

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Měření dávek při laboratorních pracích na pracovišti nukleární
medicíny pomocí osobních dozimetrů**

Vypracovala: Jana Rusinová

Vedoucí práce: Ing. Jan Singer, CSc.

2009

Abstract

Dose Measuring during Laboratory Work in Nuclear Medicine Using Personal Dosimeters

One of the most important tasks of the radiation protection is to monitor the amount of external radiation in people who are during their working hours exposed to sources of ionizing radiation. Limits to these amounts are stated by law nr. 18/1997 of legal code (Law on peaceful uses of nuclear energy and ionizing radiation – the so-called “atom law”) and by regulation nr. 307/2002 of legal code (Regulation on radiation protection). To measure the amount of radiation received by the workers a special device is used – the dosimeter. There are various types of dosimeters – film, thermoluminescence, neutron, photoluminescence and also electronic ones. At the department of nuclear medicine in the České Budějovice Hospital, B.Němcové 584/54, České Budějovice, thermoluminescence dosimeters are used in practice for this purpose. These are provided by the National Service of Personal Dosimetry.

In this work, I compared the data obtained by a thermoluminescence dosimeter and the DMC 2000 XB personal electronic dosimeter made by the Merlin Gerin company. Based on the results of this comparison, it was my task to determine which of the two dosimeters shows more precision and efficiency and therefore would be more suitable for further use in nuclear medicine.

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Měření dávek při laboratorních pracích na pracovišti nukleární medicíny vypracovala samostatně a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny 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 ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 22. 4. 2009

.....

Jana Rusinová

Poděkování:

Ráda bych poděkovala především vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Singerovi, CSc. za metodické vedení práce, užitečné rady a připomínky. Dále děkuji primáři oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice, a.s. primáři MUDr. Ladislavu Šabatovi, fyzikovi Ing. Jindřichu Pěničkovi a zdravotním sestrám na oddělení za umožnění měření osobních dávkových ekvivalentů na pracovišti. Děkuji samozřejmě také za poskytnutí údajů efektivních dávek sledovaných pracovníků oddělení, které mi umožnily provést potřebné srovnání.

Seznam použitých zkratk:

CSOD ,s.r.o.	Celostátní služba osobní dozimetrie, s.r.o.
CT	computer tomography
DMC 2000 XB	typ elektronického dozimetru
DOSISMASS	Dosimeter Maintenance And Set-up Software
DTPA	kyselina diethylentriaminopentaoctová
EEC	European energy community
EPD	electronic personal dosimeter
GM detector	Geiger – Müllerův detektor
HMPAO	hexamethylpropylen amin oxim
ICRP	The International Commission on Radiological Protection
IEC	International Electro technical Commission
IZ	ionizující záření
KIS	komunikační informační systém
LDM 220	čtečka dozimetru
LED	Light Emitting Diode
MAA	makroagregovaný albumin
MAG 3	merkaptacetiltriglycerin
NM	nukleární medicína
PVC	polyvinyl chlorid
SPECT	single photon emission computed tomographic system
STAG	studijní agenda
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
TLD	termoluminiscence dosimeter
TL-detektor	termoluminiscenční detektor

Obsah

1. Úvod	8
<i>1.1. Nukleární medicína.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1.1. Radionuklidy a radiofarmaka.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1.2. Uspořádání pracoviště.....</i>	<i>12</i>
<i>1.1.3. Přístrojové vybavení</i>	<i>13</i>
<i>1.2. Současný stav radiační ochrany na pracovišti nukleární medicíny</i>	<i>13</i>
<i>1.2.1. Monitorování</i>	<i>13</i>
<i>1.2.1.1. Program monitorování pracoviště.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.1.2. Systém osobního monitorování.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.1.2.1. Referenční úrovně osobního monitorování</i>	<i>16</i>
<i>1.2.1.3. Systém monitorování výpustí a okolí pracoviště</i>	<i>18</i>
<i>1.2.2. Dozimetrie</i>	<i>19</i>
<i>1.2.2.1. Osobní dozimetrie</i>	<i>20</i>
<i>1.2.2.2. Vybrané veličiny a jednotky používané v dozimetrii.....</i>	<i>20</i>
<i>1.2.3. Kategorizace pracovišť</i>	<i>22</i>
2. Cíle a hypotézy	24
3. Metodika	25
<i>3.1. Typy osobních dozimetrů použitých při měření.....</i>	<i>25</i>
<i>3.1.1. Termoluminiscenční dozimetr</i>	<i>25</i>
<i>3.1.2. Elektronický dozimetr</i>	<i>26</i>
<i>3.2. Konkrétní informace o použitých dozimetrech.....</i>	<i>27</i>
<i>3.2.1. Technické parametry termoluminiscenčního dozimetru CSOD</i>	<i>27</i>
<i>3.2.1. Elektronický osobní dozimetr DMC 2000 XB</i>	<i>28</i>
<i>3.3. Postup při měření a vyhodnocování dávek</i>	<i>31</i>
4. Výsledky	33
5. Diskuse	36
<i>5.1. Činnosti měřitelné pomocí dozimetrů.....</i>	<i>36</i>
<i>5.2. Srovnání měřících schopností TL a os. EP dozimetru</i>	<i>37</i>

<i>5.3. Klady a zápory použitých dozimetrů</i>	<i>43</i>
6. Závěr	44
7. Seznam použité literatury	45
8. Klíčová slova	47

1. Úvod

Diagnostika nádorů nebo určení správné funkčnosti lidských orgánů se neobejde bez použití radiofarmak a scintigrafie. Přesně tyto úkony jsou součástí práce personálu na oddělení nukleární medicíny. Při všech činnostech, mezi ně řadíme přípravu radiofarmak, aplikaci, samotné vyšetření a konečné uskladnění, dochází k interakci ionizujícího záření s prostředím, hmotou a samozřejmě i biologickými objekty, lidmi.

Ionizující záření nemá pouze diagnostický význam, na větších odděleních se používá také k léčbě. Dávky záření nemusí vždy jen pomáhat. Pro pacienta jako takového se jedná o zanedbatelné množství záření, které je po vyšetření během dvou až tří dnů v největší míře močí vyloučeno z těla. Personál, který je však záření vystaven každý den, může být ohrožen negativními následky působení záření. Z tohoto důvodu jsou pomocí zákona stanoveny podmínky, které určují, jakými prostředky musí být zabezpečena optimální ochrana pracovníků.

Dozimetry nošené na referenčním místě jsou jedním z prostředků zabezpečení těchto podmínek. Přístroje zachycují, jakému množství záření byl daný pracovník vystaven. Podle získaných údajů je možné určit, zda personál není vystaven větším dávkám, než jaké povoluje zákon, a které by mohly poškodit zdraví.

Cílem práce je proto sledovat, zda tyto limity nemohou být překročeny u personálu oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice, a.s. Dalším bodem je srovnání měřících schopností dvou druhů dozimetrů, které pracují na odlišném principu. Jedná se o termoluminiscenční dozimetry, které jsou na oddělení v této době používány, a elektronické dozimetry, které budou pracovníci nosit jako referenční po určenou dobu.

1.1 Nukleární medicína

Nukleární medicína je interdisciplinární obor, který je založen na znalostech biologických, fyzikálních a matematických. Toto medicínské odvětví má převážně diagnostický charakter, s jehož pomocí můžeme poukázat na zánětlivá onemocnění, dále změny na cévách a také nádory. Z tohoto důvodu s oddělením nukleární medicíny spolupracují specializovaná oddělení, jakými jsou kardiologie, pneumologie, neurologie, nefrologie, ortopedie nebo například endokrinologie. Ve většině odborných pracovišť se setkáváme s diagnostickou částí, ale v České republice lze najít taková, která se věnují i léčebnému procesu, a tudíž je součástí oddělení i lůžková část. Mezi pracoviště s rozšířenou činností patří oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice, a.s., Boženy Němcové 585/54, České Budějovice. ²⁾

Běžným lékařským postupem je, že po předchozím vyšetření odborného lékaře je pacient s doporučením odeslán na oddělení nukleární medicíny. Zde po posouzení zdravotního stavu pacienta (v některých případech je nutno upravit krevní tlak nebo aplikovat uklidňující látky), je do organismu vpraveno radiofarmakum.

1.1.1 Radionuklidy a radiofarmaka ^{1) 2)}

Termínem radiofarmakum míníme chemickou sloučeninu, která obsahuje radionuklidovou složku. K tomuto účelu jsou užívány umělé radionuklidy s vhodnými fyzikálními charakteristikami, kterými jsou fyzikální poločas rozpadu, emise záření beta a gama a energie záření gama v rozmezí 30 – 511 keV.

Pro diagnózu se v NM používají zářiče gama (*in vivo*, *in vitro*). Při vyšetření *in vivo* se radiofarmakum aplikuje převážně intravenózně a dále se vhodnými přístroji detekujícími gama záření sledují fyziologické a biochemické procesy v těle, lokalizují se a diferencují patologické změny. Při vyšetření *in vitro* (radioimunoanalýza) se pracuje se vzorkem krve a pacientovi se radioaktivní látka neaplikuje.

Beta zářiče jsou naproti tomu používány častěji pro terapii některých nádorových onemocnění, například radiojód (karcinom štítné žlázy), stroncium chlorid

(paliativní terapie metastáz v kostech a yterbium koloid (lčba chronických kloubních onemocnění).

