gama kamer. I když je jedna ze čtyř sester určena na týden jako aplikační sestra, tak prochází přes centrální čekárnu oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s., ve které čekají již naaplikovaní pacienti na vyšetření a po dokončení všech aplikací jde pomáhat ostatním třem sestrám na ovladovny a vyšetřovny gama kamer. Stejně je to i s obsluhou samotných gama kamer a

výpočetních jednotek gama kamer. V mnoha případech přijede na vyšetření zmatený pacient a je nutné ho po celou dobu vyšetření držet, aby se nehýbal. A tím nelze říci, že 0,5m je aplikační vzdálenost, 1,5m je vzdálenost na ovládání gama kamer a 3,0m je vzdálenost pro ovládání výpočetních jednotek gama kamer. Z mého měření vyplývá, že největší dávkový příkon je při aplikaci radiofarmaka a klesá se vzdáleností od naaplikovaného pacienta a že je dávkový příkon úměrný podané aktivitě a druhu radiofarmaka.

Myslím si, že střídání aplikačních sester v týdenních intervalech je důležité a snižuje se tak radiační zátěž, která by mohla vzniknout, kdyby byla jen jedna sestra určena pro aplikaci radiofarmak. K překročení vyšetřovací úrovně u jedné sestry nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s. již v minulosti došlo. Důvodem byla nemožnost střídání sester, a to z personálního důvodu. Tím, že dnes je zajištěno pravidelné střídání hodnoty osobních ekvivalentních dávek ionizujícího záření jsou téměř rovnoměrné u všech čtyř zdravotních sester a tím se zlepšuje radiační ochrana pracovníků na oddělení nukleární medicíny v Nemocnici České Budějovice a.s.

## 6. ZÁVĚR

Na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s. jsem prováděla měření nejpoužívanějších radionuklidů aplikovaných pacientům a vyhodnotila jsem shromážděná data z osobních TL dozimetrů čtyř zdravotních sester za posledních pět let práce na oddělení. Výsledky jednotlivých částí mého výzkumu jsem přehledně zpracovala do tabulek a grafů a porovnála s danými hodnotami stanovených ve vyhlášce č. 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. Provedením mého měření a záznamem výsledků se mi podařilo splnit cíl, kde jsem měla zjistit, v jaké míře je pacient zdrojem záření po diagnostickém podání radiofarmak pro personál oddělení nukleární medicíny v Nemocnici České Budějovice a.s., tak i pro okolní pacienty v závislosti na vzdálenosti od aplikovaného pacienta, kterému bylo aplikováno radiofarmakum. Z výsledků mého měření lze jednoduše odvodit, že nejvyšší dávkový příkon a největší radiační zátěž pro personál je při aplikaci radiofarmaka. Samozřejmě velice záleží na druhu radiofarmaka a velikosti podané aktivity. Také se mi podařilo potvrdit hypotézu, která zněla „Pacient po diagnostické aplikaci radiofarmak je zdrojem záření, radiační zátěž personálu je úměrná podané aktivitě pacientovi, nepřekročí povolené hodnoty a klesá se vzdáleností od pacienta“. Mnou naměřené a získané hodnoty odpovídají daným limitům vyhlášky číslo 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb., které nebyly nikdy na oddělení nukleární medicíny v Českých Budějovicích a.s. překročeny. Naměřené a zpracované výsledky, které jsem získala jak vlastním měřením, tak i z osobních TL dozimetrů sledovaného souboru zaměstnanců oddělení nukleární medicíny, se pohybovaly v daných mezích bez výrazných výkyvů od standardních hodnot, které zaměstnanci obdrží.

Bakalářská práce může být využita jako přehled radiační ochrany na odděleních nukleární medicíny a může být vodítkem k ještě lepší ochraně zaměstnanců před účinky ionizujícího záření na oddělení nukleární medicíny.

