



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

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

Hodnocení radiační zátěže pacientů a možnost vzniku a řešení radiačních mimořádných událostí na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice, a.s.

Diplomová práce

Studijní program: [OCHRANA OBYVATELSTVA](#)

Autor: Bc. Kristína Daňová

Vedoucí práce: Ing. Eva ZEMANOVÁ, Ph.D.

České Budějovice 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem *Hodnocení radiační zátěže pacientů a možnost vzniku a řešení radiačních mimořádných událostí na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice, a.s.* jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na 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 bakalářské/diplomové práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské/diplomové práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 13. května 2019

.....

Daňová

Poděkování

Ráda bych srdečně poděkovala vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Evě Zemanové, Ph.D. za odborné vedení, poskytnutí materiálů, pomoc při konzultacích a hlavně za její čas, ochotu a vstřícnost. Děkuji jí za možnost s ní spolupracovat. Dále děkuji Ing. Pavlovi Solnému při získávání údajů pro praktickou část práce.

Hodnocení radiační zátěže pacientů a možnost vzniku a řešení radiačních mimořádných událostí na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice, a.s.

Abstrakt

Záměrem mé diplomové práce bylo zhodnocení radiační zátěže pacientů a posouzení vzniklých radiačních mimořádných událostí na oddělení nukleární medicíny (ONM). V teoretické části jsem pracovala s odbornou literaturou, platnými právními předpisy a vnitřní dokumentací Nemocnice České Budějovice, a.s. – oddělení nukleární medicíny. (ONM NČB)

Práce vycházela z potřeby pracoviště ONM NČB zhodnotit optimalizaci dávek pacientům a stanovit místní diagnostické referenční úrovně. Otázkou optimalizace radiační ochrany se zabývají organizace v mezinárodním měřítku, z jejichž doporučení a standardů Česká republika vychází. Za tímto účelem je potřeba znát skutečné aplikované aktivity radiofarmak aplikovaných při jednotlivých vyšetřeních, a provést odhad z nich plynoucích efektivních dávek a též efektivních dávek z CT (výpočetní tomografie) snímání.

Předkládaná diplomová práce se dále věnuje hodnocení vzniku radiačních mimořádných událostí, které na ONM NČB skutečně nastaly, příčinám jejich vzniku a opatřením k zamezení dalšího opakování takových radiačních mimořádných událostí (RMU). Držitel povolení pro povolovanou činnost, tj. nakládání se zdrojem ionizujícího záření, má povinnost udržovat dokumentaci v souladu s atomovým zákonem, zásadami dobré praxe a skutečným stavem povolené praxe. Úzce s problematikou RMU souvisí dokumentace – Vnitřní havarijní plán a Program monitorování. (Zákon č. 263/2016 Sb.) Proto byla provedena jejich komparace se skutečným stavem a doporučena revize na základě zjištěných skutečností.

Zjištěné hodnoty aplikovaných aktivit a efektivních dávek byly porovnávány s hodnotami publikovanými v posledním reportu UNSCEAR (Vědecký výbor OSN pro účinky atomového záření) z roku 2016 a národními referenčními hodnotami uveřejněnými ve Vyhlášce o radiační ochraně č. 422/2016. Výsledky byly detailně zpracovány do tabulek a grafů. Bylo zjištěno, že aplikované aktivity na ONM NČB jsou

v dobré shodě s hodnotami uvedenými v UNSCEAR reportu a zároveň nižší, než jsou národní referenční úrovně, což poukazuje na optimalizovaný stav radiační ochrany pacientů.

Vznik konkrétních radiačních mimořádných událostí na pracovišti ONM NČB a analýza jejich příčin odhalila nedostatky v procesu a absenci bezpečnostních prvků žádoucích při skladování radioaktivního kapalného odpadu pocházejícího z ONM. Bylo nutno najít a implementovat do praxe takové opatření, které zabrání dalšímu opakování podobného typu RMU.

Práce bude poskytnuta dohlížející osobě nad radiační ochranou pro potřeby hodnocení zajištění radiační ochrany na ONM NČB a kompletaci dokumentů pro povolovanou činnost.

Klíčová slova

aplikovaná aktivita, efektivní dávka, radiační mimořádná událost, nukleární medicína, povrchová kontaminace, kapalné radioaktivní odpady, vnitřní havarijný plán, program monitorování

Evaluating radiation consequences in patients and the possibility of unusual occurrences stemming from radiation and solutions for these unusual radiation consequences at the department of nuclear medicine in hospital Ceske Budejovice Plc

Abstract

The aim of my thesis was to evaluate radiation consequences in patients, and to evaluate unusual occurrences stemming from radiation at the department of nuclear medicine in hospital Ceske Budejovice. In the theory part, I worked with professional literature, applicable laws and internal documentation provided by the department of nuclear medicine in hospital Ceske Budejovice Plc

The thesis reacted to the need of the department of nuclear medicine (dept. NM) in hospital Ceske Budejovice to evaluate the optimisation of doses for the patients and set local diagnostic levels. Different organisations worldwide deal with the question of optimising radiation protection, and their recommendations and standards are used in the Czech Republic. For this purpose, it is necessary to know the real activity of radiopharmaceuticals applied in each examination and to conduct a forecast resulting in effective doses also based on CT scans.

The thesis also evaluates the occurrence of special radiation events really experienced at the department of NM (nuclear medicine) in the hospital mentioned above, the reasons for these events happening and precautions preventing them from happening in future. The owner of the permission for this activity, meaning the use of the source of ionizing radiation, has the duty to keep all documentation and paperwork in accordance with the law regulating nuclear power, abide by the rules of good practices and the real state of allowed practice. The occurrence of unusual events is closely

connected with the documentation - internal emergency plan and monitoring program. (Law 263/2016) Therefore, it was recommended to compare these to the actual state and to review them based on the facts found.

The values of applied activities and effective doses found were compared to the values published in the last report from UNSCEAR in 2016 and national referential values published in the bill about radiation protection no 422/ 2016. All results were inputted into tables and graphs. It was found that the applied activities at the department of NM in hospital Ceske Budejovice are in agreement with the values presented in UNSCEAR report and that they are lower than the national referential levels, which shows that there is optimised state of radiation protection for patients.

The occurrence of concrete unusual radiation events at the department of NM in hospital Ceske Budejovice and their analysis revealed certain shortcomings in the process and the absence of security elements needed while holding radioactive liquid waste in storage at the hospital. It was necessary to find and implement such precautions, which will prevent similar type of events in future.

The thesis will be handed in to the person tending to the radiation protection for the use of evaluation and providing the protection at the department of NM at the hospital Ceske Budejovice and to enable the documentation to be completed for the allowed activity.

Keys words

Applied activity, effective doses, special radiation event, nuclear medicine, surface contamination, radioactive liquid waste, internal emergency plan, monitoring program

Obsah

Úvod.....	11
1 Teoretická část	13
1.1 Nukleární medicína	13
1.1.1 Metody nukleární medicíny	13
1.1.2 Důležité veličiny	15
1.2 Organizace a právní předpisy.....	20
1.2.1 SÚJB	20
1.2.2 Předpisy Evropské unie	22
1.2.3 Předpisy Evropského společenství pro atomovou energii	22
1.2.4 ICRP.....	22
1.2.5 IAEA	24
1.2.6 UNSCEAR.....	24
1.3 Radiační zátěž	26
1.4 Biologické účinky ionizujícího záření	31
1.4.1 Deterministické účinky	31
1.4.2 Stochastické účinky	32
1.5 Radiační zátěž pacienta z lékařského ozáření	33
1.6 Radiační zátěž pacienta po aplikaci ¹³¹ I.....	34
1.7 Snížení radiační zátěže v NM	35
1.8 Těhotenství.....	36
1.9 Radiační mimořádná událost.....	36
1.9.1 Radiační mimořádná událost 1. Stupně	37
1.9.2 Radiační nehoda.....	37
1.9.3 Radiační havárie	37

1.10	Zvládnání RMU	38
1.10.1	Analýza a hodnocení	39
1.10.2	Připravenost k odezvě	40
1.10.3	Odezva na RMU	42
1.11	Monitorování	43
1.11.1	Osobní monitorování	44
1.11.2	Monitorování pracoviště	46
1.11.3	Monitorování výpustí	54
2	Cíle práce a výzkumné otázky	56
2.1	Cíl práce	56
2.2	Výzkumné otázky	56
3	Metodika výzkumu	57
3.1	Metodika odhadu efektivních dávek	58
4	Výsledky	62
4.1	Scintigrafie skeletu	62
4.2	Perfuzní scintigrafie myokardu	66
4.3	Vyšetření PET/CT s použitím ¹⁸ FDG	70
4.4	Diagnostika štítné žlázy pomocí ¹³¹ I-jodid	74
4.5	Terapie štítné žlázy pro maligní onemocnění pomocí ¹³¹ I-jodid	74
4.6	Terapie štítné žlázy pro benigní onemocnění pomocí ¹³¹ I-jodid	77
4.7	Akumulace štítné žlázy 0%	79
4.8	RMU č.1 Kontaminace obyvatele pacientem propuštěným z ONM po léčbě štítné žlázy	80
4.8.1	Odezva a šetření	81
4.8.2	Výsledky šetření:	81
4.8.3	Klasifikace RMU	82

4.8.4	Následné opatření	82
4.8.5	Opatření k nápravě.....	83
4.8.6	Naměřené hodnoty:.....	85
4.8.7	Přijatá opatření pro zamezení a opakování takové RMU	86
4.9	RMU č. 2 Překročení uvolňovací úrovně pro vypuštění ¹³¹ I v kapalném radioaktivním odpadu z odpadních jímek ONM	88
4.9.1	Popis RMU	88
4.9.2	Odezva na RMU	88
4.9.3	Průběh radiační nehody	89
4.9.4	Neodkladné opatření	90
4.9.5	Zjištěné příčiny vzniku RMU	90
4.9.6	Následné opatření	91
4.9.7	Náprava stavu a zabránění opakování takové RMU.....	93
4.10	Revize Vnitřního havarijního plánu	94
4.11	Revize Programu monitorování.....	94
5	Diskuze	96
6	Závěr	103
7	Seznam použitých zdrojů.....	105
8	Seznam zkratk	114
9	Seznam grafů	116
10	Seznam obrázků.....	118
11	Seznam tabulek.....	119
12	Seznam příloh	121

Úvod

Nukleární medicína je specializovaná oblast medicíny, která se zabývá diagnostikou a léčbou pomocí otevřených radionuklidových zdrojů. Využívá ionizující záření emitované aplikovanými radionuklidy. Pro diagnostiku jsou v současnosti v popředí hybridní zobrazovací systémy, které kombinují scintigrafické metody s radiodiagnostickými, které jsou pro moderní medicínu nepostradatelné. Například SÚJB uvedl, že z jeho posledních zpracovaných dat vzrostl počet PET/CT (pozitronová emisní tomografie/výpočetní tomografie) vyšetření o více než 150 % (SÚJB, 2016). Velmi specifické postavení má NM (nukleární medicína) při terapii otevřenými radionuklidovými zdroji, především při léčbě onemocnění štítné žlázy. Tam sehrává nezastupitelnou roli. Jenom v roce 2016 bylo v ČR léčeno přes 1500 pacientů pomocí ^{131}I , z toho 27 % pro zhoubné onemocnění a zbytek pro nezhoubné onemocnění (SÚJB, 2019).

Radiační zátěž v NM plyne jednak z podaného radiofarmaka, jednak z transmisního CT skenu. Vzdávající tendence kolektivní dávky z lékařského ozáření sehrává klíčovou roli v otázce a uplatnění principu optimalizace a zdůvodnění. Protože se v nukleární medicíně zavádějí nové metody a používají se stále lepší a citlivější detekční systémy, jsou i aplikované aktivity v průběhu času přehodnocovány. Menší aplikované aktivity, budou vést ke snížení radiační zátěže. Tato skutečnost však nesmí vést k nižší kvalitě obrazu. Množství aplikované aktivity je voleno na základě národních diagnostických referenčních úrovní. Ty stanovuje Příloha č. 22 Vyhlášky č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, jako prováděcí vyhláška k atomovému zákonu č. 263/2016 Sb. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.).

Ionizující záření aplikované v medicíně sebou přináší i určité riziko, které spočívá v pravděpodobnosti vzniku nečekané a nežádoucí události. Pokud při tom dochází k překročení limitů ozáření a ohrožení osob nebo životního prostředí, mluvíme o radiační mimořádné události. Mezi hlavní příčiny vzniku je porušování podmínek pro bezpečné nakládání se ZIZ (zdroje ionizujícího záření), chyby v pracovních postupech, nezabezpečení ZIZ a též technické a organizační selhání. Neznalost míry rizika a nebezpečí, které může při těchto událostech vzniknout, může mít vážný dopad na zdraví osob a životní prostředí. Vzdělanost zdravotnického personálu v oblasti radiační ochrany je stále velkým problémem a celosvětově jsou v úrovni vzdělanosti

velké rozdíly. Dlouhodobou snahou mezinárodních organizací zabývajících se radiační ochranou je, aby byla edukovanost v oblasti radiační ochrany na vyšší úrovni stejně ve všech zemích.

Předkládaná diplomová práce se věnuje problematice stanovení a hodnocení radiační zátěže pacientů na ONM NČB při vyšetřeních skeletu, srdce, PET/CT vyšetření, a diagnostice a terapii štítné žlázy. Dále hodnotí vznik a řešení radiačních mimořádných událostí, které na tomto oddělení vznikly od roku 2016, kdy došlo k právní úpravě v oblasti radiační ochrany (dokončení „nového“ atomového zákona). K tomuto účelu bylo provedeno vlastní monitorování za běžného provozu i při RMU. V souladu s platnými předpisy v oblasti radiační ochrany je zavedena povinnost vést dokumentaci, ve které jsou popsány zásahové postupy a opatření k zamezení vzniku RMU. Byl proto revidován Vnitřní havarijní plán a Program monitorování pracoviště ONM NČB a předloženy návrhy řešení zjištěných nedostatků.