Tab. č. 1: Fyzikální charakteristiky radionuklidů (zářičů gama) používaných v nukleární medicíně a tloušťka stínící vrstvy potřebná k zeslabení dávkového příkonu na polovinu a desetinu hodnoty bez stínící vrstvy. ⁴⁾

Radionuklid	Poločas rozpadu	Energie záření gama [keV]	Vrstva materiálu zeslabující dávkový příkon na 1/2 a 1/10 [mm]	
			olovo	
			1/2	1/10
¹⁸ F	1,83 h	511	5	17
⁵¹ Cr	22,7 d	320	2	7
⁵⁷ Co	271,8 d	126, 137	0,2	1
⁵⁸ Co	70,8 d	511, 811	10	29
^{81m} Kr	13 s	190	0,6	2
⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc	2,75 d	140, 740	6	23
^{99m} Tc	6,02 h	140	0,2	1
¹¹¹ In	2,8 d	171, 245	0,7	3
¹²³ I	13,2 h	159	0,6	1,6
¹³¹ I	8 d	365	2,6	11

Tab. č. 2: Fyzikální charakteristiky radionuklidů (zářičů beta) používaných v nukleární medicíně a tloušťka stínící vrstvy materiálů potřebná k úplné absorpci záření beta. ⁴⁾

Radionuklid	Poločas rozpadu	Max. energie záření beta [keV]	Vrstva materiálu nutná pro úplnou absorpci záření beta [mm]	
			sklo	plastik
³ H	12,3 d	19	0,1	0,1
¹⁸ F	1,83 h	634	0,9	1,7
³² P	14,3 d	1710	3,4	6,3
⁸⁹ Sr	50,5 d	1492	2,8	5,3
⁹⁰ Y	2,7 d	2284	4,9	9,2
¹³¹ I	8,0 d	606	0,9	1,6

Tab. č. 3: Výběr nejčastěji používaných radiofarmak na pracovištích nukleární medicíny, obvyklá aplikovaná aktivita a efektivní dávka *E* pacienta spojená s tímto vyšetřením.

Radionuklid a radiofarmakum	Vyšetření	Obvyklá aplikovaná aktivita [MBq]	<i>E</i> [mSv]
^{99m} Tc-fosfáty	scintigrafie skeletu	700	3,5
^{99m} Tc-MAA	perfuzní scintigrafie plic	190	2,28
¹³¹ I-hippuran	nefrografie prostá	0,8	0,07
^{99m} TcO ₄	scintigrafie štítné žlázy	130	1,56
^{99m} Tc-MAG3	scintigrafie ledvin dynamická	200	1,6
^{99m} Tc-HMPAO	scintigrafie mozku perfuzní	740	7,4
^{99m} Tc-DTPA	scintigrafie ledvin dynamická	250	1,5
²⁰¹ Tl-chlorid	scintigrafie myokardu perfuzní	90	19,8

1.1.2 Uspořádání pracoviště

Pracoviště nukleární medicíny sestává ze čtyř hlavních částí. Jsou jimi místnost pro příjem, přípravu a kontrolu radiofarmak a další laboratorní práce; diagnostická část, lůžková část a místnost pro ukládání radioaktivních odpadů ³⁾.

Místnost pro laboratorní práce slouží pro přejímání radiofarmak od specializovaných firem, tzn. kontrola obsahu dodávky, evidence spotřebované aktivity radiofarmaka a data likvidace zbytku odpadu. Součástí činnosti na tomto úseku je příprava radiofarmaka, které je následně aplikováno pacientům (nejčastěji injekčně). K přípravě (převedení do lékové formy, měření potřebné aktivity a rozdělení do injekčních stříkaček) se využívá dobře odvětrávaný laminární box, aby se předešlo kontaminaci.

V diagnostické části oddělení se radiofarmakum aplikuje pacientovi. Po uplynutí určité doby potřebné pro vstřebání se z aplikační a následně čekací místnosti přesouvá do úseku vybaveného přístrojovou technikou vhodnou pro vyšetření a samozřejmě také proškoleným personálem. Po provedení potřebných kroků je pacient propuštěn, výsledky jsou lékaři popsány a následně buď přeneseny na digitální nosič a předány pacientovi, kaby je předal svému ošetřujícímu lékaři (po domluvě v případě, že lékař není v areálu nemocnice) nebo častěji pomocí KISu (komunikační informační systém) předány přímo lékaři.

Ve větších odděleních, která jsou vybavena také lůžkovou částí, se provádí např. léčba tyreotoxikózy (hyperthyreosy) perorální aplikací želatinových kapslí se značeným jódem (¹³¹I).

Radioaktivní odpad vznikající na pracovišti nukleární medicíny představují např. injekční stříkačky, jehly, lahvičky obsahující zbytky radioaktivity a kontaminované tampony, příp. prádlo. Je možno je odstranit různými způsoby, obvykle v závislosti na poločasu použitého radionuklidu. ¹⁾

Radionuklidy s poločasem kratším než 65 dní se obvykle nechají ve vhodném prostoru (vymírací místnost) fyzikálně rozpadnout a potom se odstraňují jako běžný neradioaktivní nemocniční odpad. Za minimální dobu ponechání odpadu na stíněném

místě se považuje 10 poločasů příslušného radionuklidu. Před likvidací je nutno obaly s odpadem proměřit vzhledem k radioaktivitě. Podle délky poločasu se radioaktivní odpad dělí na třídenní (^{99m}Tc), tříměsíční (^{67}Ga , ^{111}In , ^{201}Tl , ^{131}I), půlroční a dlouhodobý a podle obsahu příslušných radionuklidů se po dobu rozpadu skladuje odděleně. ⁴⁾

1.1.3 Přístrojové vybavení ¹²⁾

Pro radioizotopová vyšetření je oddělení nukleární medicíny v Českých Budějovicích vybaveno dvěma scintilačními kamerami, scintilačními sondami pro měření krevních vzorků a sondou pro měření orgánů. Pro trojrozměrné zobrazení vyšetřovaného orgánu je používána metoda SPECT (získání funkční charakteristiky orgánu), tato metoda je někdy doplněna CT snímkem, který umožňuje anatomické zobrazení požadované oblasti. Pro vyšetření srdce po zátěži je používána ergometrická soustava.

Pro přípravu radiofarmak se na pracovišti používá stíněný laminární box a pro radioaktivní značení krevních buněk samostatný laminární box.

1.2. Současný stav radiační ochrany na oddělení nukleární medicíny

Aby se předešlo nebezpečí, které by mohlo ohrozit personál, pacienty nebo životní prostředí, byly vyvinuty speciální modely ochrany. Prvním z nich je systém monitorování, tento model je upřesněn dozimetrickým měřením a závěrem je to rozdělení pracovišť na různé kategorie podle stupně nebezpečnosti.

1.2.1. Monitorování

Radiační monitorování slouží k měření veličin charakterizujících radiační pole a dozimetrických veličin, dále k interpretaci výsledků a hodnocení ozáření personálu a dalších osob. Monitorování je tudíž důležité pro zajištění optimálních pracovních podmínek a bezpečného provozu na odděleních, které pracují se zdroji ionizujícího

zařízení. Důležitost monitoringu spočívá hlavně ve včasném upozornění na odchylky od normálního provozu, radiační nehody a havárie.

Program monitorování zahrnuje tyto části:

- monitorování pracoviště,
- osobní monitorování,
- monitorování výpustí,
- monitorování okolí.

Program obsahuje mimo jiné veličiny, které budou monitorovány, způsob, rozsah a frekvenci jejich měření. Součástí jsou postupy a návody na vyhodnocení výsledků a měření a specifikace metod, jakými bude samotné měření probíhat. Dalším bodem je specifikace parametrů používaných typů měřících přístrojů a pomůcek.

Monitorování se podle typu praxe navrhuje jako:

- soustavné (nepřetržité) – spojeno s praxí, musí potvrzovat, že dané pracovní podmínky zůstávají bezpečné, v souladu s požadavky na povolení praxe,
- pravidelné (periodické) – opakuje se v určitých lhůtách a jeho cílem je opět potvrdit, že dané pracoviště je v souladu s podmínkami pro povolení praxe,
- operativní – provádí se při určité činnosti s cílem zhodnotit a zajistit přijatelnost činnosti z hlediska systému limitování a podmínek povolení praxe. ¹⁾

1.2.1.1 Program monitorování pracoviště ¹⁾

Monitoringem pracovního prostředí jsou získávány podklady pro posouzení současným podmínek na pracovišti, tzn., zda odpovídají podmínkám vydaného povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření; zda je včas zajištěn vznik odchylky (radiační nehody). V případě, že tomu tak není, zajišťuje také optimalizaci této situace do požadovaných parametrů.

Program monitorování se aktualizuje v případě, že dojde ke změnám:

- uspořádání pracoviště,
- používaných zdrojů ionizujícího záření, způsobu a podmínkách, jakými se s nimi nakládá,
- monitorovacích metod.

Nedílnou součástí monitorování pracovního prostředí je ověřování účinnosti radiační ochrany před zevním a vnitřním ozáření osob při zahájení práce a při změnách v pracovních postupech. Účinnost se sleduje měřením příkonu efektivní dávky, objemových aktivit a dalších veličin charakterizujících zdroje záření a pracovní místa.

1.2.1.2 Systém osobního monitorování ^{6) 7)}

Tento systém slouží k určení individuálního zevního a vnitřního ozáření jednotlivých osob nebo kolektivního ozáření skupiny osob. Pro tyto účely rozdělujeme radiační pracovníky do dvou skupin (vyhláška č. 307/2002 Sb. § 16). Rozřazení se provádí na základě očekávaného ozáření za běžného provozu a při předvídatelných poruchách a odchylkách za běžného provozu (nebereme v potaz radiační nehody a havárie).

Do kategorie A se řadí pracovníci, kteří by mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávku převyšující tři desetiny ročního limitu ozáření

pro oční čočku, kůži a končetiny. Hodnoty jsou definovány podle § 20 vyhlášky č. 307/2002 Sb. :

- 150 mSv za kalendářní rok pro oční čočku,
- 500 mSv za kalendářní rok na 1 cm² kůže,
- 500 mSv za kalendářní rok pro oblasti od prstů po předloktí pro horní končetinu a od chodidel po kotník pro dolní končetinu.