## 7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1) ELLIOT, A. T. Quality Assurance. In.: *Praktical Nuclear Medicine* (Ed. by P. F. Scharp et al.). Oxford: Oxford University Press, 1998. ISBN 0-19-262842-9.
- 2) HUŠÁK, V., et al. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. [s.l.] : [s.n.], 2009. 139 s. ISBN 978-80-244-2350-0.
- 3) KOLEKTIV AUTORŮ. *Principy a praxe radiační ochrany*.: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. 619 s. ISBN 80-238-3703-6.
- 4) KOLEKTIV PRACOVNÍKŮ ÚSTAVU NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY 1. LF UK A VFN PRAHA. *Nukleární medicína*. Jilemnice: Gentiana, 2000. 147 s. ISBN 80-902133-9-1.
- 5) KOZLOVÁ, L. *Jak psát bakalářskou a diplomovou práci*. 2. vyd., České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých, 2009. 55 s. ISBN 978-80-7394-155-2.
- 6) KUPKA, K.- KUBINYI, J.- ŠÁMAL, M- a kol. *Nukleární medicína*. 1 vyd., Příbram, 2007. 186 s. ISBN 978-80-903584-9-2.
- 7) LANG, O. *Nukleární medicína I. Základní znalosti*. Praha 1, Ovocný trh 3 : Karolinum, 1998. 52 s. ISBN 80-7184-721-6.
- 8) MÍKOVÁ, V., et al. *Nukleární medicína: Průřez vyšetřovacími metodami v oboru nukleární medicína*. Na Bělidle 34, 150 00 Praha 5 : Galén, 2008. 118 s. ISBN 978-80-7262-533-8.
- 9) ROSINA, J.- KOLÁŘOVÁ, H.- STANEK, J. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. U Průhonu 22, Praha 7: Grada Publishing, a.s., 2006. 230 s. ISBN 80-247-1383-7.
- 10) Vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.



## Internetové odkazy

- 11) WIKIPEDIE. *Ionizující záření* [online]. [cit 2012-1-28]. Dostupné z : <  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Ionizuj%C3%ADc%C3%AD\\_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD#.C3.9A.C4.8Dinky\\_na\\_.C5.BEiv.C3.A9\\_organismy](http://cs.wikipedia.org/wiki/Ionizuj%C3%ADc%C3%AD_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD#.C3.9A.C4.8Dinky_na_.C5.BEiv.C3.A9_organismy) >
- 12) SJÚB. *Legislativa* [online]. [cit 2012-1-29] Dostupné z:  
<<http://www.sujb.cz/legislativa/>>
- 13) SJÚB. *Vyhláška č. 307/2002 Sb.* [online]. [cit 2012-3-6] Dostupné z:  
<[http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/307\\_po\\_novele.pdf](http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/307_po_novele.pdf), >

## **8. KLÍČOVÁ SLOVA**

Aktivita

Dávkový příkon

Ekvivalentní dávka

Ionizační záření

Nukleární medicína

Pacient

Radiační ochrana

Radiofarmaka

## **9. PŘÍLOHY**

Příloha A: Potvrzení o ověření stanoveného měřidla

Příloha B: Seznam obrázků

Příloha C: Seznam tabulek

Příloha D: Seznam grafů

## A: Potvrzení o ověření stanoveného měřidla



**Český metrologický institut**

Okružní 31, 638 00 Brno

tel. +420 545 555 111, fax +420 545 222 728, www.cmi.cz

**Pracoviště:** Inspektorát pro ionizující záření Praha, Radiová 1, 102 00 Praha 10  
tel. +420 266 020 111, fax. +420 266 020 466, e-mail: vsochor@cmi.cz

### POTVRZENÍ O OVĚŘENÍ STANOVENÉHO MĚŘIDLA

9 0 1 1 - P S - C 8 3 7 5 B / 2 0 1 2

**Datum vydání:** 3. dubna 2012

List 1 ze 2 listů

**Zákazník:** EMPOS spol. s.r.o.  
U Nových vil 170/18  
100 00 Praha 10

**Měřidlo:** RM 552GS

**výrobce:** TEMA

**výrobní číslo:** 0100

**Vlastník měřidla:** Nemocnice České Budějovice, a.s.  
*(je-li odlišný od* **B. Němcové 585/54**  
*zákazníka)* **370 01 České Budějovice**