Práce popisuje danou problematiku detailně a zeširoka z důvodů, že výčet vyšetření v nukleární medicíně je obsáhlý, a pro potřeby sledování a posuzování úrovně ozáření pacientů byla vybrána ta nejfrekventovanější a ta vyšetření s nejvyšší aplikovanou aktivitou. Dalším příčinou je i fakt, že v průběhu doby mezi zadáváním tématu diplomové práce a jeho konečnou podobou nastala druhá RMU, kterou bylo žádoucí pro úplné naplnění cílů práce také objasnit. Tím obsah celé diplomové práce přesáhl původně předpokládaný rozsah.

1 Teoretická část

1.1 Nukleární medicína

Nukleární medicína se zabývá aplikacemi radiofarmak do organismu. Mechanismu účinku těchto látek se využívá pro diagnostiku i pro terapii. Je to samostatný medicínský obor, který vznikl v 50. letech 20. století a tvoří nedílnou součást péče o pacienty. Přináší diagnostickou informaci pro volbu vhodné léčby, a tím zlepšuje kvalitu života pacienta. (Míková, 2008) Po aplikaci otevřených radioaktivních zdrojů pacientovi, se detekuje jejich distribuce v organismu pomocí scintilační kamery. Devízou tohoto vyšetření je jeho neinvazivnost a velmi nízká pravděpodobnost alergických reakcí. (Seidl et al., 2012) Ty jsou extrémně vzácné a zpravidla mírné. Nejsou známy žádné dlouhodobé potíže spojené s aplikacemi radiofarmak. Studium nežádoucích reakcí se zabývali v Spojených státech již v roce 1996. Za pět let bylo provedeno u 18 institucí dotazníkové šetření. Bylo aplikováno 783 525 radiofarmak a výsledky byly velmi příznivé. Jenom u deseti z 18 případů se projevila vyrážka, žádný z pacientů nemusel být hospitalizován. (Silberstein et al., 1996) Jde tedy o bezpečné preparáty z pohledu hodnocení alergické reakce. Avšak i vyšetření v nukleární medicíně přináší pravděpodobnost rizik, které spočívají v radiační zátěži, bez které není možné provést žádné vyšetření. Při dodržování všech principů radiační ochrany, standardu a kontrol kvality je riziko pocházející z radiační zátěže ve srovnání s přínosem pro pacienta vždy nižší.

1.1.1 Metody nukleární medicíny

Spektrum možných vyšetření v nukleární medicíně je velké. Metoda SPECT (jednofotonová emisní výpočetní tomografie) se uplatňuje zejména při poruchách nervového systému, plic, ledvin, endokrinního systému a trávicího systému. Nejčastějším vyšetřením je scintigrafie skeletu, ale dominuje též nukleární kardiologie. V onkologické diagnostice a hledání zánětlivých procesů v těle je prioritní metoda PET. Anatomicko-morfologická stránka těchto modalit je nepřesná, proto se do popředí dostaly hybridní zobrazovací metody. Jedná se o kombinaci SPECT/CT a PET/CT.

SPECT a PET poskytují funkční informaci o regionálním metabolismu a CT poskytuje detailní anatomickou a strukturální informaci. (Kupka, 2015)

Radiační zátěž pacientů v nukleární medicíně pochází z radionuklidových zdrojů, tzv. radiofarmak. Ty obsahují jeden nebo více radionuklidů (radioaktivních izotopů), které způsobují emisi ionizujícího záření. Radioaktivní záření (často nazývané jaderné) prvků vzniká přeměnami v atomovém jádře (z latinského nukleus – jádro), z toho pochází pojem nukleární medicína. (Riebelova et al., 1993)

Radionuklid je charakterizován poločasem rozpadu, druhem a energií. Radiofarmaka obsahují jednak neaktivní formu a při jejich výrobě se uplatňují zásady jako při výrobě léčiv. Kromě toho obsahují též radioaktivní formu, na které jsou kladeny speciální požadavky na výrobu, označování, manipulaci, skladování a transport na jednotlivá oddělení. Pro potřeby nukleární medicíny se používají radionuklidy, které mají krátký nebo středně dlouhý poločas přeměny. Radiofarmaka musí splňovat požadovanou jakost, tj. radiochemickou a radionuklidovou čistotu, požadovanou aktivitu, orgánovou distribuci a sterilitu. Do těla pacienta jsou podávány nejčastěji intravenózně, méně inhalačně anebo jako pevné tobolky. (Stručný přehled farmakologie pro radiologické asistenty, 2007)

Radiofarmaka se používají k diagnostice a léčbě různých onemocnění. Škála vyšetření je velmi pestrá. Radiační zátěž pacientů je pro většinu diagnostických vyšetření nízká, protože při zobrazování se používají gama zářiče emitující nízké energie s krátkým fyzikálním poločasem rozpadu. (Kupka, 2015)

Většina radiofarmak pro diagnostické účely je připravovaná individuálně na odděleních nukleární medicíny z mateřského radionuklidu molybdenu ^{99}Mo . Přeměnou v generátoru vzniká dceřiný radionuklid $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (metastabilní technecium) s poločasem přeměny 6 hodin a energií 140 keV, a je s ním značená převážná část radiofarmak. Výjimku tvoří radiofarmaka určená pro pozitronovou emisní tomografii. Ta jsou vyráběna v cyklotronu a mají velmi krátký poločas přeměny, řádově v minutách. Nejpoužívanější je pozitronový radionuklid ^{18}F s fyzikálním poločasem 110 minut. (Seidl et al., 2012)

U pozitronové emisní tomografie se využívají pozitronové zářiče. Tyto radionuklidy emitují kladně nabitě částice, pozitrony. Jsou to elektrony, které mají kladný náboj

a vznikají při beta rozpadu (β^+). Pozitron anihiluje s elektronem a vzniknou dva fotony gama, vylétávajících do opačných směrů, tedy 180 stupňů. Ty jsou zachyceny na koincidenčních detektorech. Pomocí počítačové rekonstrukce se vytvoří tomografický obraz příčného řezu vyšetřované části těla. (Bělohávek, 2004)

V léčebných postupech pomocí otevřených radionuklidových zdrojů je radiační zátěž mírně vyšší oproti diagnostice. Je to z důvodu použití radionuklidu s vyšší energií a radionuklidů se zářením beta nebo smíšené, jejichž dosah ve tkáni je řádově několik milimetrů. Uplatňuje se tak maximálního radiačního účinku v nádorové tkáni. (Seidl et al., 2012) Radionuklidy mají za cíl zasáhnout také postiženou buňku a usmrtit ji s maximálním šetřením struktury okolo nádoru. Velmi často se při podávání radiofarmak využívá jejich selektivní distribuce. Akumulují se v orgánu nebo tkáni, které jsou předmětem zájmu. V některých případech je tak možnost dosáhnout takového stupně ozáření cílové tkáně, který není dosažitelný zevním ozářením. (Koranda et al., 2002)

1.1.2 Důležité veličiny

Radiační zátěž pacienta je vyjádřena pomocí vztahu mezi efektivní, ekvivalentní a absorbovanou dávkou. Pro účely radiační ochrany ICRP zavedla v r. 1977 veličinu – efektivní dávkový ekvivalent, který dnes po určité modifikaci vyústil v termín – efektivní dávka. Touto veličinou jsou vyjádřeny monitorovací úrovně a dávkové limity vztahované ke stochastickým účinkům. (Koranda, 2014)

Absorbovaná dávka

Je to poměr střední energie ionizujícího záření absorbované jednotkou hmotnosti dané látky. Jedná se o fyzikální veličinu, nezohledňuje tedy, o jaké záření se jedná, ani v jakých orgánech se absorbuje. Jednotkou je Gy (gray). (Súkupová, ©2019)

Ekvivalentní dávka

Pro výpočet efektivity záření musíme zohlednit nejen absorbovanou dávku, ale také druh záření, kterým byla dávka dodána. K tomuto účelu nám slouží radiační váhový faktor. Je to bezrozměrné číslo, které vyjadřuje radiobiologickou účinnost ionizujícího

záření. Udává závažnost dávky z hlediska biologických účinků daného druhu záření, které tuto dávku způsobilo. Například pro fotony a elektrony je radiační váhový faktor 1. Pro alfa částice, které ionizují hustě, je tato hodnota 20. Alfa částice tedy způsobí dvacetkrát větší zdravotní újmu než fotony a elektrony.

Ekvivalentní dávka H_T je součinem radiačního váhového faktoru W_R a střední absorbované dávky D_{TR} v orgánu nebo tkáni T pro ionizující záření R.

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

Definice ekvivalentní dávky se vztahuje k ozáření ke konkrétnímu orgánu nebo tkáni. Naproti tomu efektivní dávka reprezentuje ozáření celého těla, určuje celkovou újmu způsobenou ozářením. Jednotkou efektivní i ekvivalentní dávky je Sv ($J \cdot kg^{-1}$). Zohledňuje příspěvek zevního ozáření i vnitřní kontaminace. (Koláček, 2012)

Efektivní dávka

Efektivní dávka není přímo měřitelná veličina. Stanovuje se na základě ekvivalentní dávky H_T v ozářených orgánech nebo tkáních T, u nichž se předpokládá vnímavost na indukcii stochastických účinků a tkáňového váhového faktoru. Je definovaná jako součet součinů těchto parametrů. (Sabol & Vlček, 2011)

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

Tkáňový váhový faktor je také jako radiační váhový faktor bezrozměrné číslo. Zohledňuje citlivost ozářených orgánů. Vyjadřuje relativní příspěvek daného orgánu nebo tkáně T k celkové zdravotní újmě způsobené rovnoměrným ozářením těla. Je to tedy relativní míra rizika stochastických účinků. Součet všech tkáňových váhových faktorů je 1. (Ullmann, 2002) V roce 2007 zveřejnila Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu (ICRP) nové hodnoty tkáňových váhových faktorů. Hodnoty, které se lišily, vyplynuly ze zkušeností hlavně po atomovém útoku na japonská města Hirošima a Nagasaki. (Publikace 103, 2009) Předpisy Evropské unie a Evropského společenství pro atomovou energii (EURATOM) jsou implementované v provádějící Vyhlášce č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení

radionuklidového zdroje, k atomovému zákonu č. 263/2016 Sb., a uvádějí tkáňové váhové faktory pro výpočet efektivní dávky.

Tabulka 1 Tkáňové váhové faktory

Orgán, tkáň	Tkáňový váhový faktor
Červená kostní dřeň, tlusté střevo, plíce, žaludek, mléčná žláza, ostatní*	0,12
Gonády	0,08
Močový měchýř, jícn, játra, štítná žláza	0,04
Mozek, slinné žlázy, kůže, povrch kostí	0,01

* ústní sliznice, extratorakální oblast, srdce, brzlík, nadledviny, ledviny, slinivka břišní, žlučník, tenké střevo, slezina, prostata, děloha, lymfatické uzliny, svaly

Zdroj: (Vyhláška č. 422/2016 Sb., 2016)

Ekvivalentní dávka H_T (mSv) v tkáních a orgánech je vypočítána z příslušných středních hodnot absorbovaných dávek D_T (mGy) a efektivní dávky E (mSv). Ekvivalentní dávku je možné nahradit střední absorbovanou dávkou, protože radiační váhový faktor pro záření beta a gama má hodnotu 1. Pro stanovení radiační zátěže pacienta se aplikovaná aktivita radiofarmaka vynásobí tabelovanou hodnotou (pro model referenčního člověka o hmotnosti 70 kg a referenčních dětí ve věku 1, 5, 10 a 15 let) středních absorbovaných dávek v orgánech a efektivních dávek z radiofarmak, zpravidla vyjádřené v $mGy \cdot MBq^{-1}$ a v případě efektivní dávky v $mSv \cdot MBq^{-1}$. (Koranda, 2014) Efektivní dávka na 1 MBq se vynásobí aktivitou radiofarmaka a dostaneme odhad efektivní dávky spojenou s daným vyšetřením. Například efektivní dávka vztažená na 1 MBq aplikované aktivity při vyšetření skeletu je $0,0057 mSv/MBq$. Obvyklá aplikovaná aktivita u $70 kg \pm 5 kg$ pacienta je 800 MBq. Efektivní dávka pro vyšetření skeletu činí 4,56 mSv. (Principy a praxe radiační ochrany, 2000)

Úvazek efektivní a ekvivalentní dávky

Veličiny – úvazek efektivní a ekvivalentní dávky se zavádějí pro potřeby posuzování účinků ozáření způsobené vnitřní radioaktivní kontaminací po dobu 50 let od příjmu radionuklidu. U dětí se počítá 70 let. Radiotoxická je závislá nejenom na druhu a energii záření, poločase rozpadu, ale také na distribuci kontaminantu do orgánů, biologickém poločase a způsobu vylučování. (Koláček, 2012)

Zjišťování vnitřní kontaminace se provádí měřením aktivity radionuklidů v těle. Zevní měření záření gama nad cílovým orgánem lze provést u štítné žlázy při kontaminaci radioaktivním jodem ^{131}I . Další možností měření vnitřní kontaminace je použití celotělového detektoru. Tyto metody se uplatňují při kontaminaci radionuklidu emitující pronikavého gama záření. (SÚJB, 2005)

Příjem radionuklidů nebo úvazek efektivní dávky z vnitřního ozáření se dále zjišťuje měřením aktivity radionuklidů v exkretách, zejména v krvi a moči a jejím přepočítáním na příjem radionuklidů nebo úvazku efektivní dávky pomocí modelu dýchacího a zažívacího traktu a kinetiky příslušných chemických prvků. Pro výpočet je potřeba znát hodnoty konverzních faktorů, které udávají vztah mezi příjmem radioaktivní látky inhalací nebo ingestí a úvazkem efektivní dávky v těle. Konverzní faktory jsou číselně rovny efektivní dávce připadající na příjem 1 Bq daného radionuklidu. Jednotkou konverzního faktoru je $\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ a jsou tabelizovány v Příloze č. 4 Vyhlášky č. 422/2016 Sb.