Obecně jsou limity pro radiační pracovníky kategorie A dány § 20 a to pro součet efektivních dávek ze zevního prostředí a úvazku efektivních dávek z vnitřního prostředí. Tyto mají hodnoty 100 mSv za pět po sobě jdoucích kalendářních roků a 50 mSv za jeden kalendářní rok. To znamená, že v případě, že zaměstnanec obdrží efektivní dávku 50 mSv za jeden kalendářní rok, může v následujících čtyřech letech obdržet dávku maximálně 50 mSv, aby se předešlo možným zdravotním rizikům.

Pracovníky kategorie A je pro zvýšená pracovní rizika nutno vybavit osobními dozimetry. Dále zajistit výměnu a vyhodnocení těchto přístrojů podle Úřadem stanoveného monitorování (platí také a přednostně v případě podezření nebo vzniku radiační nehody). To nařizuje § 24 odst. 4 body a) a b). Podle bodu c) téhož paragrafu musí být tito pracovníci seznamováni s výsledky vyhodnocení dávek z osobních dozimetrů. Aby se zamezilo možným zdravotním rizikům, jsou pracovníci pod lékařským dohledem, jehož podmínky a náležitosti jsou popsány v § 28 vyhlášky 307/2002 Sb.

Ostatní pracovníky řadíme do kategorie B.

1.2.1.2.1. Referenční úrovně pro osobní monitorování ¹⁾

Signalizace dosažení určité radiační situace vymezují v programu monitorování referenční úrovně. Jedná se o hodnoty, které jsou odvozeny od limitů stanovených pro radiační pracovníky. Jako tento limit je uvažována hodnota 20 mSv za rok.

V programu monitorování se referenční úrovně dělí do tří základních skupin:

- záznamové úrovně,
- vyšetřovací úrovně,
- zásahové úrovně.

Záznamová úroveň

Jak již název napovídá, jedná se o referenční úroveň; při překročení limitu je nutno údaj zaznamenat a evidovat. Úroveň je závislá na typu použitého dozimetru a schválené metodice používané příslušnou dozimetrickou službou.

Hodnota by měla být na úrovni 1/10 limitů nebo menší. Pro měsíční kontrolní období je tato hodnota stanovena pro efektivní dávku E 0,17 mSv a pro $H_p(0,07)$ 0,42 mSv.

U termoluminiscenčního dozimetru jsou tyto hodnoty rovny 0,10 mSv pro efektivní dávku E , 4 mSv pro osobní dávkový ekvivalent $H_p(0,07)$ pro jedno měsíční období. U elektronických dozimetrů jsou zaznamenávány všechny naměřené hodnoty.

Vyšetřovací úroveň

Překročením záznamové úrovně se posunujeme do úrovně vyšetřovací. Její překročení je důvodem k následnému šetření o příčinách a možných důsledcích zjištěného výkyvu sledované veličiny radiační ochrany.

Tato úroveň je zpravidla rovna 3/10 limitu, tedy 0,50 mSv pro efektivní dávku E pro měsíční kontrolní období. Bývá také stanovena jako horní mez hodnot vyskytujících se obvykle na daném pracovišti. V případě, že se hodnoty pohybují rutinně v konstantním rozmezí, lze po zdůvodnění a optimalizaci tuto hodnotu zvýšit na hodnotu vyšší než je vypočtená.

Zásahová úroveň

Zásahová úroveň je nejvyšší z referenčních úrovní. Její překročení je podnětem k zahájení nebo zavedení opatření ke změně zjištěného výkyvu sledované veličiny radiační ochrany. Úroveň je stanovuje na úrovni určeného limitu, tedy 20 mSv. V těchto případech se přesně uvádí, o jaký zásah se jedná a jakým postupem se o něm rozhoduje. Tato hodnota je také stanovena legislativou jako hodnota, která je oznamovaná SÚJB spolu s přehledem příčin a přijatými závěry. Je možné použít tuto hodnotu jako zásahovou úroveň pro monitorovací období i pro roční dávku.

Referenční úrovně jsou často sledovány v průběhu roku ve veličinách $H_p(10)$ a $H_p(0,07)$. Až při překročení úrovně jsou přepočítávány na efektivní dávku, která je v závislosti na energii a typu záření nižší než $H_p(10)$. Vyhodnocování se provádí pro roční a pětileté časové období.

Je důležité sledovat celkovou dávku v průběhu roku a reagovat požadovaným způsobem na překročení hodnoty 20 mSv způsobené sčítáním měřených hodnot. Pokud jsou ale řádně sledovány a šetřeny všechny případy překročení referenční úrovně, dochází k těmto případům velmi výjimečně.

Stejným způsobem se postupuje v případě stanovení referenčních úrovní pro ekvivalentní dávku ve stanovených orgánech či tkáních.

1.2.1.3 Program monitorování výpustí a okolí pracoviště

Všude, kde dochází k práci s radioaktivním materiálem, je součástí zneškodňování radioaktivních odpadů jejich řízeným vypouštěním. Protože by mohlo dojít k úniku určitého množství odpadu do okolí, je důležité monitorovat tyto výpustí, aby se tomuto problému předešlo. Do programu patří i zhodnocení důsledků případného úniku na obyvatelstvo v okolí pracoviště a životní prostředí. Monitorování výpustí zabezpečuje ten, kdo radioaktivní látky vypouští. Vypouštěné látky musí být

monitorovány tak, aby aktivita radionuklidů mohla být porovnána se stanoveným limitem (evidence).

1.2.2 Dozimetrie

Dozimetrie je obor, který se zabývá problémy, které přináší ionizované záření. V bližším pohledu jsou to zdroje ionizujícího záření, interakce záření s hmotou, speciálním případem je interakce s živou hmotou.

Zdroje ionizujícího záření můžeme dělit podle tvaru (bodové, plošné, objemové), ale i podle dalších parametrů. Sem řadíme například typ a energii záření nebo poločas rozpadu či aktivitu. Tyto parametry určují, jaké množství záření se dostane do okolí a jaká část se v samotném zdroji pohltí.

Dalším bodem je vztah mezi zdrojem ionizujícího záření a polem, které kolem sebe vytváří. Víme, že ionizující záření se šíří všemi směry, a proto na tomto základě definujeme veličiny typu fluence, hustota toku atd., uvažujeme-li pole v reálném prostředí, jedná se o interakci s hmotou. Zjednodušeně řečeno, efekt je tím silnější, čím větší je hustota částic nebo hustota částíček okolí.⁵⁾

Speciálním typem je interakce s živou hmotou, kterou míníme především lidský organismus. Tímto projevem ionizujícího záření se zabývají osobní dozimetrie, radiační kontrola okolí a klinická dozimetrie. Všechny zkoumají možnosti ochrany ionizujícího záření v různých oblastech lidské existence. Snaží se snížit možnosti poškození buď na nulovou hodnotu, nebo na co nejmenší postižení organismu. Toho lze dosáhnout aktivní ochranou, tzn. snížením hustoty toku ionizujícího záření (např. snížení aktivity radionuklidu) nebo pasivně. Tímto termínem míníme pohyb v nebezpečném prostředí po co nejkratší možný čas, dále vyskytovat se v dostatečné vzdálenosti od zářiče a na závěr používat vhodné oblečení a pomůcky k odstínění záření. Abychom dosáhli lepších výsledků, můžeme ochranu podpořit výpočty veličin, které charakterizují jednotlivé jevy týkající se ionizovaného záření. K ověření účinnosti ochrany používáme dále speciální přístroje, tzv. dozimetry.

1.2.2.1 Osobní dozimetrie ⁹⁾

První zárodky nové disciplíny jsou datovány do 20. let 20. století, kdy se začaly rozvíjet metody měření ionizujícího záření. Od druhé světové války se zvětšoval počet pracovníků v oblasti ionizujícího záření a tím také zájem o osobní dozimetrii. V 70. letech 20. století vznikla osobní dozimetrie jako vědní obor, za což mohl také rozvoj jaderné energetiky, výroba a aplikace umělých radionuklidů ve zdravotnictví. Rozšiřoval se rozsah typů a energií záření, rozsah měřených dávek, zejména směrem k nižším hodnotám pod 1 mSv.⁵⁾

Vznikali specializované kolektivy, které se podílely na vývoji osobních dozimetrů. Ionizační komůrky, které se používaly v 60. letech, byly nahrazeny filmovými, termoluminiscenčními a později elektronickými dozimetry. Pro měření havarijních dávek (vyšší hodnoty než 1 Sv) fotonů a neutronů byly vyvíjeny dozimetry chemické, aktivační nebo radiofotoluminiscenční.

V 80. a 90. letech se výroba osobních dozimetrů zkomercializovala a v dnešní době si již práci v prostředí, ve kterém uvažujeme možnou přítomnost ionizovaného záření, nelze představit. V třetí části se seznámíme s dvěma typy dozimetrů, které byly použity k měření v bakalářské práci.