**Použité etalony:** Sekundární etalon expozice a kermý ve vzduchu ČMI IIZ Praha  
Etalon je navázán na OMH (certifikát OMH č. DOZ-0012/2006 z 24.11.2006)

**Datum provedení:** 13. února 2012

**Místo provedení:** Dozimetrie fotonů - Český metrologický institut, IIZ Radiová 1, 102 00 Praha 10

**Podmínky měření:** tlak vzduchu: 98,7 kPa  
teplota okolí: 21,1 °C  
relativní vlhkost vzduchu: 15,7 %

**Ověření provedl:**

Bc. Jana Šmoldasová

Ing. Tomáš Tesar

jméno a příjmení



místo pro otisk velkého úředního razítka

**Ředitel organizační jednotky:**

Ing. Jiří Šurán, MBA

jméno a příjmení

*Toto potvrzení nesmí být bez písemného souhlasu ověřující laboratoře rozmnožováno jinak než v celkovém počtu listů.  
Potvrzení o ověření stanoveného měřidla se vydává jako nepovinný doklad na základě zvláštního požadavku zákazníka.*

## POTVRZENÍ O OVĚŘENÍ STANOVENÉHO MĚŘIDLA

List 2 ze 2 listů

**Metoda měření:** Ve svazcích záření  $^{137}\text{Cs}$  byla ověřována základní citlivost a linearita odezvy měřidla. Měřidlo bylo na všech dekádách měřicího rozsahu vystaveno různým úrovním příkonu kermy ve vzduchu, která byla přepočtena na veličinu, v níž je zobrazován údaj měřidla. Z naměřených hodnot byly stanoveny hodnoty  $\delta$ :

$$\delta = \frac{R_{\text{mer}} - R_{\text{ref}}}{R_{\text{ref}}} * 100 \%$$

kde  $R_{\text{ref}}$  je konvenčně pravá hodnota měřené veličiny,  
 $R_{\text{mer}}$  je údaj měřidla

Měřidlo při ověření splnilo požadavek, aby hodnoty  $\delta$  ležely v intervalu  $\pm 25\%$   
(Konvenčně pravá hodnota je realizovaná s nejistotou 3,5% ( $k=2$ ))

**Výrok o výsledku:** Na základě provedených měření a zkoušek je výše uvedené měřidlo

### ověřeno

ve smyslu zákona č. 505/90 Sb. v platném znění.

Ověření je potvrzeno vystavením tohoto potvrzení a opatřením měřidla úřední značkou.

Doba platnosti ověření je stanovena v souladu s § 9 odst. 2 zákona č. 505/1990 Sb. ve znění pozdějších předpisů a § 7 odst. 1 vyhlášky MPO č. 262/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů a končí dne

**31.12. 2014**

Doba platnosti ověření zaniká rovněž v případech uvedených v § 7 písm. a) až e) odst. 2 vyhlášky MPO č. 262/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

*Konec potvrzení.*



*místo pro otisk malého úředního razítka*

4011054 837518-12

*Toto potvrzení nesmí být bez písemného souhlasu ověřující laboratoře rozmnožováno jinak než v celkovém počtu listů.  
Potvrzení o ověření stanoveného měřidla se vydává jako nepovinný doklad na základě zvláštního požadavku zákazníka.*