Pokud je konverzní faktor pro příjem ^{131}I ingestí (požitím) $h_{\text{ing}} = 2,2\cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$, bude při příjmu 100 MBq (tj. 10^8Bq) ^{131}I ingestí, úvazek efektivní dávky činit hodnotu 2,2 Sv. (Prouza & Švec, 2008)

Efektivní poločas $T_{1/2\text{ef}}$

Efektivní poločas udává dobu, za kterou se sníží celková aktivita podaného radionuklidu vpraveného do těla. Je dán jednak fyzikálním poločasem rozpadu $T_{1/2\text{fyz}}$ a jednak biologickým poločasem $T_{1/2\text{biol}}$, který udává dobu vyloučení poloviny množství radionuklidu z organismu. (Koláček, 2012)

$$T_{eff} = \frac{T_{fyz} * T_{biol}}{T_{fyz} + T_{biol}}$$

V nukleární medicíně má biologický poločas velkou roli při léčbě poruch štítné žlázy. Biologický poločas jódu ve štítné žláze T_{biol} činí 50 dní, jeho fyzikální poločas T_{fyz} je 8 dní. Efektivní poločas radioaktivního jódu ve štítné žláze podle níže uvedeného výpočtu je 6,9 dne.

$$T_{eff} = 8.50 / 8+50 = 6,9$$

Aktivita radiofarmaka musí být volena tak, aby radiační zátěž pro pacienta byla co nejnižší, ale přinášela zároveň dostatečně kvalitní diagnostickou informaci. Optimalizovaná hodnota aktivity stojí mezi dvěma nepřijatelnými limitními hranicemi. Horní mez by představovala pro pacienta vysokou radiační zátěž a dolní mez by při nízké radiační zátěži pro pacienta představovala již nedostatečnou diagnostickou informaci. K výpočtu optimalizované hodnoty nám slouží národní diagnostické referenční úrovně. Neuplatňujeme zde systém limitování, jak je tomu v případě profesního ozáření. DRÚ jsou směrné hodnoty aktivity aplikované při jednom vyšetření (uváděny v MBq), nejedná se o limit, navzdory tomu by u standardního člověka s hmotností 70 kg (± 5 kg) tyto hodnoty neměly být překračovány. To je povoleno pouze v odůvodněných případech, jako vyšší váha pacienta nebo jeho zdravotní stav. I v tomto případě však musí být očekáván diagnostický přínos pro pacienta. (Koranda et al., 2014) Národní diagnostické referenční úrovně pro dospělého člověka bez ohledu na pohlaví jsou uvedeny v Příloze č. 22 Vyhlášky č. 422/2016 Sb., vyhláška o radiační ochraně a o zabezpečení radionuklidového zdroje. Rovněž jsou v této příloze uvedené národní diagnostické referenční úrovně pro vyšetření dospělých pacientů výpočetní tomografií bez ohledu na pohlaví s průměrnou hmotností 70 kg \pm 5 kg při hmotnosti jednotlivých pacientů v rozmezí 50 – 90 kg. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.) NDRÚ pro dětské pacienty nebyly zatím stanoveny, ale jsou SÚJB připravovány v další novele vyhlášky o radiační ochraně.

1.2 Organizace a právní předpisy

V důsledku postupného zvyšování počtu vyšetření v nukleární medicíně, ale i radiodiagnostice a radioterapii, dochází k nárůstu radiační zátěže obyvatel (tj. kolektivní dávky pro tyto aplikace). Proto význam radiační ochrany, jakožto multidisciplinárního oboru nabývá velkého významu. Je složen z dílčích prvků fyziky, chemie, biologie, elektroniky a mnohých dalších. Paradigma radiační ochrany je zabránit vzniku deterministických účinků ionizujícího záření (IZ) a snížit pravděpodobnost vzniku stochastických účinků IZ na minimum, a to jak u obyvatel a pacientů, tak u radiačních pracovníků. Systém radiační ochrany zahrnuje technická a organizační opatření, která slouží k omezení ozáření fyzických osob a k ochraně životního prostředí. V nukleární medicíně a stejně tak i v ostatních oborech, které využívají ionizující záření, se radiační ochrana zabývá způsobem, jak efektivně chránit pacienty a personál před nežádoucími účinky ionizujícího záření. Absolutní prioritou a základem úspěchu je dodržování všech příslušných principů radiační ochrany (zdůvodnění, optimalizace, limitování – obyvatel a radiačních pracovníků a zabezpečení zdroje IZ).

1.2.1 SÚJB

V České republice je radiační ochrana a požadavky na ni právně ukotvené. Kontrolním a licenčním orgánem státní správy pro využití jaderné energie a ionizujícího záření je Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) s regionálními centry v Praze, v Plzni, v Českých Budějovicích, v Ústí nad Labem, v Hradci Králové, v Brně, v Kamenné a v Ostravě, a spolupracující ústavy – Státní ústav radiační ochrany (SÚRO) v Praze a Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany v Příbrami – Kamenné. Tyto podpůrné organizace SÚJB jsou personálně i technicky vybaveny prostředky k provádění výzkumu v oblasti radiační ochrany, provádění radiačního monitorování v případě RMU a hodnocení radiační situace. Působnost SÚJB je dána Zákonem č. 263/2016 Sb., a mimo jiné upravuje povinnosti při přípravě na RMU, odezvě na ní, provedení patřičného zásahu, které vedou ke snížení ozáření osob a životního prostředí. Předsedu SÚJB jmenuje vláda ČR, které je SÚJB přímo podřízen. V souvislosti se

Zákonem č. 263/2016 Sb., atomový zákon byla vydána řada prováděcích vyhlášek. S tématem diplomové práce úzce souvisí:

- Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje
- Vyhláška č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události

Atomový zákon č. 263/2016 Sb., který nabyt účinnosti 1. 1. 2017, implementuje příslušné předpisy Evropské unie, Evropského společenství pro atomovou energii a navazuje na jejich přímo použitelné předpisy. V souvislosti s přijetím „nového“ atomového zákona byl dosavadní Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření a o změně a doplnění některých zákonů, ponechán ve zbytkové formě a upravuje odpovědnost za jaderné škody. Tento zákon byl změněn Zákonem č. 264/2016 Sb., kterým se mění zákony v souvislosti s přijetím atomového zákona. (SÚJB, 2019)

Ministerstvo zdravotnictví České republiky ve spolupráci se Státním úřadem pro jadernou bezpečnost a Českou společností nukleární medicíny vydal podle Zákona č. 373/2011 Sb., o specifických zdravotních službách ve znění pozdějších předpisů, ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví č. 2 ročník 2016 Standardy zdravotní péče „Národní radiologické standardy – Nukleární medicína“. Jsou to postupy, doporučení a návody, na základě kterých si jednotlivá terapeutická a diagnostická pracoviště nukleární medicíny vytváří svoje vlastní místní radiologické standardy. Ty se stávají jedním ze základních závazných dokumentů pracovišť nukleární medicíny. Popisují pracovní postupy na pracovišti na základě tzv. „good practice“ a zajišťují maximální přínos spojený s lékařským ozářením. (Národní radiologické standardy, 2016)

Ve Vyhlášce 410/2012 Sb., o stanovení pravidel a postupů při lékařském ozáření najdeme pravidla ochrany zdraví osob před riziky vyplývajícími z ionizujícího záření v souvislosti s lékařským ozářením, a postupy při radiační ochraně osob při tomto ozáření neupravené národními radiologickými standardy. (Vyhláška č. 410/2012 Sb., 2012)

1.2.2 Předpisy Evropské unie

Do atomového zákona byla implementována Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/123/ES ze dne 12. prosince 2006 o službách na vnitřním trhu. (SÚJB, 2016)

1.2.3 Předpisy Evropského společenství pro atomovou energii

Do vyhlášky o radiační ochraně byla implementována směrnice Rady 2013/59/Euratom ze dne 5. prosince 2013, kterou se stanoví základní bezpečnostní standardy ochrany před nebezpečím vystavení ionizujícímu záření a zrušují se směrnice 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom a 2003/122/Euratom.

Směrnice Rady 2013/51/Euratom ze dne 22. října 2013, kterou se stanoví požadavky na ochranu zdraví obyvatelstva, pokud jde o radioaktivní látky ve vodě určené k lidské spotřebě. (SÚJB, 2016)

Lhůta pro implementaci těchto směrnic do národní legislativy byla pro všechny země EU do 1. 2. 2018. V ČR se toto zdařilo do 1. 1. 2017 a tedy vznikl rok přechodného období, který umožňoval držitelům povolení, SÚJB a ostatním dotčeným odborníkům diskutovat správnou interpretaci nových právních předpisů a jejich uvedení do praxe.

1.2.4 ICRP

Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, vychází z řady mezinárodních směrnic, nařízení, doporučení a sdělení Evropské unie a mezinárodních institucí. Jednou z nich je Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu (ICRP). Tato nezávislá organizace byla založena v roce 1928 a od té doby vydala již více než 100 zpráv. Tyto publikace se staly „zlatým standardem“ v používání zdrojů ionizujícího záření, v hodnocení účinků spojených s expozicí IZ, chápání radiační ochrany a zároveň podává nosné informace o dávkách v orgánech a tkáních a efektivních dávkách vztažených na 1 MBq aplikované aktivity. ICRP pomáhá také při

prevenci rakoviny a jiných onemocnění spojených s expozicí ionizujícího záření. (ICRP, 2019)

Diagnostické referenční úrovně jako směrné hodnoty aktivit byly poprvé představeny v publikaci ICRP 73. Tento účinný nástroj pro optimalizaci radiační ochrany pak byl dále rozvíjen. Aktualizaci těchto hodnot nabízí publikace ICRP 135. Je tak dalším zdrojem nových informací pro odbornou přípravu zdravotnických pracovníků při používání DRÚ. (ICRP Publication 135, 2017)

ICRP 130 se věnuje posuzování dávek z vnitřního ozáření. Hodnotí profesní ozáření, poskytuje nové biokinetické modely, koeficienty a dozimetrické parametry. Pro jednotlivé radionuklidy jsou poskytnuty údaje o ingesci, inhalaci a systémové biokinetice. (ICRP Publication 130, 2015)

Doporučení Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu z roku 1990 nahrazuje publikace ICRP 103 z roku 2007. Na základě nejnovějších a nejdostupnějších poznatků ve fyzice, biologii, radiační ochraně a dalších oborech aktualizují poznatky týkající se ozáření ze zdrojů ionizujícího záření. Objasňují základní principy radiační ochrany a to zdůvodnění, optimalizaci a limitování. Uplatňuje tyto zásady v existujících, plánovaných a nehodových situacích. A v neposlední radě se týká i ochrany životního prostředí. (ICRP Publication 103, 2007)

ICRP 101 se zabývá posuzováním dávek pro účely radiační ochrany veřejnosti. Pro odhad roční dávky s použitím dávkových koeficientů na reprezentativní osobu doporučení zavedlo věkovou kategorii, pro jednoleté dítě, desetileté a dospělé osobu. (ICRP Publication 101a, 2006)

Nejnovější doporučení ICRP 138 se zaměřuje na propojení etických principů se systémem radiační ochrany. Opírá se při tom o publikaci ICRP 103 jako základní pilíř. Tato publikace je věnována všem orgánům, které jednají v zájmu jednotlivce a životního prostředí při použití ionizujícího záření. (ICRP Publication 138, 2018)

1.2.5 IAEA

V rámci systému Organizace spojených národů (OSN) byla v roce 1957 založena Mezinárodní agentura pro atomovou energii. (IAEA) Činnost této organizace spočívá v podpoře mírového využití jaderné energie a je kontrolním a vědeckým orgánem nad dodržováním Smlouvy o nešíření jaderných zbraní. ČR patří mezi členské státy

a s IAEA mají uzavřené dohody týkající se společné myšlenky jaderné bezpečnosti a ochrany před zářením. Všechny bezpečnostní standardy a dokumenty vydané IAEA pomáhají členským zemím uplatňovat tyto standardy do svého systému pro rozvoj radiačních a jaderných technologií v prospěch míru. (IAEA, 2019)

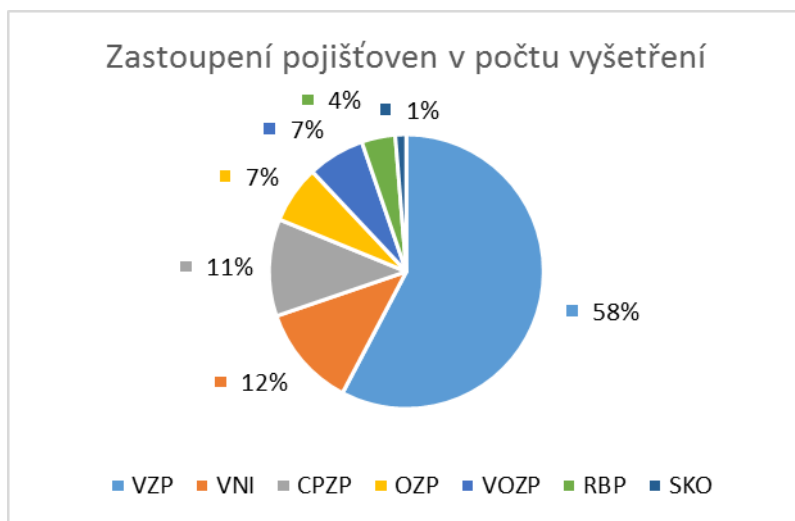
1.2.6 UNSCEAR

Hodnocením účinků ionizujícího záření, radiačního rizika a zavedených ochranných opatření v medicíně, v průmyslu a dalších odvětvích se zabývá vědecký výbor při OSN UNSCEAR.