1.2.2.2 Vybrané veličiny a jednotky používané v dozimetrii ^{1) 5)}

- fluence - $\Phi = \frac{dN}{da}$, $\Phi^- = \text{m}^{-2}$ (1)

- udává rozložení pole záření, jinými slovy charakterizuje, jaké množství částic prošlo daným prostorem

- hustota toku částic - $\varphi = \frac{dn}{da}$, $\varphi^- = \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (2)

- určuje tok částic, který dopadl na určenou plochu za jednotku času

- dávka - $D = \frac{d\varepsilon}{dm}$, $\mathbf{D} = \text{Gy}$ (3)

- charakterizuje množství sdělené energie, kterou ionizující záření předalo objemové jednotce látky, se kterou interagovalo

- kerma - $K = \frac{dE_k}{dm}$, $\mathbf{K} = \text{Gy}$ (4)

- veličina vzorce podobná dávce, kde nám E_k , čili součet počátečních kinetických energií všech nabitých částic v hmotě, uvádí, kolik těchto částic interagovalo s nenabitými částicemi v téže hmotě

- ekvivalentní dávka - $H_T = \sum w_R \cdot D$, $\mathbf{H}_T = \text{Sv}$ (5)

- součet součinů absorbované dávky v tkáni a radiačního váhového faktoru (T ...typ tkáně, R...typ záření)

- efektivní dávka - $E = \sum w_T \cdot H_T$, $\mathbf{E} = \text{Sv}$ (6)

- suma všech ekvivalentních dávek ve všech tkáních a orgánech lidského těla

- dávkový ekvivalent - $H = D \cdot Q$, $\mathbf{H} = \text{Sv}$ (7)

- součin absorbované dávky v uvažovaném bodě tkáně a jakostního činitele

- osobní dávkový ekvivalent - $H_p(10), H_s(0,07)$, $\mathbf{H}_x = \text{Sv}$ (8)

- dávkový ekvivalent v daném bodě pod povrchem těla v hloubce d

- kolektivní efektivní dávka - $S = \sum E$ (9)

- suma efektivních dávek všech pracovníků ve stanoveném období

- kolektivní dávkový ekvivalent - $S^* = \sum H_p$ (10)
 - suma osobních dávkových ekvivalentů všech pracovníků ve stanoveném období

1.2.3 Kategorizace pracovišť^{6) 7)}

Pracoviště, ve kterých se vykonávají radiační činnosti, se kategorizují vzestupně podle ohrožení zdraví a životního prostředí ionizujícím zářením na pracoviště I. až IV. kategorie. Dělí se podle:

- klasifikace zdrojů ionizujícího záření, u kterých se předpokládá, že se s nimi bude na pracovišti zacházet,
- očekávaného provozu pracoviště a související míry možného ozáření pracovníků a obyvatelstva,
- zaměření radiační činnosti a náročnosti na zajištění radiační ochrany,
- 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 okolí radionuklidů,
- možnosti vzniku radioaktivních odpadů a náročnosti jejich zneškodnění,
- potencionálního ohrožení plynoucím z předvídaných poruch a odchylek od běžného provozu,
- rizika vzniku radiační nehody nebo havárie, závažnosti následků takové události a možnosti zásahů.

Pracoviště nukleární medicíny se zařazují do I., II. nebo III. kategorie podle předpokládaného charakteru prací a zpracovávaných aktivit radionuklidů. Na pracovištích III. kategorie, musí být zřízen samostatný kanalizační rozvod pro vypouštění radioaktivních odpadních vod z pracoviště. Tento rozvod je napojen na samostatnou zachytnou nádrž, která se nejčastěji nachází v rámci čističky celého

zdravotnického zařízení. U pracovišť I. a II. kategorie se odpadní vody vypouštějí přímo do společné kanalizace nebo vodoteče, v tomto případě se používá princip naředění odpadní vodou z ostatních oddělení nemocnice. V případě, že se jedná o odpady o vyšší aktivitě než je přípustná pro vypuštění po naředění do volné přírody (překračují uvolňovací úroveň), jsou nejdříve po určitou dobu skladovány v záchytných vymíracích nádržích. Pro zajímavost dodejme, že do pracoviště III. kategorie řadíme např. pracoviště pro těžbu a zpracování uranové rudy, pracovištěm IV. kategorie je pak jaderné zařízení či sklad vyhořelého jaderného paliva.

2. Cíle a hypotézy

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit možné činnosti, které jsou měřitelné pomocí dozimetrů během běžných pracovních úkonů na pracovišti nukleární medicíny. Dalším bodem je srovnání měřících schopností dvou druhů přístrojů pracujících na odlišném principu. Jedná se o termoluminiscenční dozimetr dodávaný společností CSOD, s.r.o., který je na pracovišti v současné době používám k zajištění optimální ochrany a včasné detekci množství záření, které by mohlo ohrozit zdravotní stav personálu. Druhým přístrojem je elektronický personální dozimetr DMC 2000XB.

Hypotézou je, že pracovníci na oddělení mohou být vystaveni působení ionizujícího záření ve větší míře než je přípustné.

3. Metodika

3.1 Typy osobních dozimetrů použitých při měření dávek

3.1.1 Termoluminiscenční dozimetr

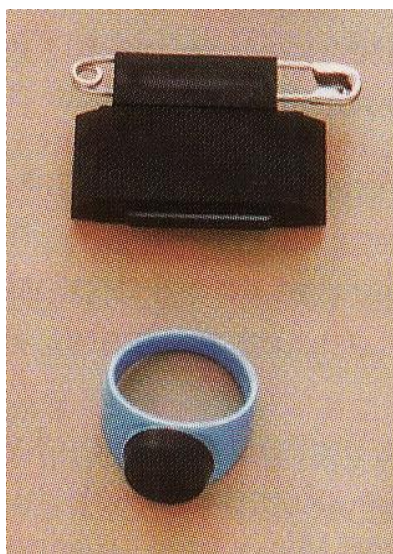
Termoluminiscenčními dozimetry jsou vhodné krystalické látky, u kterých ionizující záření vyvolává excitaci a zachycení elektronů v energeticky vyšších stavech. Při zahřátí jsou potom elektrony uvolňovány. Krystalická látka vyzařuje světlo (fotony s maximem o vlnové délce 200 – 600 nm). Celková energie světla je úměrná energii ionizujícího záření pohlceného v látce. K detekci jsou používány scintilační detektory. Používají se různé druhy TL- materiálů, přičemž mezi nejvíce používané patří různými prvky dopované LiF, CaF₂ nebo MgBeO₄.

V dřívější době se TL-detektory používaly spíše jako operativní dozimetry, nyní jsou běžné hromadné aplikace v celostátních službách osobní dozimetrie. ¹⁾ Z tohoto důvodu byly vyvinuty standardizované detektory a vyhodnocovací systémy dovolující automatické vyhodnocování (pomocí počítačové techniky).

Mezi přednosti termoluminiscenčních detektorů patří:

- existence termoluminiscenčních látek s vlastnostmi blízkými lidské tkáni (energie je citlivému objemu detektoru sdělována podobnými procesy jako stejnému objemu lidské tkáně),
- vysoká citlivost a možnost přesného měření odezvy,
- poměrně široká oblast lineární závislosti dávka – odezva detektoru,
- možnost mnohonásobného použití detektoru (s nutností sledovat změny citlivosti detektoru při opakovaném použití).

Naopak jejich nevýhodou je citlivost detektorů na světlo, která vyžaduje při praktickém používání ochranu světlotěsným obalem. Tyto problémy mohou nastat při použití detektorů v dozimetrii záření beta. ¹⁾



Obr. č. 1: Ukázka termoluminiscenčního a prstového (spodní obr.) dozimetru.

3.1.2 Elektronický dozimetr ¹⁾

S vývojem miniaturizace elektroniky, výpočetní techniky, s jejich ekonomickou dostupností nabyly na významu elektronické osobní dozimetry. Přístroje zpravidla pracují na bázi GM – detektorů (vhodně kompenzované detektory jsou schopny detekovat fotony o energii vyšší než 30 keV), či v poslední době polovodičových – Si-detektorů. Elektronické dozimetry s třemi Si – diodami 21 (z nichž každý má jinou energetickou závislost) umožňují současné měření několika dozimetrických veličin – $H_p(10)$, $H_p(0,07)$ – někdy označovaný jako $H_s(0,07)$, a to odděleně pro záření gama a beta (s energií vyšší než 250 keV). Elektronické dozimetry, jež jsou obvykle signální, lze použít jak pro měření dávky, tak dávkového příkonu.

Z počátku se používaly jako operativní dozimetry zejména v jaderných elektrárnách, v poslední době se jejich použití rozšiřuje i do jiných oblastí a začínají se používat dozimetrickými službami i jako legální dozimetry – tzn. autorizované pro hodnocení ozáření osob ve vztahu k limitům. Při spojení elektronického dozimetru s kódovanou kartou a s počítačovým vyhodnocením odezvy dozimetru lze stanovit nejen dávku, kterou osoba obdržela v daném časovém intervalu, ale i v kterém pracovním

místě, příp. při jaké pracovní činnosti. Systém dovoluje i celostátní automatizovanou registraci dávek a jejich hodnocení.

Vývoj těchto dozimetrů pokračuje a určitě bude i nadále pokračovat tak, aby byla postupně odstraněna všechna závažnější omezení jejich použití jako legálních dozimetrů v praxi (např. vliv vysokofrekvenčních elektromagnetických polí na odezvu dozimetru).

3.2 Konkrétní informace o použitých dozimetrech

Tato kapitola konkrétně pojednává o přístrojích, které byly při měření použity. Prvním z nich je termoluminiscenční dozimetr společnosti CSOD (Česká společnost osobní dozimetrie s. r. o.), který pro registraci záření používají pracovníci oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a. s., Boženy Němcové, České Budějovice. Druhým přístrojem je elektronický osobní dozimetr vyrobený firmou Merlin Gerin, typu DMC 2000 XB.

3.2.1 Technické parametry termoluminiscenčního dozimetru CSOD: ¹¹⁾

Určení: dozimetr slouží k osobní dozimetrii fotonů s energií vyšší než 30 keV, případně elektronů s energií vyšší než 2 MeV. Poskytuje informace o osobním dávkovém ekvivalentu fotonového záření, případně vyšších energií elektronů.