## **Příloha B: Seznam obrázků**

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	<b>Strana:</b>
Obrázek č. 1: Generátor $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$	12
Obrázek č. 2: Přehled biologických účinků ionizujícího záření	13
Obrázek č. 3: Deterministické a stochastické účinky ionizujícího záření	14
Obrázek č. 4: Schéma ochrany pracovníků.	26
Obrázek č. 5: Zdroj záření.	27
Obrázek č. 6: Stínící ochranné pomůcky	28
Obrázek č. 7: Stínící olověné kryty stříkaček radiofarmak	28
Obrázek č. 8: Stínící olověné kryty stříkaček radiofarmak	29
Obrázek č. 9: Stínící přepravní vozík radiofarmak	29
Obrázek č. 10: Ochranná pracovní pomůcka, vesta, olověná guma	30
Obrázek č. 11: Stínící stěna s pozorovacím okénkem z Pb skla	30
Obrázek č. 12: Osobní TL dozimetr	40
Obrázek č. 13: Přístroj FH 40G	41
Obrázek č. 14: Ukazatel vzdálenosti.	42

## **Příloha C: Seznam tabulek**

### **SEZNAM TABULEK**

### **Strana:**

Tabulka č. 1: Fyzikální charakteristika radionuklidů-zářičů gama	10
Tabulka č. 2: Fyzikální charakteristika radionuklidů-zářičů beta	11
Tabulka č. 3: Základní limity stanovené vyhláškou č. 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.	16
Tabulka č. 4: Přehled kategorií pracovišť ve zdravotnických zařízeních, používaných zdrojů ionizujícího záření, metod a oborů.	19
Tabulka č. 5: Efektivní dávka pracovníků vztažena jen na 1. vyšetření pacienta.	31
Tabulka č. 6: Směrné hodnoty povrchové kontaminace, vybrány z tabulky přílohy 2 vyhlášky č. 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.	32
Tabulka č. 7: Diagnostické referenční úrovně pro vyšetření v nukleární medicíně dle vyhlášky č. 307/2002 Sb., v pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.	33
Tabulka č. 8: Hodnoty faktoru F pro výpočet aplikované aktivity RF v závislosti na tělesné hmotnosti vyšetřované osoby s platností i pro dětský věk	36
Tabulka č. 9: Dávky z osobních TL dozimetrů čtyř zdrav. sester za rok 2007 v mSv.	44
Tabulka č. 10: Dávky z osobních TL dozimetrů čtyř zdrav. sester za rok 2008 v mSv.	45
Tabulka č. 11: Dávky z osobních TL dozimetrů čtyř zdrav. sester za rok 2009 v mSv.	46
Tabulka č. 12: Dávky z osobních TL dozimetrů čtyř zdrav. sester za rok 2010 v mSv.	47
Tabulka č. 13: Dávky z osobních TL dozimetrů čtyř zdrav. sester za rok 2011 v mSv.	48
Tabulka č. 14: Dávky z osobních TL dozimetrů čtyř zdravotních sester za posledních 5 let v mSv.	49
Tabulka č. 15: Hodnoty dávkového příkonu s ohledem na vzdálenost a podané aktivitu v MBq, pacientovi u radiofarmaka $^{99m}\text{Tc}$ v $\mu\text{Sv/hod}$ .	50

Tabulka č. 16: Hodnoty dávkového příkonu s ohledem na vzdálenost a podané aktivitě v MBq, pacientovi u radiofarmaka  $^{67}\text{Ga}$  v  $\mu\text{Sv/hod}$ . 51

Tabulka č. 17: Průměrné hodnoty dávkového příkonu s ohledem na vzdálenost u radiofarmak  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  a  $^{67}\text{Ga}$  v  $\mu\text{Sv/hod}$ . 52



## **Příloha D: Seznam grafů**

### **SEZNAM GRAFŮ**

### **Strana:**

Graf č. 1 k tabulce č. 9	44
Graf č. 2 k tabulce č. 10	45
Graf č. 3 k tabulce č. 11	46
Graf č. 4 k tabulce č. 12	47
Graf č. 5 k tabulce č. 13	48
Graf č. 6 k tabulce č. 14	49
Graf č. 7 k tabulce č. 15	50
Graf č. 8 k tabulce č. 16	51
Graf č. 9 k tabulce č. 17	52