UNSCEAR sumarizuje data poskytnuté jednotlivými zeměmi, na základě kterých hodnotí velikost lékařského ozáření, úroveň lékařské péče v různých zemích a zastoupení jednotlivých vyšetřovacích modalit. Výbor vydal mnoho významných publikací, v kterých zužitkoval údaje z jednotlivých zemí. Poslední publikace „SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION“ vznikla v roce 2017 a podává rozsáhlé informace o zdrojích ionizujícího záření a jeho vlivu na zdraví populace a životního prostředí. (UNSCEAR, 2019)

Poslední report UNSCEAR uvádějící hodnocení a analýzu dat lékařského ozáření v oboru nukleární medicína vyšel v roce 2016. (UNSCEAR, 2016) Dosud UNSCEAR vydával reporty týkající se lékařského ozáření přibližně po 10 letech. Záměrem UNSCEAR je tvorba reportů s roční periodou a získávání dat od dobrovolně se účastnících zemí prostřednictvím nového on-line webového formuláře. Záměrem SÚJB je rovněž zpracovávat data a údaje pro hodnocení lékařského ozáření na úrovni České republiky každoročně a rutinně je poskytovat pro potřeby UNSCEAR. V ČR mají zdravotní pojišťovny s účinností od 1. 1. 2017 povinnost na vyžádání poskytnout SÚJB

dle § 85 atomového zákona, všechny požadované dostupné údaje pro možnost hodnocení lékařského ozáření v ČR. (Zákon č. 263/2016 Sb.) V současné době SÚJB zpracoval, publikoval a poskytl UNSCEAR anonymizovaná data za r. 2016, 2017 a 2018 a to od všech pojišťoven v ČR.



Graf 1 Zastoupení pojišťoven v počtu vyšetření rok 2016; Zdroj: (SÚJB, 2019)

Tabulka 2 Data zpracované pro nukleární medicínu za rok 2016

3.2: NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA:

Obdobným způsobem byla zpracována data pro nukleární medicínu. V tabulkách č. 12 a č. 13 jsou shrnuty informace o souhrnném počtu vyšetření pro dané diagnostické a terapeutické výkony.

T12: DIAGNOSTICKÉ VÝKONY S GAMA KAMEROU A SPECT NEBO SPECT-CT

Výkon	Počet vyšetření
Nervous system (Tc-99m; I-123)	1 904
Skeletal (Tc-99m)	63 519
Cardiovascular (Tl-201, Tc-99m)	38 964
Pulmonary (Tc-99m)	41 758
Endocrine (Tc-99m, I-123, I-131, Tl-201)	10 760
Gastrointestinal (Tc-99m)	1 470
Genitourinary (Tc-99m)	10 264
Oncology	34 432
Infection/inflammation	13 101
Pulmonary (Kr-81m)	21 844

T13: DIAGNOSTICKÉ VÝKONY S PET A PET-CT

Výkon	Počet vyšetření
Pro účely onkologické (F-18)	1 181
Nervový systém	23 087
Kosti (F-18)	370
Kardiovaskulární (F-18)	252

T14: TERAPEUTICKÉ VÝKONY

Výkon	Počet vyšetření
¹³¹ I pro nenádorová onemocnění štítné žlázy (I-131)	1 106
¹³¹ I pro zhoubné nádory – štítná žláza (I-131 Tc-99m, I-123)	412
Terapie s ¹³¹ I MIBG I-131	55
SIRT (Selective internal radiation therapy) Y-90	1
Metastázy kostí (paliativní léčba)	146
Radiosynovectomy	377
Radioguided surgery	3 426
Ascites Y-90	1
⁹⁹ Tc for malign. thyroid Tc-99m	97
Benign thyroid	184

Zdroj: (SÚJB, 2019)

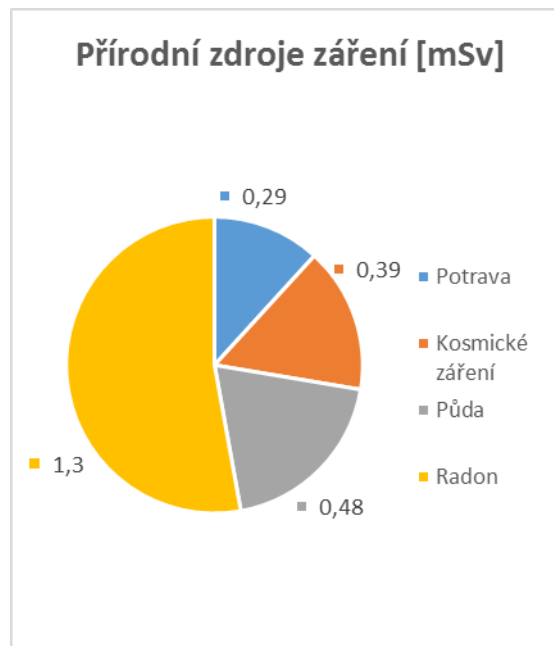
1.3 Radiační zátěž

Při nahlížení na problematiku radiační zátěže spojené s lékařským ozáření, stojí její podstata uprostřed dvou postojů. Prvním z nich je přehnaný strach z účinků IZ, protože je předpokládáno, že s rostoucí dávkou se zvyšuje pravděpodobnost vzniku nádorů a genetických změn (a to bezprahově), což může u některých jedinců vzbudit pocit radiofobie. Druhý postoj souvisí s podceňováním a zlehčováním důsledků radiační zátěže. Ionizující záření je součástí života na Zemi. Radioaktivita je přítomná všude kolem nás. Radionuklidy obsažené v lidském těle člověka tvoří 9 % z přírodního ozáření, velkou část z přírodního záření tvoří terestrální gama záření, kosmické záření a největší podíl má expozice z radonu v budovách. (SÚRO, 2019) Jeho zvýšený výskyt je podle Světové zdravotnické organizace jedním z příčin tzv. Sick Building Syndrome – syndrom nezdravých budov (SICK BUILDING, ©2019).

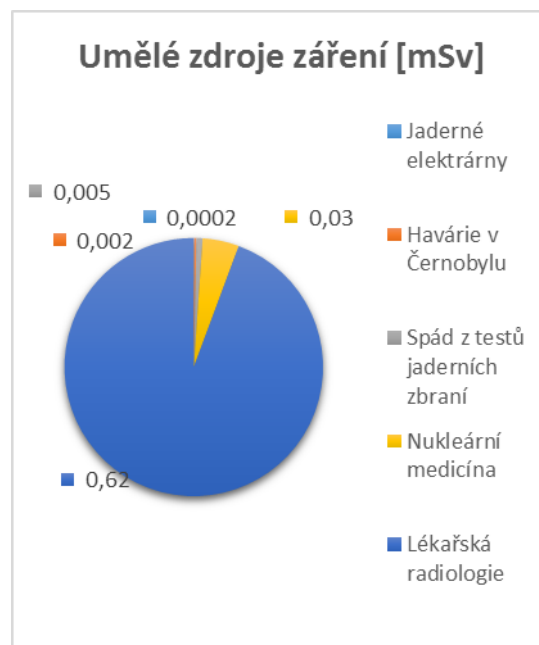
Radon je všudypřítomný přírodní radioaktivní plyn. Nebezpečné pro zdraví jsou hlavně jeho dceřiné produkty. Vzniká postupnou přeměnou uranu, který je v různých množstvích přítomen ve všech materiálech zemské kůry. Radon sám se přeměňuje na další radioaktivní prvky jako izotopy polonia, olova a bizmutu, ty se při vdechování zachycují v dýchacích cestách a ozařují je. Do domu se dostává nejčastěji ze země, z podlahy pod budovou, kde mohou být vysoké koncentrace radonu. Protože ve vytápěné budově vzniká u podlahy sklepa a přízemí mírný podtlak, je radon nasáván z podlahy různými prasklinami a netěsnostmi. Zpravidla menší význam má uvolňování radonu ze stavebního materiálu a podzemní vody přiváděné do budov. Průměrná hodnota objemové aktivity v České republice je přibližně 118 Bq/m³. Hodnoty v některých oblastech se však můžou dostat až na dvojnásobné nebo trojnásobné hodnoty. Pokud by se pacientovi prováděl rentgenový snímek plic každý den, jednalo by se o přibližně stejnou hodnotu. (SÚRO, 2019) Z hlediska vnitřní kontaminace je nezanedbatelný podíl ozáření z izotopu draslíku ⁴⁰K. Průměrná roční efektivní dávka tvoří přibližně 0,17 mSv. (Seidl et al., 2012)

Umělé zdroje ionizujícího záření v porovnání s radioaktivitou přirozenou tvoří malou část. Zdravotní dopady však mohou být podstatně větší. Ionizující záření působí na buňku, dochází k jeho absorpci a k celé řadě reakcí, které mohou vést k smrti buňky nebo genetickým poškozením. Jednotlivé tkáně mají různou citlivost k ozáření. To

znamená, že při stejné absorbované dávce se v různých tkáních projevují rozdílné biologické účinky. Poškozená buňka je zároveň schopná reparačních procesů. Buňce se vrací schopnost dělení a tkáň regeneruje. (Nedvědová, 2012)



Graf 2 Přírodní zdroje záření; Zdroj: (UNSCEAR, 2018)

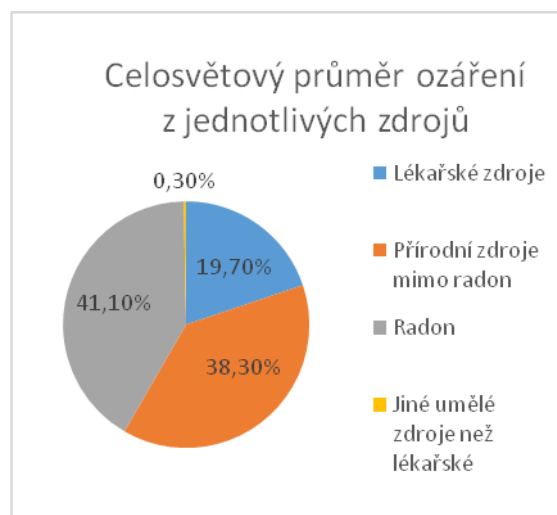


Graf 3 Umělé zdroje záření; Zdroj: (UNSCEAR, 2018)

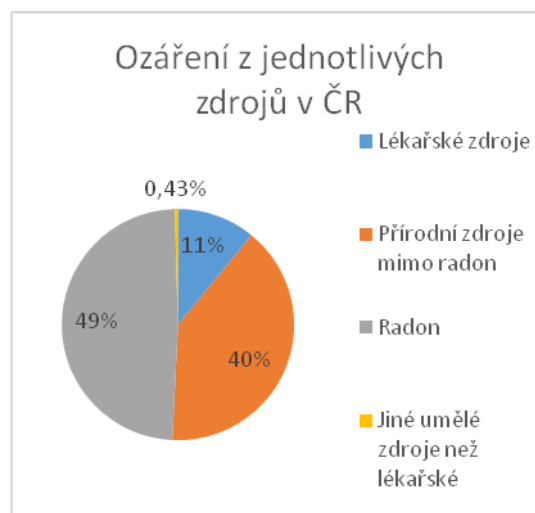
Průměrná efektivní dávka z přírodních zdrojů v České republice je mezi 3 – 3,5 mSv za rok, což je o zhruba o 1,2 mSv víc než v ostatních zemích Evropské unie. (Glatzner

& Polko) Výjimku tvoří Itálie – 5 mSv, Německo - 4,8 mSv. (FN MOTOL, ©2012) Celosvětový průměr je přibližně 2,46 mSv za rok, ale jsou místa, které mnohonásobně převyšují tuto hodnotu. (UNSCEAR, 2016) Mezi umělé zdroje, jiné, než lékařské se počítají spady ze zkoušek jaderných zbraní, po havárii jaderné elektrárny v Černobylu a výpustí z jaderných zařízení.