Složení: termoluminiscenční detektor v pouzdře z plastické hmoty s kompenzačním filtrem

Měřená veličina: efektivní dávka $E = H_p(10) * 0,9$ (dle ICRP 74)

Rozsah měření: 0,1 mSv – 5 Sv s nejistotou do $\pm 25 \%$

Hodnoty nižší než 0,1 mSv nejsou vzhledem k nejistotě měření ve výsledcích uváděny, od hodnoty 0,05 mSv se však uchovávají pro roční hodnocení efektivní dávky E , pro kterou platí $E = H_p(10) * 0,9$

Rozsah energie záření: 30 keV – 15 MeV pro fotonové záření (záření rtg a gama)

Vlivy na dozimetr a jeho hodnocení:

- odolnost mechanická: nevadí otřesy a tlaky vyskytující se při běžných manipulacích
- odolnost k vlhkosti: dozimetr lze otírat vlažnou vodou a očistit vatou zvlhčenou lihem
- teplotní rozsah: -10 °C do +40 °C
- odolnost chemická: škodí rozpouštědla, zejména chlorovaná

3.2.2 Elektronický osobní dozimetr DMC 2000 XB ^{8) 10)}

Jedná se o nejnovější dozimetr typu DMC 2000, který je v dnešní době uveden na trh. Dříve byly společností Merlin Gerin uvedeny na trh ještě modely DMC 2000 S a X. Používání všech modelů je identické, ale nejnovější z nich umožňuje zaznamenat a následně na displeji zobrazit sekundární měření.

Přístroj je tvořen PVC pouzdem, které vydrží pád z výšky 1,5 m, dvou křemíkových detektorů, elektronických obvodů a Li-Mn baterie. Hodnoty naměřené přístrojem lze odečíst přímo z displeje nebo pomocí čtečky LDM 220 převést do programu DOSISMASS. Prahy alarmů lze nastavit jak přímo v přístroji nebo za použití počítačové techniky.

Dozimetr pracuje ve dvou základních režimech: PAUSE a MEASUREMENT (měření). V režimu PAUSE se měření neprovádí, jedná se tedy o klidový režim. Tento stav se používá k nastavení alarmů a předalarmů, odečtení všech dříve zaznamenaných údajů a celkově k modifikaci všech parametrů. Klidový režim je také stavem s minimální spotřebou. V druhém režimu se provádí a zobrazuje samotné měření a může dojít k aktivaci alarmu při překročení prahu.



Obr. 2: Elektronický osobní dozimetr DMC 2000 XB (1 – střed detektoru, 2 – vstupní okénko pro detekci záření, 3 – funkční tlačítko, 4 – kryt baterie).

Technické parametry:

Detekované záření: Gama a X-záření, beta

Typ detektoru: energeticky kompenzovaná Si dioda

Rozsah měření:

- dávka: spodní mez – 1 μSv ; horní mez – 10 Sv

- dávkový příkon: spodní mez – 10 $\mu\text{Sv/h}$; horní mez – 10 Sv/h

Kalibrace: lepší než $\pm 5\%$ (CS-137) při 0,2 mSv/h, $H_p(10)$

Energetická odezva: $H_p(10)$, 20 keV - 3 MeV menší než $\pm 30\%$;

3 MeV až 6 MeV menší než $\pm 50\%$

Linearita dávkového příkonu: menší než $\pm 10\%$ do 1 Sv/h;

menší než $\pm 25\%$ od 1 Sv do 10 Sv

Saturace: optická indikace přetečení od 10 Sv/h, dosažení saturace až při 50 Sv/h

Izotropie: dle normy IEC 1283

Doba odezvy: dle normy IEC 1283

Napájení: LiMnO_2 článek CR 2450 RENATA nebo TOSHIBA

Doba nepřetržitého provozu: při běžném používání 8 -12 měsíců do vybití baterie

Ochrana proti elmag. rušení: v souladu s normami EEC (89/336 a 73/23) a testováno až
do 40 Ghz při 10 V/m

Alarmy: zvukový: 85 dB ve 30 cm; optický: červená LED a blikající displej

Prahy alarmů: pro dávku, dávkový příkon nastavitelné v celém měřicím rozsahu

Teplotní rozsah: provozní: - 100 °C až + 500 °C,
skladovací: - 300 °C až + 700 °C

Vlhkost: menší než 90% při 420 °C

Mechanická odolnost: odolný vůči rázům, vibracím a pádům

Rozměry: 84 x 48 x 17,5 mm

Hmotnost: 56 g včetně baterie

3.3. Postup měření a vyhodnocení dávek

Nukleární medicína je, jak již bylo zmíněno dříve oddělení, na kterém je povinností řídit se bezpečnostními pravidly, které jsou stanoveny zákonem č. 18/1997 Sb. a vyhláškou č. 307/2002 Sb. Součástí těchto pravidel, jsou také podmínky pro vyhodnocování dozimetrů a místo, na kterém jsou umístěny pro zaručení správných a vypovídajících výsledků.

Protože se předpokládá, že pracovník bude s největší pravděpodobností v čelním střetu se zářením, umísťuje se dozimetr na tzv. referenční místo, za které se striktně považuje levá horní část hrudníku. Tato poloha dozimetru je mezinárodně přijata jako charakteristická pro celotělové (tj. rovnoměrné v přijatelné míře) ozáření těla. Pokud má pracovník ve stejné chvíli více dozimetrů daného typu, další dozimetr se nosí na místě, o kterém se předpokládá, že je nejvíce ozařováno. Protože jsme na našem případě potřebovali srovnat dva odlišné druhy dozimetrů a jejich měřicí schopnosti, umístili jsme oba dozimetry na referenční místo vedle sebe.

Termoluminiscenční dozimetry, které jsou již delší dobu používány na pracovišti nukleární medicíny, poskytují záznam ze zachyceného záření. Protože přístroj není vybaven displejem, je nutné jej zaslat společnosti, která se zabývá vyhodnocením. Jedná se o společnost CSOD, s.r.o., Na Truhlářce 39/64, 180 84 Praha 8, která před koncem každého měsíce (vyhodnocení se provádí jedenkrát za měsíc) zasílá přesný počet potřebných termoluminiscenčních dozimetrů. Dozimetry jsou barevně odlišeny pro sudý (bílé) a lichý (žluté) měsíc. Dozimetr je dále vybaven číslem pracoviště a číslem pracovníka, aby nedošlo k záměně výsledků. Měřicí období začíná vždy první den v měsíci a již použité dozimetry se zasílají společnosti nejpozději do 5 dnů od ukončení měření. Výsledky jsou písemnou formou zaslány společnosti s měsíčním zpožděním spolu s novými dozimetry. Ve vyhodnocení za příslušné kontrolní období jsou uváděny hodnoty větší nebo rovné záznamové úrovni, která byla stanovena ve výši 0,10 mSv. Roční vyhodnocení efektivní dávky je zasíláno uživateli CSOD do konce dubna následujícího roku a jsou v něm zahrnuty i osobní dávkové ekvivalenty v intervalu 0,05 až 0,1 mSv, které jsou při vyhodnocení uváděny jako $H_p(10)$ menší než 0,10 mSv.¹¹⁾

Elektronické dozimetry mají na rozdíl od termoluminiscenčních větší rozměr. Přístroj je ale vybaven displejem, který průběžně zobrazuje množství registrovaného záření. Pomocí poměrně jednoduché manipulace s přístrojem můžeme přepínat mezi měřícím módem (MEASUREMENT) a módem odpočinkovým (PAUSE), dále je možno okamžitě zjistit naměřené hodnoty pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm ($H_p(10)$) a 0,07 mm (H_s či $H_p(0,07)$) pod kůží a příkony těchto veličin jednoduchým přepnutím na přístroji. Záznam je tedy možné pořídít hned přímo z displeje nebo propojit přístroj pomocí čtečky s počítačem a vyhodnotit pomocí k tomu vyvinutého softwaru.

Je-li elektronický osobní dozimetr správně kalibrován ve veličině $H_p(10)$, potom naměřená hodnota odezvy osobního dozimetru interpretovaná ve veličině $H_p(10)$ je konzervativním odhadem efektivní dávky E s korekcí cca 0,8, jak je zřejmé z tabulky č. 4. Totéž platí obdobně pro H_s a H_T .¹⁾

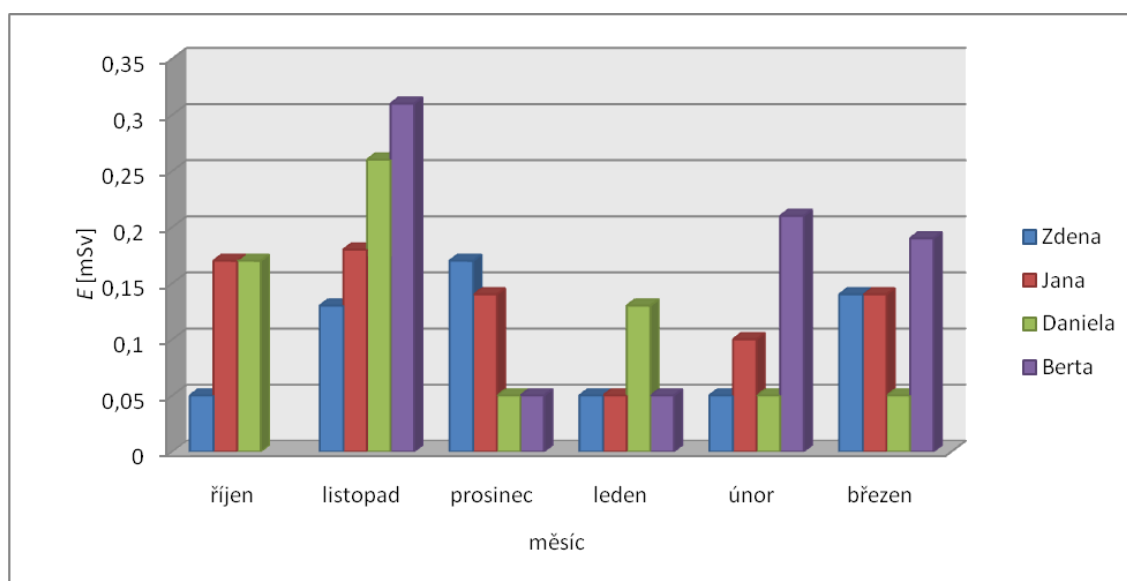
Tab č. 4: Energetická závislost poměru E , $H_p(10)$ a K_{vz} .