Jedním z největších zdrojů ozáření lidí ve Spojených Státech je právě lékařské ozáření. Lékařské zdroje v USA tvoří až 50 % z celkového ozáření populace. Největší podíl na tom má počítačová tomografie. Ozáření spojené s vyšetřením nukleární medicíny se dostalo na druhé místo. (Kubinyi et al., 2018)



Graf 4 Celosvětový průměr ozáření z jednotlivých zdrojů; Zdroj: (Kubinyi et al., 2018)



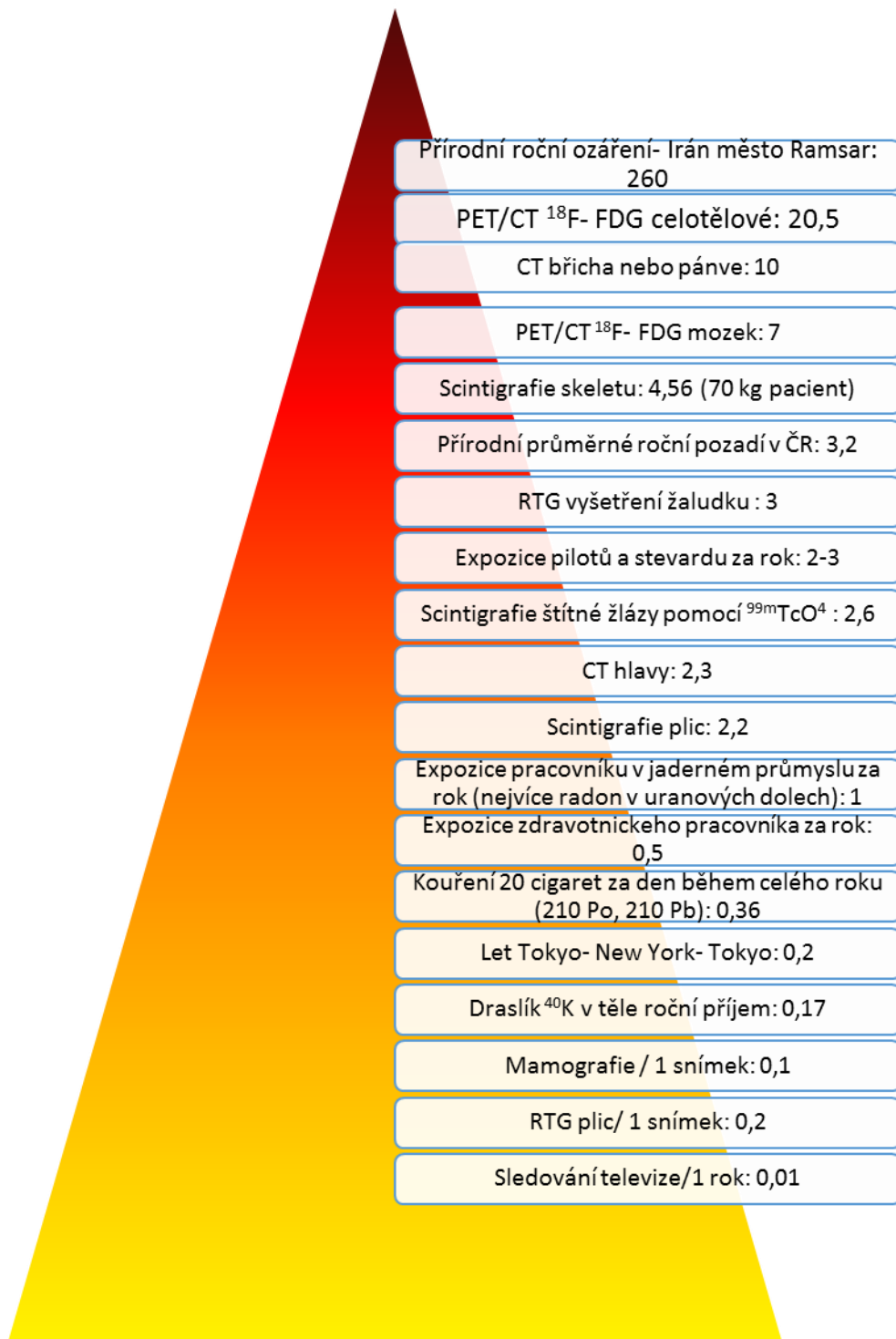
Graf 5 Průměrné ozáření z jednotlivých zdrojů v ČR; Zdroj: (SÚRO, 2019)

Tabulka 3 Riziko při ozařování dávkami

menšími než 0,1 mSv	úplně zanedbatelné
od 0,1- 1 mSv	minimální
1- 10mSv	velmi nízké
10 do 100 mSv	nízké

Zdroj: (Kubinyi et al., 2018)

Po porovnání roční limit pro radiačního pracovníka činí 20 mSv a pro obyvatelstvo 1 mSv za rok.



Obrázek 1 Hodnoty efektivních dávek z ozáření z různých zdrojů vyjádřené v mSv

Zdroj: (Kubinyi et al., 2018), (SÚRO, 2019), (Válek, 2016), (FN MOTOL, ©2012)

1.4 Biologické účinky ionizujícího záření

I nízká dávka ionizujícího záření může být spojena s rizikem nepříznivých účinků, je proto třeba dbát, aby dávky záření byly co nejmenší. Cílem radiační ochrany je zabránění vzniku deterministických účinků. S těmi se při plánovaných situacích na odděleních nukleární medicíny nesetkáme. Došlo by k nim v případě závažných radiačních nehod nebo havárií. Rovněž se za cíl radiační ochrany klade, aby stochastické účinky byly na co nejnižší rozumně dosažitelné úrovni pro jednotlivce i obyvatelstvo. (Hudzietzová, 2013)

1.4.1 Deterministické účinky

Deterministické účinky mají typický klinický obraz a se stoupající dávkou se zvyšuje intenzita jejich projevů, jejich zdravotní závažnost je závislá na dávce. Jedná se o prahovou závislost, kdy pod tzv. prahovou dávkou k poškození tkáně nedojde a deterministický účinek se neprojeví. Mezi deterministické projevy řadíme akutní nemoc z ozáření nebo také akutní radiační syndrom. Vzniká po jednorázovém celotělovém ozáření dávkou pronikavého záření vyšší než 1 Gy. Tato nemoc byla hojně popsána u obětí jaderného útoku na Japonsko v roce 1945, dále u nemocných po havárii v Černobylu v roce 1986 a dalších nehodách reaktorů nebo při ztrátě kontroly nad radionuklidovými zdroji. (SÚRO, 2019) Příznaky ozáření se projevují v průběhu hodin až týdnů. Tato skutečnost závisí na obdržené dávce. (Súkupová, 2013) Dělí se na formu hematologickou, kdy dochází k poruše krvetvorby, pokud se dávka pohybuje od 6 do 10 Gy projevy jako zvracení a nevolnost se objevují daleko dříve, již po několika hodinách. Další forma je gastrointestinální, při které selhává činnost trávicího systému a jeho stavby, minerální a iontový deficit. Třetí forma je neurovaskulární. Tato forma nastává při vysokých radiačních dávkách 30 Gy a výše, a způsobuje jednak selhání mechanismu cévního zásobení a jednak mechanismu centrálně nervové soustavy. Příčinou je poškození nebo zcela zničení rychle se dělících radiosenzitivních buněk v organismu. Patří sem porucha krvetvorby, výstelky střeva a pohlavní žlázy. Mezi další časné deterministické účinky patří radiační dermatitida, poškození fertility, pozdně katarakta oční čočky.

1.4.2 Stochastické účinky

Při nižších dávkách, než jsou prahové, nedochází k akutnímu poškození, ale s rostoucí dávkou od nuly předpokládáme zvýšení pravděpodobnosti vzniku zhoubných nádorů a genetických změn. Stochastické účinky jsou vyvolány změnami v genetické informaci buňky (mutacemi), které jsou způsobeny ozářením. Mohou se vyskytnout u ozářených jedinců náhodně, ale s určitou pravděpodobností, která roste s dávkou. Průběh a závažnost vzniklého onemocnění již na dávce závislé nejsou. Mezi stochastické účinky se řadí vznik zhoubných nádorů, genetické změny a mutace. Můžou se vyskytovat dlouhou dobu po ozáření, několik let až desítky roků. (SÚJB, 2019)

Pro vyšetření pacientů metodami nukleární medicíny, ale i radiodiagnostiky, udává ICRP hodnoty celoživotního rizika stochastických účinků vztaženého na 1 Sv efektivní dávky. Ke koeficientům celkové zdravotní újmy jsou zahrnuty koeficienty rizika na zhoubný nádor fatální, vyléčený nádor a koeficient dědičných poškození. Např. celoživotní riziko rakoviny vyvolané při vyšetření PET s použitím radionuklidu ^{18}F je 1:2700; lze tedy říct, že při vyšetřování 2700 pacientů se vyskytne 1 úmrtí na karcinom vzniklý v důsledku stochastického účinku IZ. (Kubinyi et al., 2018) Pravděpodobnost, že úmrtí člověka způsobí rakovina je 25 %. Vystavení jedince 100 mSv, zvýší pravděpodobnost smrti na rakovinu o 0,5 %.

Regulace radiační zátěže pacientů je prováděna primárně dodržováním principu odůvodnění a optimalizace. Přínosy použití metod v oblasti nukleární medicíny jsou nepochybné a v odůvodněných a optimalizovaných postupech převyšují rizika. To však platí pouze v případě, že všechny provedené výkony jsou optimalizovány tak, aby byla dosažena nejlepší kvalita obrazu při nejnižší radiační zátěži pacienta.

Systém radiační ochrany rovněž zvažuje veškerá možná opatření, k zabránění nadměrného ozáření personálu a dalších osob. Ozáření pacientů a počet individuálních dávek musí být v souladu se základním principem ALARA (As Low as Reasonable Achievable), tj. tak nízké, jak je rozumně dosažitelné z hledisek hospodářských a sociálních. (Kupka et al., 2015) V současné době je k principu optimalizace mezinárodně přistupováno spíše tak, aby byla dostatečně implementovaná již zaváděná „good practice“, neboť v některých případech jsme již na základě dlouhodobých zkušeností a průzkumu „na hranici svých možností“ se snižováním

dávek, přičemž stávající dobrá praxe se považuje za optimalizovanou. Hledisko hospodářské a sociální se dostává mírně do pozadí, resp. není tím primárním aspektem.

Zásadní a stále diskutovaná je otázka zdůvodnění lékařského ozáření, tj. i usměrňováním počtu vyšetření. Klinickou odpovědnost za zdůvodnění a optimalizované provedení lékařského ozáření v důsledku nese aplikující odborník. Tým nukleární medicíny tvoří řada dalších vzdělaných odborníků, a každý z nich má nezastupitelnou roli v procesu vyšetřování pacienta. Na vyšetření, které je spojené s dávkou ionizujícího záření se dále podílí radiologický asistent, specializovaný lékař v oboru nukleární medicíny anebo radiologie (v případě PET/CT vyšetření) a klinický radiologický fyzik. (Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky, 2016)

1.5 Radiační zátěž pacienta z lékařského ozáření

Radiační zátěž pacientů z lékařského ozáření je závislá na četnosti vyšetření a na efektivní dávce, kterou pacient obdrží. Celosvětově nejvíce stoupá frekvence PET/CT vyšetření. (Kubinyi et al, 2018) Jedná se o vysoce citlivou zobrazovací techniku používanou v onkologii, kardiologii, neurologii a při infekčních a zánětlivých onemocněních. Zobrazování pomocí zařízení, které kombinuje pozitronovou emisní tomografii a výpočetní tomografii (PET/CT), poskytuje výhody obojího v jednom postupu. PET vyšetří oblasti se zvýšenou metabolickou aktivitou, zatímco CT vyšetření ukáže detailní anatomické umístění. Kombinace těchto dvou obrazů umožňuje lékařům zjistit, zda je oblast s vysokou metabolickou aktivitou významná, a pokud ano, definitivně uvést, kde se toto místo nachází. Dávka záření z PET snímání může být nízká přibližně 7 mSv pro vyšetření celého těla. Pokud se přičítává dávka z diagnostického skenování s vysokým rozlišením, dávka může být poměrně vysoká (dokonce 20 až 30 mSv pro vyšetření celého těla).

Radiační zátěž pacientů při hybridních zobrazovacích metodách vyplývá z aplikovaného radiofarmaka a z rentgenového záření generovaného CT přístrojem. Odhad dávky záření závisí na typu použitého radiofarmaka, množství podané radioaktivity, fyziologii pacienta a na parametrech použitých pro CT snímání (Kaushik et al., 2013).

Na lůžkové části oddělení nukleární medicíny se nejčastěji provádí terapie hypertyreózy a diferencovaného karcinomu štítné žlázy (ŠŽ) pomocí radioaktivního jódu ^{131}I . Hypertyreóza, neboli zvýšená funkce štítné žlázy, je benigní onemocnění a možnost této léčby představuje jinou alternativu než je chirurgické odstranění nebo podání léků. Karcinom štítné žlázy postihuje přibližně 1,5 % lidské populace, ale je zde až 90% úspěšnost plného uzdravení. (Vlček, 2012) Rychlý vzestup nemocných pacientů s karcinomem štítné žlázy ukazuje na potřebu efektivního využití všech dostupných informací z oboru endokrinologie, nukleární medicíny, onkologie a chirurgie. Nízká úmrtnost a průběh léčby bez výrazných komplikací umožňuje možnost dosažení vysokých dávek ozáření přímo v cílové tkáni, tedy bez ozáření zdravé okolní struktury. (Kupka, 2015)

Radioaktivní izotop jódu ^{131}I je smíšený zdroj beta a gama s poločasem radioaktivní přeměny 8,04 dne a energií 364 keV. Jeho dceřiný radionuklid je metastabilní xenon $^{131\text{m}}\text{Xe}$. Kvůli svým vlastnostem může značně přispívat k radiační zátěži pacientů, personálu a taky obyvatelstva. Aplikovaná aktivita se pohybuje od 300 MBq – 10 GBq. (Radiační ochrana, 2000) ^{131}I se podává ve formě želatinových tobolek nebo kapaliny (izotonický roztok Na^{131}I). Podle výsledků monitorování vybraných radiačních pracovníků z roku 2017, bylo zjištěno, že při používání kapslí, došlo ke snížení radiační zátěže personálu. Byla naměřena nižší hodnota vnitřní kontaminace štítné žlázy radiačních pracovníků. Tato metoda se na odděleních nukleární medicíny i vzhledem k jednodušší manipulaci osvědčila. (Nukleární medicína, 2017)

1.6 Radiační zátěž pacienta po aplikaci ^{131}I

Většina radiojódů je z těla vyloučena již v prvním týdnu terapie. Malé množství může v těle pobývat až po dobu 3 měsíců. Radioaktivní jód se vylučuje potem, slinami, močí a stolicí. Vysoká absorbovaná dávka v močovém měchýři se sníží dodržováním většího množství příjmu tekutin, zejména v prvních dvou dnech po aplikaci ^{131}I . Při radiační zátěži pacienta se počítá s absorbovanou dávkou ve štítné žláze a taky efektivní dávkou ve zbytku těla.

Tabulka 4 Rozdíly v absorbované a efektivní dávky pro léčbu karcinom štítné žlázy

	Karcinom štítné žlázy	Hypertyreóza
Aplikovaná aktivita ¹³¹ I	7400 MBq	370 MBq
Akumulace ¹³¹ I ve ŠŽ	0,1 %	25 %
Absorbovaná dávka v ŠŽ	56 Gy	140 Gy
Efektivní dávka po aplikaci ¹³¹ I	0,96 Sv	0,054 Sv
Absorbovaná dávka v močovém měchýři	3 Gy	0,2 Gy
Absorbovaná dávka v kostní dřeni	0,7	0,035

Zdroj: (Hudzičková, 2012, s. 104)

Práce na lůžkovém oddělení nukleární medicíny je velice specifická. Režim oddělení se výrazně liší od režimu jiných oddělení. Komunikace a sociální kontakt patří v ošetrovatelské péči k nejdůležitějším schopnostem zdravotnické profese. (Fialová, 2007) Vše je však na ONM podmíněno faktem, že se zde při práci pracuje s otevřenými radionuklidovými zdroji, tedy s ionizujícím zářením. Pobyt s nemocným pacientem a komunikace s ním se omezuje na co nejkratší možnou dobu. Pacient před nástupem na terapii ONM musí být řádně poučen o zásadách chování v prostorách kontrolovaného pásma. To znamená, že během celého pobytu na oddělení nosí ústavní oblečení, jednorázové spodní prádlo, jednorázové kapesníky, dodržuje zvýšenou pozornost hygieny rukou, zejména po použití WC. (Radiční ochrana, 2000) Pacient je propuštěn do domácího léčení v případě, že dávkový příkon měřený 1 m od pacienta je menší než 12 μ Sv/hod, co odpovídá přibližně hodnotě aktivity 250 MBq v organismu. Pacient je dále písemně i ústně poučen o dodržování zásad (karantény) po odchodu z nemocnice, které mají zajistit omezení kontaminace rodinných příslušníků, resp. ostatních obyvatel. (Zákon č. 263/2016 Sb.)

1.7 Snížení radiační zátěže v NM

Snížením podávané aktivity radiofarmaka se sníží radiační zátěž pacientů. Avšak ovlivněné mohou být též zobrazovací parametry vyšetření a může dojít k snížení kvality obrazu. To může mít za následek nižší viditelnost oblastí zájmu orgánů nebo tkáně.

Proto je třeba dbát na to, aby byla zachována dostatečná kvalita diagnostického obrazu při použití co nejnižších aplikovaných aktivit. Dostatečná hydratace a časté močení pacienta je účinným prostředkem ke snížení absorbované dávky a orgánových dávek z radiofarmak, které se vylučují ledvinami. Další možností je podání léků k zablokování činnosti štítné žlázy (chloristan draselný). Kontraindikací je v tomto případě vyšetření štítné žlázy. (Ptáček & Hušák, 2004)

1.8 Těhotenství

Vyšetření těhotné ženy je prováděno pouze v nezbytně nutných případech, při čemž očekávaný přínos vyšetření musí převažovat nad možnými riziky pro matku a plod. Uplatňuje se zde opět první princip radiační ochrany – princip zdůvodnění. Před aplikací kojícím ženám je nutné uvážit, zda je možné vyšetření odložit na dobu, kdy bude kojení ukončeno a zda je vzhledem k možnosti sekrece do mateřského mléka dané radiofarmakum vhodné. Je-li aplikace nezbytná, je nutné přerušit kojení na 8 hodin a mléko, které se v prsu vytvoří, je nutno odsát a znehodnotit. Při terapii štítné žlázy je těhotenství a laktace úplnou kontraindikací. Doporučuje se možnost těhotenství při aplikaci velkých dávek radioaktivního jódu rok po ukončení léčby v případě karcinomu ŠŽ, v případě hypertyreózy tato doba činí půl roku. (Radiační ochrana, 2000)

1.9 Radiační mimořádná událost

Z obecného hlediska můžeme mimořádnou událost vyjádřit jako škodlivé působení sil a jevů, které jsou vyvolané jednak činností člověka a jednak přírodními vlivy a také havárie, které vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací. (Zákon č. 239/2000 Sb.)

RMU je událost, která již vede nebo může vést k překročení limitů ozáření, a která vyžaduje opatření, jež by zabránila překročení těchto limitů, anebo zhoršení vzniklé situace, a tím ochránila fyzické osoby a životní prostředí (ŽP) před nepříznivými vlivy. (Zákon č. 263/2016 Sb.)

RMU nastane, pokud se radionuklidový zdroj nebo generátor záření z různých důvodů vymkne kontrole. Jedná se o události, které vedou k ozáření, případně ke kontaminaci pracovníků, ke kontaminaci pracoviště, anebo k možnému uvolnění radioaktivních látek do životního prostředí. Cílem havarijní připravenosti je rozpoznat vznik radiační mimořádné události, zmírnit její průběh a omezit dopady na zdraví zaměstnanců a obyvatelstva. Při vzniku RMU se každý držitel povolení pro nakládání se ZIZ musí řídit postupy uvedenými ve schváleném nebo kladně posouzeném Vnitřním havarijním plánu. (Vyhláška č. 359/2016 Sb.)

1.9.1 Radiační mimořádná událost 1. Stupně

Je to mimořádná událost, která může vést k nepřipustnému uvolnění radioaktivní látky nebo nepřístupnému ozáření pracovníků oddělení. Je zvládnutelná silami a prostředky osoby v pracovní směně, při které k RMU došlo. Držitel povolení musí vyrozumět SÚJB o této skutečnosti do 24 hodin po jejím vzniku.

1.9.2 Radiační nehoda

Je to mimořádná událost, která může vést k nepřipustnému uvolnění radioaktivní látky nebo závažnému ozáření pracovníků oddělení. Její odvrácení již není možné jenom s pomocí osoby v pracovní směně, při které RMU vznikla, nebo vzniklá v důsledku nálezu, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje. Povolány jsou další osoby zajištěné smluvně, a jsou určeny ve vnitřním havarijním plánu oddělení. Držitel povolení je povinen tyto osoby jakož i SÚJB obeznámit se vznikem RMU nejpozději do 4 hodin. Radiační nehoda však nevyžaduje zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo.

1.9.3 Radiační havárie

Jedná se o nejzávažnější stupeň mimořádné události, která není zvládnutelná silami

a prostředky obsluhy anebo pracovní směny osoby, při jejíž činnosti RMU vznikla, nebo vzniklá v důsledku nálezu, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje. Vyžaduje neodkladné ochranné opatření pro obyvatelstvo, kterým může být evakuace, ukrytí a jodová profylaxe podáním jodidu draselného (KI). KI se podává perorálně k nasycení štítné žlázy. Tím se podstatně sníží vychytávání radioaktivních nuklidů jódu během pobytu radionuklidu v zamořeném prostředí. SÚJB jakož i dotčené orgány (hejtman KÚ) jsou vyrozuměni o vzniku radiační havárie ihned po jejím zjištění. (Zákon č. 263/2016 Sb.)

1.10 Zvládnutí RMU

Zvládnutí radiační mimořádné události je systém jednotlivých postupů a opatření. Přijetím Zákona č. 263/2016 Sb., atomového zákona, nabyly tyto postupy právního rozměru. Držitel povolení s nakládáním zdroje ionizujícího záření je povinen se tímto zákonem řídit a implementovat jednotlivé postupy do praxe. Pokud tento zákon neupravuje některé skutečnosti, postupuje se na základě Zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů, a Zákona č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů.

Jak bylo zmíněno výše, v nukleární medicíně se využívá množství otevřených radionuklidových zdrojů a vznikají pevné i kapalné radioaktivní odpady. Může dojít k vnitřní i vnější (povrchové) kontaminaci osob, resp. předmětů. Lidské pochybení, poškození zařízení nebo ztráta kontroly nad zdrojem IZ může vést ke vzniku RMU. Dopady pro radiační pracovníky a životní prostředí nejsou zanedbatelné. Zamezení vzniku RMU, resp. snížení nebo odvrácení jejích dopadů spočívá v důsledné preventivní analýze a hodnocení možných druhů RMU přicházejících v úvahu na pracovišti a důsledným vzděláváním radiačních pracovníků i dotčených zaměstnanců o prevenci vzniku RMU, možnostech a postupech k odvrácení nepříznivých následků RMU.



Obrázek 2 Schéma průběhu zvládnutí RMU

Zdroj: vlastní zpracování

1.10.1 Analýza a hodnocení

Analýza v úvahu připadajících radiačních mimořádných událostí, jejich příčin a rozsahu, možného ohrožení osob a životního prostředí, a následné hodnocení jejich dopadů je uvedena v dokumentu pro povoloanou činnost – Analýza a hodnocení radiační mimořádné události. Provádí se pro celé období nakládání se zdroji ionizujícího záření. (Zákon č. 263/2016 Sb.)

Mezi uvažované mimořádné události na oddělení nukleární medicíny, tedy na pracovišti s otevřenými radionuklidovými zdroji řadíme:

- Rozlití nebo rozstříknutí radiofarmaka
- Pomočení (znečištění) pacienta po aplikaci radiofarmaka
- Zvracení pacienta po aplikaci radiofarmaka
- Požár na ONM
- Zatopení pracoviště
- Protržení odpadního potrubí z lůžkové části ONM
- Ztráta zdroje ionizujícího záření

- Odcizení zdroje ionizujícího záření
- Překročení zásahových úrovní při monitorování pracoviště
- Neplánový únik radioaktivního odpadu do životního prostředí

Lze předpokládat, že při očekávaném způsobu používání zdrojů by mohlo na ONM dojít k radiační mimořádné události 1. Stupně a radiační nehodě. (Dokument k povolované činnosti na pracovišti – Analýza a hodnocení radiační mimořádné události ONM NČB, 2018)

1.10.2 Přípravenost k odezvě

Příprava k odezvě na RMU zahrnuje odbornou přípravu a seznamování všech fyzických osob určených k provádění činností se ZIZ s vnitřním havarijním plánem a zásahovými instrukcemi. Tato opatření slouží k odvrácení RMU nebo zmírnění dopadů již vyniklé RMU. Zásahové instrukce jsou součástí vnitřního havarijního plánu a povoluje je SÚJB. Držitel povolení je povinen s instrukcemi obeznámit všechny osoby, které mohou být RMU dotčeny. Držitel povolení prostřednictvím dohlížející osoby nad radiační ochranou provádí pravidelné ověřování (roční interval) znalostí a další vzdělávání v oblasti organizačního, technického, ale i materiálního zajištění. (Zákon č. 263/2016 Sb.)

System přípravenosti k odezvě na RMU zajišťuje vyhlášení jejího vzniku, zařazení do příslušné kategorie RMU, následné vyrozumění dotčených osob orgánů, řízení a provázení odezvy na RMU a také zdravotnické zabezpečení a co největší omezení ozáření. Primární součástí systému odezvy na RMU je důkladné vedení dokumentace, ve které jsou mimo jiné uvedeny postupy v případě RMU. Klíčovými dokumenty je Analýza a hodnocení RMU, Vnitřní havarijní plán a zásahové postupy. Přípravenost k odezvě na RMU je hodnoceno každoroční zprávou Hodnocení zajištění RO, kterou držitel povolení zasílá SÚJB do 30. 4. následujícího roku. Podle § 16 Vyhlášky 359/2016 Sb., o podrobnostech zajištění zvládnání radiační mimořádné události se havarijní přípravenost ověřuje cvičením zásahových instrukcí, pokud může na pracovišti se ZIZ vzniknout RMU 1. stupně. Při možnosti vzniku radiační nehody se musí provádět havarijní cvičení, a to v intervalu 2 roky. (Zákon č. 263/2016 Sb.)

Pracoviště se ZIZ a činnosti v rámci expozičních situací se podle § 2 Vyhlášky č. 359/2016 Sb., vyhláška o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události, dělí podle míry ohrožení do kategorie A až E. Pracoviště ONM patří do kategorie D. (Vyhláška č. 359/2016 Sb.)

Tabulka 5 Rozdělení pracoviště se ZIZ do kategorie ohrožení

Kategorie	Pracoviště
A	- energetické jaderné zařízení
B	- jaderné zařízení jiné než v kategoriích A, mimo JZ s možností vzniku RMU 3. stupně (radiační havárie) - pracoviště IV. kategorie
C	- JZ a pracoviště IV kategorie bez možnosti vzniku RMU 3. stupně
D	- činnosti expozičních situací *, včetně nálezu, ztráty, nebo zneužití radionuklidového zdroje - přeprava radioaktivní nebo štěpné látky se vznikem RMU 2. nebo 3. stupně
E	- JZ nebo pracoviště se ZIZ na území sousedícího státu, s ochrannými opatřeními pro obyvatelstvo ČR

*Expoziční situace se rozdělují na:

1. Plánované expoziční situace: záměrné využívání zdrojů
2. Existující expoziční situace: ozáření z přírodních zdrojů na pracovišti, ve stavbách, voda a stavební materiály, následek nehod
3. Nehodové expoziční situace: vzniká buď svévolně nebo při plánované expoziční situaci (Pašková, 2016)

Zdroj: (Vyhláška č. 359/2016 Sb.)

Zásahové instrukce

Jedná se o konkrétní činnosti zaměstnanců a dalších osob, které se podílejí na provedení zásahu při RMU. Zpracovává je držitel povolení v písemné podobě, a je povinen

seznamovat s ním všechny osoby pracující se ZIZ. Zásahové instrukce obsahují zejména popis činností a jejich organizační zajištění, dále seznam ochranných pomůcek, přístrojového a technického vybavení, místo jeho uložení. Nedílnou součástí je zajištění dokumentace v potřebném rozsahu. Seznam zásahových instrukcí je přílohou k VHP a musí být trvale zpřístupněn všem zaměstnancům pracujícím se ZIZ. (Vyhláška č. 359/2016 Sb.)