E_γ [keV]	E/K_{vz} [Sv/Gy]	$H_p(10)/K_{vz}$ [Sv/Gy]	$E/H_p(10)$ [Sv/Sv]
10	0,00653	0,009	0,726
20	0,122	0,611	0,200
30	0,416	1,112	0,374
50	1,106	1,786	0,626
100	1,394	1,811	0,770
300	1,093	1,369	0,798
1000	1,003	1,167	0,859
10000	0,990	1,111	0,891

4. Výsledky:

Tab. č. 5: Souhrn naměřených E pomocí TLD pro každého pracovníka v mSv.

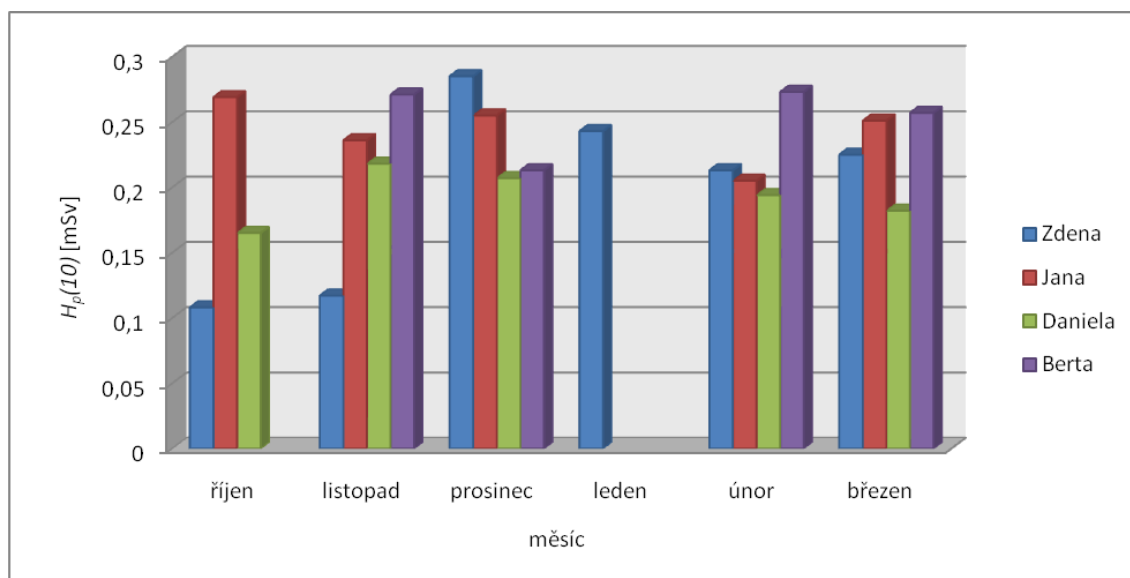
měsíc	Zdena	Jana	Daniela	Berta
říjen	< 0,10	0,17	0,17	-
listopad	0,13	0,18	0,26	0,31
prosinec	0,17	0,14	< 0,10	< 0,10
leden	< 0,10	< 0,10	0,13	< 0,10
únor	< 0,10	0,10	< 0,10	0,21
březen	0,14	0,14	< 0,10	0,19
Σ	0,59	0,78	0,71	0,81



Obr. č. 3: Grafické znázornění tabulky č. 5 (efektivní dávka v mSv).

Tab. č. 6: Souhrn naměřených $H_p(10)$ pomocí EPD pro každého pracovníka v mSv.

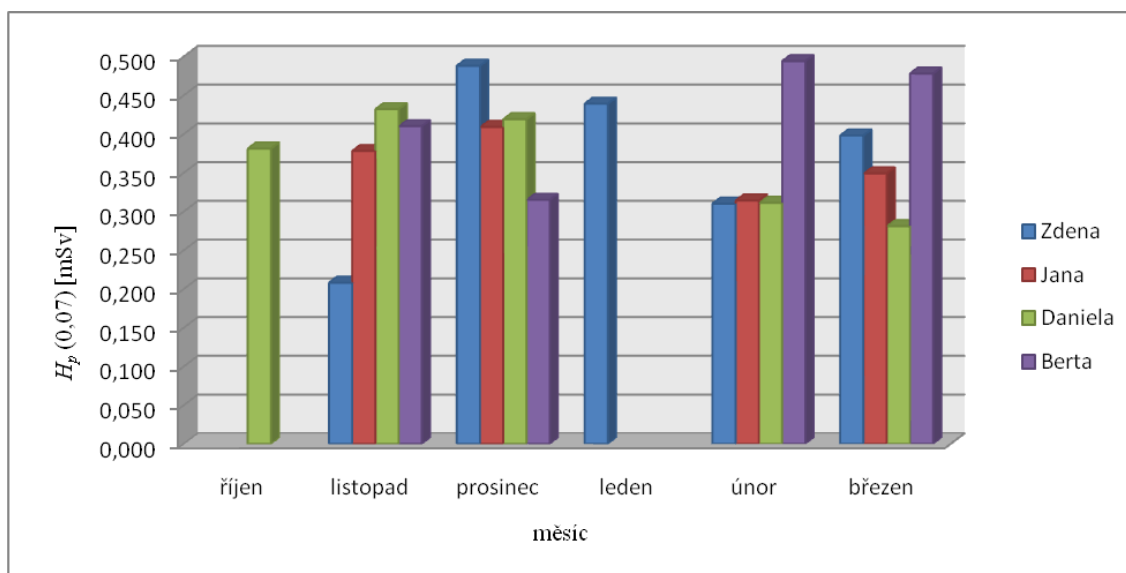
měsíc	Zdena	Jana	Daniela	Berta
říjen	0,11	0,27	0,17	-
listopad	0,12	0,24	0,22	0,27
prosinec	0,28	0,25	0,21	0,21
leden	0,24	-	-	-
únor	0,17	0,21	0,19	0,27
březen	0,18	0,25	0,18	0,26
Σ	1,10	1,22	0,97	1,01



Obr. č. 4: Grafické znázornění tabulky č. 6 (osobní dávkový ekvivalent v mSv).

Tab. č. 7: Souhrn naměřených $H_p(0,07)$ pomocí EPD pro každého pracovníka v mSv.

měsíc	Zdena	Jana	Daniela	Berta
říjen	-	-	0,38	-
listopad	0,21	0,38	0,43	0,41
prosinec	0,49	0,41	0,42	0,32
leden	0,44	-	-	-
únor	0,31	0,31	0,31	0,49
březen	0,40	0,35	0,28	0,48
Σ	1,85	1,45	1,82	1,70



Obr. č. 5: Grafické zpracování tabulky č. 7 (osobní dávkový ekvivalent v mSv) .

5. Diskuse

5.1 Činnosti měřitelné pomocí dozimetrů

Oddělení nukleární medicíny je možno rozdělit do několika částí. Oblastmi, ve kterých dochází k největšímu střetu pracovníků s ionizovaným zářením, jsou vyšetřovny a příprava radiofarmak. Další části také nejsou prosty působení záření, ale množství je tak malé, že není třeba je za běžných pracovních podmínek nějak speciálně sledovat. Hodnoty jsou také měřeny pomocí dozimetrů, ale většinou se pohybují pod záznamovou referenční úrovní. Dávky jsou tedy uchovávány do konečného ročního zhodnocení, ale jejich přesná měsíční hodnota se neuvádí. Tyto hodnoty jsou v tabulkách zapsány jako $< 0,1$ mSv a do statistiky je jejich hodnota počtána jako 0,05 mSv.

Nejvyšším dávkám jsou pracovníci vystaveni na vyšetřovnách při aplikaci radiofarmak vyšetřovaným osobám a při samotném průběhu vyšetření. Jedná se o celotělové zevní ozáření, proto jsou pracovníci vybaveni dozimetry, které nosí na referenčním místě stanoveném vyhláškou č. 307/2002 Sb.. Personál vyšetřoven na oddělení nukleární medicíny Nemocnice Č. Budějovice, a.s. nemá předem stanoven jasný rozpis určující, který z pracovníků bude radiofarmakum aplikovat, a který bude pomocí přístrojové techniky vyšetření provádět. Podle potřeby se pracovníci střídají v obou těchto činnostech. Dávky, které jsou během činností zaznamenány na dozimetr, jsou tudíž jejich součtem. Přesto lze předpokládat, že vyšší dávky jsou registrovány při aplikaci, kdy je personál v přímé blízkosti radiofarmaka, než při vyšetření. V tomto případě již dochází k odstínění záření pomocí vzdálenosti.

Příprava radiofarmak, kde se látky z kitů připravují na aplikaci, jsou vybaveny laminárními boxy. Účelem těchto zařízení je zabránit vystavení celého těla působení záření. Jediné styčné plochy jsou tedy horní končetiny pracovníka (od prstů po lokty), které jsou uvnitř laminárního boxu, a jsou vystaveny záření mnohonásobně více než zbytek těla pracovníka. Aby bylo zajištěno dodržování limitů stanovených vyhláškou, jsou pracovníci vybaveni prstovými dozimetry. Srovnání velikosti prstového a termoluminiscenčního dozimetru viz. obrázek č. 1.