Vnitřní havarijný plán

Na pracovišti nukleární medicíny se pracuje s otevřenými radionuklidovými zdroji. I když každé takové pracoviště dbá na radiační ochranu, lze důvodně očekávat, že by mohlo dojít k radiační mimořádné události. Pokud k takové situaci dojde, postupuje se na základě vnitřního havarijního plánu oddělení a zásahových instrukcí nukleární medicíny. Jeho revize se provádí každé 4 roky, pokud nedošlo k zásadní změně. V tomto případě je jeho aktualizace okamžitá a předložena k posouzení SÚJB. Požadavky na jeho obsah jsou stanoveny Vyhláškou č. 359/2016 vyhláška o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události. Tato vyhláška ukládá držiteli povolení povinnost zpracovat vnitřní havarijný plán s těmito náležitostmi:

- Základní údaje týkající se držitele povolení s nakládáním se zdroji ionizujícího záření, předmět, rozsah jeho činnosti, místo a čas jeho trvání
- Možné mimořádné události, způsoby jejich vyhlášení
- Způsoby omezení ozáření zaměstnanců a dalších osob, zdravotnické péče o ně
- Způsoby, jak se bude prověřovat havarijní připravenost
- Seznam orgánů státní správy a dalších dotčených orgánů, způsob předávání údajů SÚJB (Vyhláška č. 359/2016 Sb.)

1.10.3 Odezva na RMU

§ 151 atomového zákona mimo jiné uvádí, že odezva na RMU je souborem takových opatření, které kladou za cíl „*znovunabytí kontroly nad vzniklou situací a zabránění*

následkům vzniklé radiační mimořádné události, včetně neradiačních následků, nebo jejich zmírnění.“ (Zákon č. 263/2016Sb.)

Součástí řešení RMU kterou je držitel povolení povinen dle vnitřního havarijního plánu zajistit je náležitá odezva na vzniklou RMU. Ta zahrnuje tyto opatření:

- Po překročení zásahové úrovně zavést bez prodlení odezvu na RMU
- Varovat všechny osoby nacházející se v blízkosti zdroje IZ
- Informovat osoby stanovené VHP, SÚJB a též všechny dotčené orgány
- Spolupráce s HZS ČR
- Kontrola fyzických osob, které se podílejí na průběhu odezvy RMU
- Podle programu monitorování zajišťovat neustálý monitoring a informování SÚJB
- Podílet se na likvidaci následku RMU a nápravy stavu po RMU
- Zpracovat příslušnou dokumentaci, a to zprávu o vzniku a průběhu RMU
- Uchovávat záznam o průběhu RMU 5 let (Zákon č. 263/2016 Sb.)

1.11 Monitorování

Ke kontrole vnější i vnitřní kontaminace osob a pracovního prostředí nám slouží systém monitorování. Je to cílené měření veličin, charakterizující ozáření osob, povrchové kontaminace radionuklidy nebo pole záření. Pro posouzení optimalizace radiační ochrany na pracovišti se tyto hodnoty zaznamenávají a následně hodnotí. Dokument pro povolenou činnost nakládání se ZIZ, který popisuje způsoby a rozsah monitorování na pracovišti, je Program monitorování. Je to metodika měření, která zodpovídá na otázky:

Co měřit? Kdy měřit? S čím měřit? Kde měřit? Jak měřit?

Nedílnou součástí je správně výsledky zdokumentovat. Program monitorování je určen pro běžný provoz, předvídatelné odchylky a RMU. Monitorování se provádí soustavně a operativní, tedy jenom při určité činnosti. (Koláček, 2012)

Na ONM NČB dochází k monitorování osob, pracoviště a výpustí. Pro všechny veličiny z Programu monitorování se stanovují MONITOROVACÍ ÚROVNĚ. Při jejich překročení musí dojít k provedení předem stanovených postupů. (Dokument k povolované činnosti na pracovišti – Program monitorování NČB, 2018)

Záznamová úroveň

Oddělují hodnoty zanedbatelné od hodnot, které si zaslouží pozornost a zaznamenání. Tato hodnota odpovídá 1/10 limitů ozáření. Na každém přístroji je určená nejmenší detekovatelná hodnota. Hodnota záznamové úrovně musí být vyšší nebo rovna této nejnižší měřitelné hodnotě.

Vyšetřovací úroveň

Její překročení dává podnět k vyšetření příčin odchylky sledované veličiny. Tato hodnota odpovídá 3/10 limitů ozáření, nebo jako horní mez obvykle se vyskytujících hodnot.

Zásahová úroveň

Úlohou těchto úrovní je včas varovat a provést předem stanovené postupy, které vedou jednak k nápravě zjištěného výkyvu nebo k zamezení nežádoucího rozvoje již vzniklého stavu. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

1.11.1 Osobní monitorování

K monitorování osob se používají integrální dozimetry.

Osobním dozimetrem (OD) se měří osobní dávkový ekvivalent, který se při vyhodnocení následně přepočítává na efektivní dávku. Pro pronikavé záření se uvažuje ozáření o hloubce tkání 10 mm. OD se nosí na referenčním místě, což je přední levá strana v oblasti hrudníku, vyhodnocuje se měsíčně akreditovanou firmou. Radiační

pracovník je povinen ho nosit při každém vstupu do kontrolovaného pásma (KP). (Hušák, 2009)

Na oddělení nukleární medicíny se používá mimo OD i prstový termoluminiscenční dozimetr pro pracovníky, kteří připravují nebo aplikují radiofarmaka. Detektor je ukrytý uvnitř plastového krytu ve tvaru prstenu s dobrou mechanickou odolností. Rozsah měření od 0,1 mSv – 10 Sv pro záření gama a beta. (Služba osobní dozimetrie VF, 2011) Měřenou veličinou je ekvivalentní dávka na ruce H_T , což je dávkový ekvivalent $H_p(d)$, v daném bodě pod povrchem těla v hloubce d . Pro kůži je tato hodnota 0,07 mm. Limit pro radiačního pracovníka od prstů až po předloktí, u nohou od chodidel až po kotníky je 500 mSv za rok. Hudzietzová a kolektiv autorů ve své práci uvádějí „že až u 43 % monitorovaných pracovníků, kteří připravují a aplikují radiofarmaka značené radionuklidem ^{18}F , hodnoty dávek na pokožku dosahují 3/10 ročních limitů pro kůži.“ (Hudzietzová et al., 2015)

Podle doporučení konečné zprávy Evropského projektu ORAMED pro nukleární medicínu, bylo zjištěno, že během přípravy a aplikací radiofarmak dochází k největšímu ozáření špičky ukazováku. Z praktických důvodů není možné dozimetr nosit na tomto místě, došlo se k závěru, že prstový dozimetr se umísťuje na bázi ukazováku s citlivou stranou obrácenou dovnitř. Maximální dávka na ruce se může odhadovat tak, že vynásobíme hodnotu z dozimetru příslušným faktorem. Ve zprávě se uvádí hodnota faktoru 6. Pro snížení dávky radiačních pracovníků se doporučuje při aplikaci radiofarmak používat stínění stříkaček minimálně 2 mm. (Nikodemová et al., 2012)

V dnešní době se stále více využívá osobních elektronických dozimetrů. Na začátku jejich vzniku se používaly jenom jako operativní dozimetry. Dnes jsou často využívány jako plnohodnotné autorizované dozimetry, které hodnotí ozáření osob. Jedním z typů takového operativního dozimetru je dozimetr DMC 3000. Tento dozimetr měří dávkový ekvivalent $H_p(10)$ a také ekvivalent dávkového příkonu. Jeho velkou výhodou je, že při překročení nastaveného prahu, dozimetr upozorní akusticky, vizuálně i vibracemi. Zobrazovaná dávka 1 μ Sv až 10 Sv, zobrazovaný dávkový příkon 10 μ Sv/h až 10 Sv/h a energetický rozsah je od 15 keV do 7 MeV. Je velmi odolný a napájený z baterie, což umožňuje dlouhou výdrž dozimetru. Je možnost přímého odečtu veličiny a také její

sumace za určitý časový interval prováděný elektronicky. (Radiační a monitorovací systémy, 2019) Tento dozimetr se v praxi též používá v případě, že by příkon prostorového dávkového ekvivalentu v kontrolovaném pásmu mohl překročit hodnotu 1 mSv/h, jako dozimetr pro doprovod pacientů, nebo osoby, které v KP provádí nezbytnou a nahodilou činnost. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.) Pokud dozimetr nesplňuje podmínky pro oficiální osobní dozimetr, je možnost jeho použití jako doplňkový přístroj pro optimalizaci ozáření osob na pracovišti. Významnou úlohu sehrávají v případě zásahu při radiační mimořádné události, pro okamžitý odečet. (Kubinyi et al., 2018)

Na oddělení nukleární medicíny, kde se léčí rakovina štítné žlázy pomocí radioaktivního ^{131}I , patří mezi osobní monitorování i měření vnitřní kontaminace radiačních pracovníků, v případě podezření na vnitřní kontaminaci. Radioaktivní jód se dostává do prostředí při manipulaci s radiofarmaky ingescí nebo přes poraněnou kůži, a rovněž inhalací kontaminovaného vzduchu z vydechování naaplikovaných pacientů. Tímto se následně může kumulovat ve štítné žláze zaměstnanců. Ingesce a inhalace tvoří nejdůležitější bránu vstupu radionuklidu. Měření se provádí přímou metodou pomocí scintilační sondy nad cílovým orgánem, teda štítnou žlázou. Scintilační sonda obsahuje detektor s krystalem NaI(Tl) a kolimátor, který vymezuje zorné pole, z něhož gama fotony vycházející z těla mohou dopadat přímo do krystalu detektoru (Lang, 1998). V současnosti se využívají polovodičové detektory z čistého germania, které mají vysoké energetické rozlišení. (Kubinyi et al., 2018)

Další spolehlivou metodou je použití celotělových detektorů (počítačů), které vlastní některé organizace, například Jaderná elektrárna Temelín, resp. Dukovany, nebo SÚRO. Mezi nepřímé metody patří měření obsahu radionuklidu v moči, stolici, nebo vydechovaném vzduchu, popřípadě v nosním sekretu nebo slinách.

1.11.2 Monitorování pracoviště

V souladu s programem monitorování a stanovenými monitorovacími úrovněmi, se provádí jednak měření plošné aktivity a také měření příkonu prostorového dávkového ekvivalentu v kontrolovaném pásmu i mimo něj. Protože se v NM používají také

hybridní zobrazovací přístroje, jejichž součástí je CT, je nutné k monitorování zahrnout i měření neúčinného záření. To se provádí při instalaci nového přístroje a při každém jeho přemístění. Zajištění tohoto měření může provádět jenom osoba s odbornou způsobilostí. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Z hlediska zajištění radiační ochrany je nezbytně nutné rutinně monitorovat celé pracoviště NM pomocí správně kalibrovaných měřidel. Měří se vně KP i mimo něj. Monitorování radioaktivní kontaminace se provádí s možností signalizace výkyvu lišících se od běžných hodnot. Při hodnocení úrovně kontaminace je třeba brát v úvahu pozadí každého pracoviště. Pravidelné měření povrchové kontaminace se musí provádět na všech pracovištích s ORZ. Nejčastěji dochází k povrchové kontaminaci pracovních ploch, pomůcek, ale také osob. Hodnoty plošné aktivity jsou uvedeny ve Vyhlášce č. 422/2016 Sb., Příloha č. 18, a jsou stanoveny pro nefixovanou kontaminaci. Pokud povrchová kontaminace povrchu podlah, stěn, stropů, nábytku a jiného zařízení v kontrolovaném pásmu pracoviště nebo povrchů mimo KP přesahuje tyto hodnoty, je nutné provést otěrovou zkoušku. Provádí se tamponem namočeným v určeném vhodném lihovém roztoku, kterým setřeme požadované kontaminované místo a následně vložíme k změření do studňového scintilačního detektoru. Pro ověření nepřekročení uvolňovací úrovně (4 Bq/cm^2 v KP, $0,4 \text{ Bq/cm}^2$ mimo KP) musí být použito tzv. stanovené měřidlo. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.) Právníky osoby mají povinnost v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření zajistit přístroje podle Zákona č. 505/1990 Sb., zákon o metrologii, certifikátem o stanoveném měřidle, které vydává Český metrologický institut. (Zákon č. 505/1990 Sb.) Osvědčení stanoveného měřidla mají všechny přístroje, které podle Vyhlášky č. 345/2002 Sb., Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu, kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu. Patří mezi ně:

- Měřidla aktivity diagnostických a terapeutických preparátů aplikovaných in vivo pacientům
- Měřidla aktivit a dávek používaná pro kontrolu limitů při nakládání s radioaktivními odpady a pro kontrolu uvolňovacích úrovní a podmínek při uvádění radionuklidů do životního prostředí (Vyhláška č. 345/2002 Sb.)

Pokud dojde k pozitivitě otěru, musí následovat účinná dekontaminace, dle zásahových instrukcí do doby, kdy je otěrová zkouška negativní. Opatření spojené s dekontaminací

a měření se bez odkladu zapíší v příslušné dokumentaci „Měření povrchové kontaminace“ v souladu s Programem monitorování pracoviště. (Dokument k povolované činnosti na pracovišti – Program monitorování ONM NČB, 2018)

Bylo zjištěno, že pro optimalizaci radiační ochrany by se měření pracoviště měla provádět několikrát během pracovní doby. Tento fakt se opírá o závěr zprávy *Vliv monitorování pracoviště na radiační zátěž personálu na pracovišti PET*, které uvádí, že při následné krátké dekontaminaci plošné aktivity je dávka menší, než když se pracuje během celého dne v zamořeném prostředí radionuklidu nebo při práci s kontaminovanými pomůckami. (Dostálova, 2018)

Druhý, osvědčený přístup našeho pracoviště spočívá v rychlém provedení přípravy radiofarmaka, změření pracovní plochy a v případě povrchové kontaminace ponechání pracoviště bez přítomnosti osob a využití doby pro fyzikální rozpad radionuklidu. To zajistí minimalizaci osobního kontaktu s radionuklidem.