5.2 Srovnání měřících schopností termoluminiscenčního a osobního elektronického dozimetru

Tab. č. 8: Souhrn naměřených $H_p(10)$, E , E^* , S , S^* v mSv ($E^* = H_p(10) * 0,8$ – korekce podle metodiky).

měsíc	jméno	EPD			TLD	
		$H_p(10)$	E^*	S^*	E	S
říjen	Zdena	0,11	0,09	0,45	< 0,10	0,39
	Jana	0,27	0,22		0,17	
	Daniela	0,17	0,14		0,17	
	Berta	-	-		-	
listopad	Zdena	0,12	0,10	0,69	0,13	0,88
	Jana	0,24	0,19		0,18	
	Daniela	0,22	0,18		0,26	
	Berta	0,27	0,22		0,31	
prosinec	Zdena	0,29	0,23	0,78	0,17	0,41
	Jana	0,26	0,21		0,14	
	Daniela	0,21	0,17		< 0,10	
	Berta	0,21	0,17		< 0,10	
leden	Zdena	0,24	0,19	0,19	< 0,10	0,28
	Jana	-	-		< 0,10	
	Daniela	-	-		0,13	
	Berta	-	-		< 0,10	
únor	Zdena	0,21	0,17	0,71	< 0,10	0,41
	Jana	0,21	0,17		0,10	
	Daniela	0,19	0,15		< 0,10	
	Berta	0,27	0,22		0,21	
březen	Zdena	0,23	0,18	0,73	0,14	0,52
	Jana	0,25	0,20		0,14	
	Daniela	0,18	0,14		< 0,10	
	Berta	0,26	0,21		0,19	

Při hodnocení kolektivních dávek S a S^* (naměřeny termoluminiscenčními a osobními elektronickými dozimetry) lze říci, že jejich hodnoty se od sebe v podstatě neliší. K výrazným rozdílům naměřených hodnot dochází pouze v případě, že hodnota naměřená termoluminiscenčním dozimetrem byla pod záznamovou hodnotou stanovenou vyhláškou. V tomto případě vyhodnocení měsíčních dávek zasílané

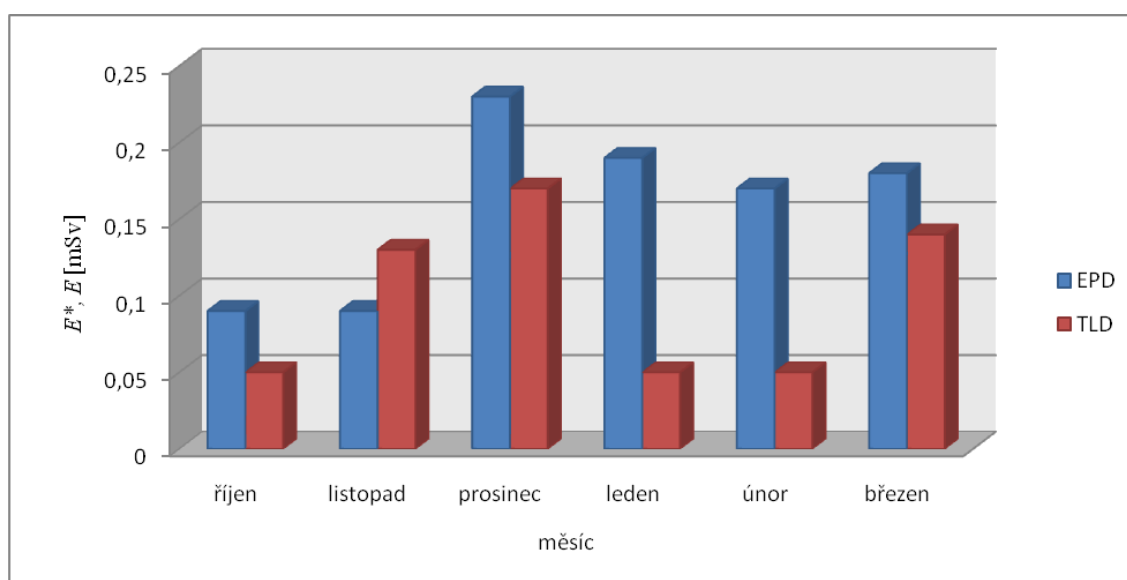
společností CSOD, s.r.o. obsahovalo údaj $< 0,10$ mSv, který se statisticky zpracovává jako hodnota 0,05 mSv.

Hodnoty dávek chybí v říjnu u jedné pracovnice z důvodu dlouhodobé nemoci a v lednu u tří pracovníků. Tento stav byl zapříčiněn technickými problémy s dozimetry. Z tohoto důvodu bude tento měsíc v další části diskutován pouze teoreticky s využitím hodnot naměřených termoluminiscenčními dozimetry.

V tabulkách č. 9 – 12 se nachází srovnání E a E^* , v tabulce č. 7 $H_p(0,07)$ pro sledované pracovníky. Ve všech případech lze konstatovat, že hodnoty jsou mezi záznamovou a výsledekovou hranicí. Hypotéza o možném překročení limitů se tudíž nepotvrdila a lze vyvodit, že pracovníci na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice, a.s. dodržují stanovené předpisy, nevystavují se záření více, než je nutné a nepřekračují limity stanovené vyhláškou. Pro stoprocentní potvrzení tohoto závěru by bylo vhodné sledování pracoviště po delší časové období, než jaké bylo v tomto případě umožněno.

Tab. č. 9: Naměřené hodnoty E^* a E v mSv pracovníka č. 1 (φ ... průměrná měsíční dávka).

měsíc	EPD	TLD
	E^*	E
říjen	0,09	< 0,10
listopad	0,09	0,13
prosinec	0,23	0,17
leden	0,19	< 0,10
únor	0,17	< 0,10
březen	0,18	0,14
Σ	0,95	0,59
φ	0,16	0,10

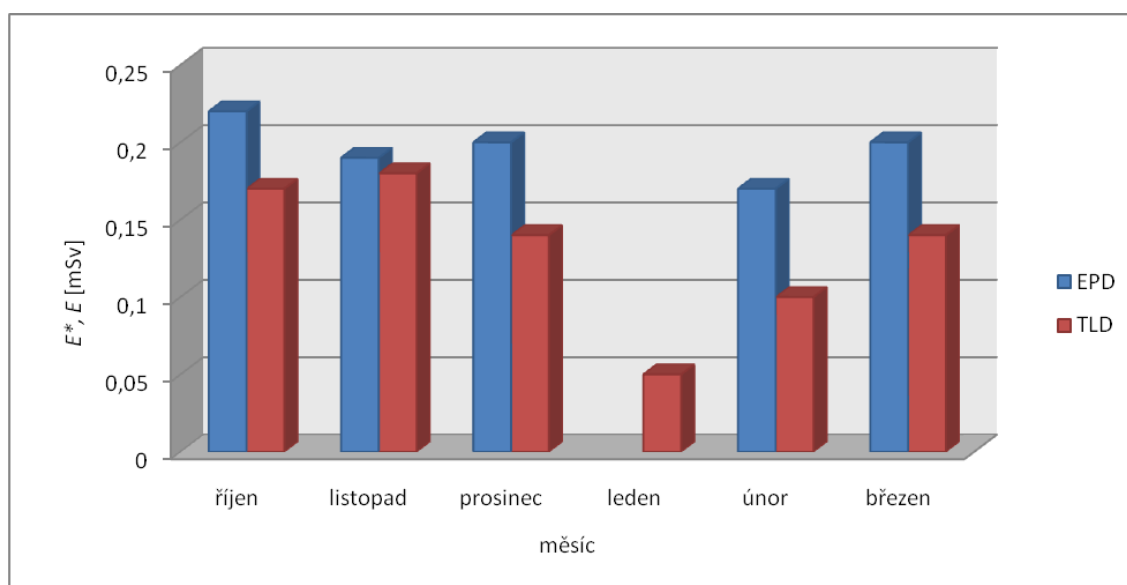


Obr. č. 6: Grafické zpracování tab. č. 9.

Pracovnice byla nejvíce vystavena záření v prosinci, naopak v měsíci říjnu přišla do styku s ionizujícím zářením nejméně. Tento stav nastal v důsledku zastupování jiného pracovníka na ambulanci, kde jsou zaznamenány hodnoty celkově nižší, pod záznamovou úroveň. Průměrná měsíční dávka se v obou případech pohybuje nad mezí záznamové úrovně. Hodnoty jsou ale na spodní hranici úrovně vyšetřovací, proto lze konstatovat, že hypotéza o možném překročení limitů nebyla potvrzena.

Tab. č. 10: Naměřené hodnoty E^* a E pracovníka č. 2 (φ ... průměrná měsíční dávka).

měsíc	EPD	TLD
	E^*	E
říjen	0,22	0,17
listopad	0,19	0,18
prosinec	0,20	0,14
leden	-	< 0,10
únor	0,17	0,10
březen	0,20	0,14
Σ	0,98	0,78
φ	0,20	0,13

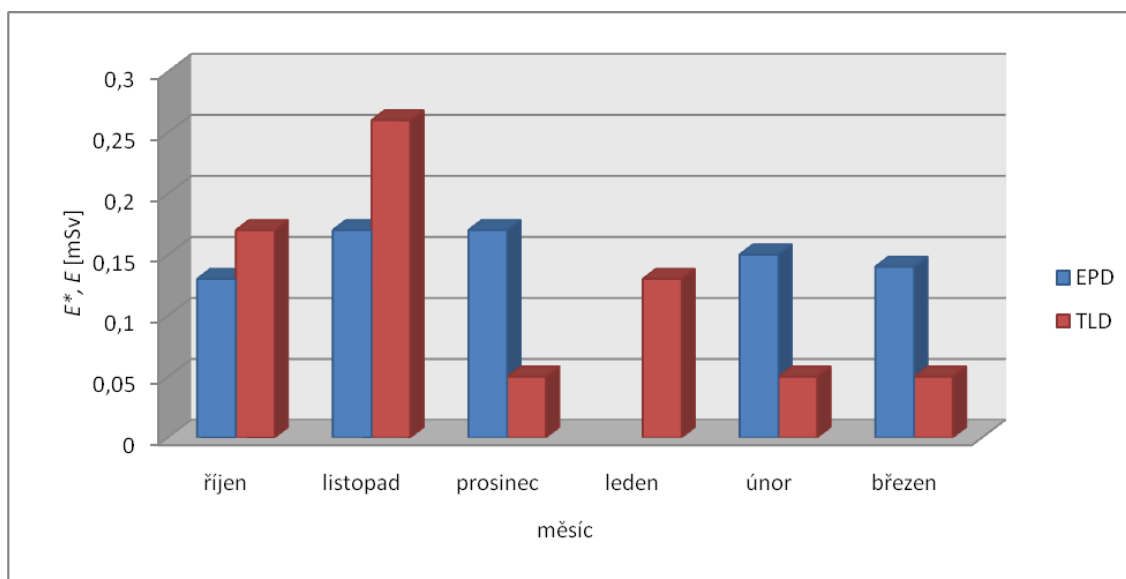


Obr. č. 7: Grafické zpracování tab. č. 10.

Pracovnice byla nejvíce vystavena ionizovanému záření v říjnu a listopadu. K nejmenšímu ozáření pravděpodobně došlo v lednu, jak udává termoluminiscenční dozimetr. V obou případech se průměrná měsíční dávka pohybuje mezi záznamovou a vyšetřovací úrovní, a proto zde není pravděpodobné překročení ročního limitu. Hypotéza se tedy nepotvrdila.

Tab. č. 11: Naměřené hodnoty E^* a E pracovníka č. 3 (φ ... průměrná měsíční dávka).

měsíc	EPD	TLD
	E^*	E
říjen	0,13	0,17
listopad	0,17	0,26
prosinec	0,17	< 0,10
leden	-	0,13
únor	0,15	< 0,10
březen	0,14	< 0,10
Σ	0,76	0,71
φ	0,15	0,12

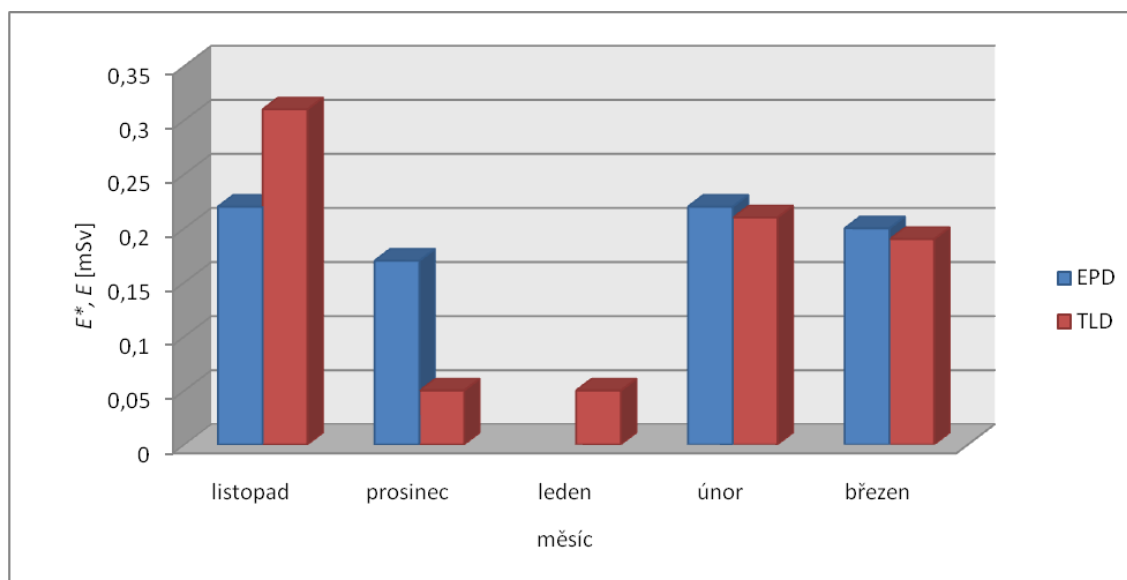


Obr. č. 8: Grafické zpracování tab. č. 11.

K největšímu ozáření pracovnice došlo v listopadu, nejnižší hodnotu můžeme sledovat v březnu. I v tomto případě můžeme podle průměrné měsíční dávky, jejíž hodnoty se pohybují mezi záznamovou a vyšetřovací úrovní, říci, že hypotéza není potvrzena.

Tab. č. 12: Naměřené hodnoty E^* a E pracovníka č. 4 (φ ... průměrná měsíční dávka).

měsíc	EPD	TLD
	E^*	E
listopad	0,22	0,31
prosinec	0,17	< 0,10
leden	-	< 0,10
únor	0,22	0,21
březen	0,20	0,19
Σ	0,81	0,81
φ	0,20	0,16



Obr. č. 9: Grafické zpracování tab. č. 12.

Průměrná měsíční dávka se opět pohybuje mezi záznamovou a vyšetřovací hranicí. Nejvyšší naměřená hodnota byla sledována v listopadu, naopak nejnižší hodnota byla zapsána v prosinci a podle grafu bychom nízkou dávku mohli předpokládat také v lednu. Ani v tomto případě nebyla hypotéza potvrzena.

5.3 Klady a zápory použitých dozimetrů

Termoluminiscenční dozimetr

Mezi klady termoluminiscenčních dozimetrů lze považovat malé rozměry a hmotnost přístroje. Dále opakovanou možnost použití detektoru, vysokou citlivost měření a používání termoluminiscenčních látek s podobnými vlastnostmi lidských tkání.

K nevýhodám naopak řadíme nemožnost okamžitého vyhodnocení a z toho vyplývající potřebnou čekací lhůtu a získání výsledků (u nižších dávek nejsou jejich hodnoty měsíčně zasílány). Záporem je citlivost detektorů na světlo.

Elektronický osobní dozimetr

Velkou výhodou těchto přístrojů je čitelný displej, kterým jsou přístroje vybaveny, a který umožňuje okamžité odečtení zachycené dávky. Z této přednosti dále vyplývá snazší plánování úkonů jednotlivých pracovníků (pokud mají předem daný harmonogram, který pracovník bude vykonávat konkrétní činnost) a tím předcházení možnosti překročení dávek stanovených vyhláškou. Dalším kladem je možnost odečtu čtyř různých veličin (osobní dávkové ekvivalenty v hloubkách 10 a 0,07 mm a k nim náležející příkony) a také nastavení alarmů hlásících překročení dávek i dávkového příkonu.

Nevýhodou těchto přístrojů je naopak vysoká pořizovací cena, vyšší hmotnost, nutnost výměny baterie a vyšší možnost poškození přístroje při pádu z výšky. Mezi velký zápor považuji také vliv vysokofrekvenčních elektromagnetických vln, která se vyskytuje hlavně u starších modelů.

Termoluminiscenční dozimetry spolu s filmovými patří mezi přístroje běžně používané ve zdravotnictví. Elektronické dozimetry se naopak do této oblasti pomalu ale jistě přidávají, jejich používání ve vojenství a jaderné oblasti považuji za pozitivum a myslím, že výsledky získané použitím obou dozimetrů, poukazují, že budou velkým přínosem a v budoucnu také běžnou součástí zdravotnických pracovišť.

6. Závěr

Mezi činnosti, při kterých dochází k nejvyššímu styku s ionizovaným zářením na pracovišti nukleární medicíny, patří příprava radiofarmak pro aplikaci, aplikace samotná a provedení vyšetření. Z tohoto důvodu bylo provedeno šestiměsíční měření dávek na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice a.s.. Průměrné měsíční hodnoty efektivních dávek všech sledovaných pracovníků se pohybovaly mezi záznamovou a vyšetřovací úrovní. Pro přesné stanovení ročních hodnot by bylo nutné delší sledovací období, ale překročení limitu stanoveného vyhláškou č. 307/2002 Sb. je nepravděpodobné a hypotéza se tudíž nepotvrdila.

Blízké hodnoty zaznamenané termoluminiscenčním a elektronickým dozimetrem napovídají, že jejich měřicí schopnosti jsou velmi podobné. Závěr poukazuje na kladné hodnocení elektronického dozimetru a používání tohoto typu přístroje ve zdravotnictví hodnotí jako přínos.

7. Seznam použité literatury

Monografie

- 1) KLENER V. a kol: Principy a praxe radiační ochrany, SUJB Azin 2000, 619 str., ISBN 80-238-3703-6
- 2) MYSLIVEČEK M. a kol.: Nukleární medicína I, Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc 1995, ISBN 80-7067-511-X
- 3) Publication ICRP 52: Protection of the patient in Nuclear Medicine, Pergamon 1987, ISSN 0146-6453
- 4) SINGER J., HEŘMANSKÁ J.: Principy radiační ochrany, skripta ZSF JU, České Budějovice 2004, 111. Str., ISBN 80-7040-7085
- 5) SINGER J.: Dozimetrie ionizujícího záření, skripta ZSF JU, České Budějovice 2005, 67 str., ISBN 80-7040-752-2

Legislativa

- 6) Zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů
- 7) Vyhláška č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně

Nepublikované texty

- 8) Uživatelská příručka: Elektronicky osobní dozimetr DMC 2000 XB

Elektronický zdroj

- 9) www.subj.cz/docs/28-osobni_dozimetrie_1.pdf
- 10) www.vf.cz/produkty/radiacni-kontrola-a-ochrana/dozimetrie/dmc-2000.html
- 11) www.csod.cz/files/td.pdf
- 12) www.nemcb.cz/cz/departament/44/oddeleni-nuklearni-mediciny.html/?detail=detail&id=14

8. Klíčová slova

- Elektronická osobní dozimetrie
- Monitoring
- Nukleární medicína
- Radiační ochrana
- Termoluminiscenční osobní dozimetrie