Při podezření na RMU je ihned třeba zahájit měření povrchové kontaminace, tedy plošné aktivity radionuklidu a dávkového příkonu IZ. Každý pracovník, který zjistí tuto skutečnost, dbá na ochranný oděv, ochranné pomůcky a přítomnost vlastního osobního a popřípadě prstového dozimetru. Omezuje se tak ozáření přítomné osoby, respektive zasahující osoby. Pokud jsou potvrzeny zvýšené hodnoty veličin, je nutné kontaktovat dohlížející osobu nebo osobu s přímým dohledem nad radiační ochranou, která celou událost vyšetří a provede průzkum místa RMU a navrhne patřičné opatření v souladu se zásahovými instrukcemi. Dalším důležitým krokem je přerušit práci se ZIZ a označit místo zásahu a pokud to je možné dodržovat způsoby radiační ochrany, pracovat rychle a efektivně, tak, aby se zkrátil čas pobytu v těsné blízkosti RMU na co nejmenší, udržovat co největší možnou vzdálenost od ZIZ, a využít všech stínících pomůcek. Pro účely vyšetřování příčin vzniku RMU a k zabránění opakující se takové situace je důležité shromažďovat všechny informace a důkazy a vést dokumentaci o průběhu RMU.

Dekontaminace

1. Odstranit kontaminovaný oděv a uschovat ho do igelitového pytle k dalšímu šetření (uschovávat také všechny kontaminované vzorky vlasy, stěry kontaminace, ...).

2. Kontaminovanou kůži umývat vlažnou vodou a mýdlem, používat jemný kartáček, kůži zbytečně silně netřít z důvodu vnitřní kontaminace. Postupuje se od nejvíce zamořených částí oděvu k čistějším. Sprcha se provádí se zavřenými očima a ústy.

3. Provést dozimetrickou kontrolu.

4. Kontrolovat okolí RMU pro případné šíření kontaminace.

5. Dohlížející osoba provede záznam o RMU.

6. V případě podezření na vnitřní kontaminaci je nutno provést:

- vysmrkání papírového kapesníku nebo buničité vaty, a provést měření vzorku nosního sekretu
- vypláchnutí úst, vyčistění zubů, popřípadě kloktání 3% roztokem kyseliny citronové
- při podezření na příjem radionuklidu vyvolat zvracení mechanickým podrážděním, popřípadě podáním vhodných emetik a laxativ
- při poranění kůže podpořit její krvácení a vyplachováním rány vlažnou vodou
- podání antidot, jako je například jodid draselný v případě kontaminantu radioaktivní jod
- směr vzorku moče a stolice
- průběžné měření vzorku a vyhodnocování
- v případě potřeby zajištění nemocniční péči (Kučerová, 2010)

Riziko vzniku RMU je možné snížit důsledným sledováním a hodnocením veličin stanovených v Programu monitorování, ochranou a inventarizací ZIZ od počátku používání až po likvidaci procvičováním pravděpodobných scénářů možných RMU a včasným a účinným zásahem. Mezi časté příčiny RMU je nesprávně anebo nedostatečně zabezpečený ZIZ, nedodržení správných postupů při práci se ZIZ, používání neschválených metod v pracovních postupech a nedostatečná informovanost a neznalost pracovníků při práci se ZIZ. To může mít za následek ozáření pracovníků,

pacientů a dalších zasahujících osob, jako i finanční náklady na dekontaminaci a nápravu stavu po RMU. (Prouza & Švec, 2008)

Způsoby ochrany před zářením

Ochrana pacientů i personálu je zajištěna pomocí třech základních způsobů. První z nich je stínění, vhodné je použití zdí z betonu s barytovou omítkou, dveře s olověnou vložkou, olovněné zástěry a nákrčníky, olovněné kontejnery pro přepravu a uschování zářičů, olovněné cihly a sklo pro stínění při manipulaci s aktivitou. Dalším, tedy druhým krokem je dodržování co největší možné vzdálenosti od zdroje záření. Je třeba si uvědomit, že zde platí, že *„intenzita záření a tím i dávkový příkon je nepřímo úměrné druhé mocnině vzdálenosti od zdroje.“* (Ullmann, 2002)

Při práci se zářiči se též používají pinzety, kleště a jiné manipulátory. Třetím způsobem ochrany před zářením je čas. Dávka, a tedy i dávkový příkon jsou přímo úměrné době expozice. Práce s radioaktivními látkami a komunikace s pacientem je nutné zkrátit na co nejmenší možnou dobu. Čas strávený v prostoru s IZ je třeba vymezit jenom na nezbytně nutný. K rozložení dávky přispěje i časté střídání personálu, zvláště u nejvíce exponovaných míst pracoviště.

Na oddělení nukleární medicíny se pracuje z velké míry s otevřenými radionuklidovými zdroji. Jedná se o roztoky, aerosoly, plyny anebo prášky, u kterých není prokázána těsnost a možný únik do okolí, jako je tomu u uzavřeného radionuklidového zdroje. Těsnost URZ zdroje musí být řádně ověřená a doložená osvědčením. Pro potřeby nukleární medicíny se používají uzavřené radionuklidové zdroje, tzv. etalony pouze ke kalibraci přístrojů. (Hušák, 2009)

V poli působnosti radiační ochrany se kategorizují ZIZ podle míry ohrožení zdraví a životního prostředí do pěti kategorií. Pro účely regulace přeshraničního pohybu radionuklidových zdrojů a jejich zabezpečení se řadí podle aktivity do pěti kategorií. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Pracoviště jsou navržena tak, aby v případě kontaminace radioaktivními látkami mohlo dojít k účinné a rychlé dekontaminaci. Oddělení nukleární nemocnice České Budějovice, a.s. patří do II kategorie, kde jsou ORZ zařazené mezi jednoduché ZIZ, a zároveň podle § 17 Vyhlášky č. 422/2016 Sb., vyhláška o radiační ochraně

a zabezpečení radionuklidového zdroje do 3. kategorie zabezpečení ZIZ. Nacházejí se zde místnosti, kde je vyhrazené kontrolované pásmo. Jedná se o laboratoře, ve kterých se pracuje s aktivitou, aplikační místnosti, vyšetřovny se scintilačními kamerami a také vymírací místnosti pro uskladnění radioaktivního odpadu. Na pracovišti je vymezeno kontrolované pásmo – na lůžkové části v rozsahu: místnost pro přípravu a podání radioaktivních farmak, pokoje pro léčbu a diagnostiku rakoviny štítné žlázy. Na dvou terapeutických pokojích se pacientům podává radioaktivní jod o vysokých aktivitách, řádově v jednotkách GBq.

Dále je na ONM ČB vymezeno sledované pásmo v rozsahu chodby, kde přecházejí naaplikovaní pacienti – laboratorní část s měřícím přístrojem. (Dokument k povolované činnosti na pracovišti – Vymezení kontrolovaného a sledovaného pásma ONM NČB, 2018)

Detekční systémy

Protože radioaktivita není vidět ani slyšet, je bez pomoci technických vymožeností těžké určit její přítomnost. Spolehlivou metodou jsou v tomto případě údaje ze speciálních detekčních systémů. Je nezbytně nutné hodnoty pravidelně sledovat, zaznamenávat a hodnotit. Součástí prověřování havarijní připravenosti je ověřování funkčnosti technických prostředků a systému při používání ZIZ, která se provádí jedenkrát za rok. (Vyhláška č. 359/2016 Sb.)

GM detektory

Na pracovišti ONM je používán monitor dávkového příkonu gama AGM-02, kterým lze spolehlivě měřit prostorový dávkový ekvivalent až do 100 mSv/h. Používá se v souladu s Programem monitorování oddělení nukleární medicíny NČB na měření pracoviště v KP i mimo něj. Po celém oddělení je rozmístěno celkem 13 sond s lokální zobrazovací jednotkou RS-485 se statistickou odchylkou měření 10 % a počítačovým uložením dat. Přístroj vyhodnocuje výsledky měření každou sekundu. Naměřený počet impulzů se vynásobí kalibrační konstantou. Je zde započítaný i přepočít na mrtvou dobu. Monitor má signalizační úrovně, které akusticky i vizuálně upozorňují

na překročení nastavené úrovně. Nejmenší hodnota dávkového příkonu naměřená na pracovišti ONM ČB je 0,1 $\mu\text{Sv/h}$, která je rovněž záznamovou úrovní pracoviště.

Tabulka 6 Parametry přístroje AGM-02

Měřicí veličina	H*(10) Příkon prostorového dávkového ekvivalentu
Měřicí rozsah	10^{-7} - 10^{-1} Sv/h
Efektivní měřicí rozsah	10^{-6} - 10^{-1} Sv/h
Energetický rozsah gama	0,05 - 1,5 MeV
Detektor	GM
Relativní základní chyba	$\pm 15 \%$
Rozměry	280x88x52 mm (v x š x h)
Hmotnost	0,5 kg
Kalibrační radionuklid	^{137}Cs

Zdroj: (VF NUCLEAR, ©2016)

Dalším přístrojem pro lokalizaci ionizujícího záření v pracovním prostředí je dozimetr RM 552 GS. Na jeho spodní straně jsou zabudovány 2 GM detektory. První pro záření beta o energiích větších než 160 keV, druhý pro záření gama o energiích větších, než je 50 keV. Přístroj je vybaven akustickou a optickou signalizací pro překročení nastavených úrovní.

Tabulka 7 Parametry přístroje RM 552 GS

Měřicí veličina	Příkon prostorového dávkového ekvivalentu
Měřicí rozsah	Maximálně 10 mSv/h
Energetický rozsah	
Gama:	50keV – 1,25MeV
Beta:	160keV – 3MeV
Detektor	GM
Citlivá plocha	4,25 cm ²

Měřicí rozsah	
Fotonový dávkový ekvivalent:	1 μ Sv- 10 Sv
Příkon fotonového dávkového ekvivalent:	1 μ Sv/h – 100mSv/h

Zdroj: (EMPOS, ©2008-2019)

Měřidlo plošné kontaminace

Pro měření kontaminace radioaktivními látkami se využívá digitální monitor LB 124 Scint. Tento přístroj detekuje a měří radioaktivní kontaminace alfa, beta a gama na povrchu (podlahy, stěny, pokožka, nábytek). Hodnoty měření se mohou zobrazovat jako četnost, tj. počet impulzů za sekundu, anebo se zobrazují jako plošná aktivita, jednotka Bq/cm². Přístroj se skládá ze scintilátoru ZnS (siriník zinku), fotonásobiče a elektronickým zobrazovacím mikroprocesorem. Výhodou tohoto přístroje je vysoká citlivost, přesnost měření a jednoduchá údržba. (Dokument k povolované činnosti na pracovišti – Program monitorování ONM NČB, 2018)

Tabulka 8 Parametry LB 124 Scint

Detektor	ZnS :Ag scintilační detektor
Rozměry citlivé plochy	118 x 145 mm
Měřicí rozsah :	
Alfa	0 - 5000imp/sec
Beta	0 – 50000imp/sec
Kalibrace	Pro více než 50 nuklidů
Uložení dat	Možnost uložení až 1000 hodnot
Alarm	Akustický i vibracemi, textové hlášení
Napájení	3 x baterie, nabíjení pomocí napájení s konektorem

Zdroj: (BERTHOLD TECHNOLOGIES, 2009)

Dostálová ve své práci uvádí: „*Na pracovišti vybaveném nejmodernějšími stínícími pomůckami a přístroji nebude radiační ochrana nikdy dobře optimalizovaná, pokud*

personál tyto pomůcky a přístroje neumí správně obsluhovat a plnohodnotně používat.“
(Dostálová, 2018, s. 6)

1.11.3 Monitorování výpustí

Monitorování veličin a parametrů, které charakterizují uvolněné radioaktivní látky, musí být pravidelně měřeny, zaznamenávány a hodnoceny. Na ONM NČB vzniká pevný a kapalný radioaktivní odpad, který musí být regulovaně uvolňován do ŽP. Protože lůžková část NM ČB disponuje 4 lůžky pro terapii a 6 lůžky pro diagnostiku pomocí radioaktivního jódu, plynný odpad se dá považovat za zanedbatelnou složku.

Kapalný radioaktivní odpad

Terapeutická část oddělení nukleární medicíny pracuje se smíšenými zářiči (gama a beta). Lůžka pro léčbu štítné žlázy, kde se podávají vysoké aktivity, musí být napojené na kanalizaci aktivních kapalných odpadů svedeno do samostatné nádrže. Do těchto sběrných jímek je zachytávána voda ze sprchy a WC, která se uvolňuje nejdříve do nemocniční kanalizace, kde se mísí s neaktivními odpady, a následně je vypouštěna do kanalizace veřejné spotřeby skrze nemocniční čističku odpadních vod (ČOV) a to za podmínky, že na výpusti nemocniční ČOV není předkročena tzv. uvolňovací úroveň objemové aktivity (455Bq/l) dle § 81 Zákona č.263/2016 Sb. (Zákon č. 263/2016 Sb.)

Plynný radioaktivní odpad

Plynné radioaktivní odpady ve vydechovaném vzduchu pacienta jsou zanedbatelné a nejsou řešeny jako plynné výpusti.

Pevný radioaktivní odpad

Mezi pevný radioaktivní odpad se řadí lahvičky se zbytky radiofarmak, injekční jehly a stříkačky, tampony, odsávací materiál a rukavice. Ostré předměty jsou umístěny v pevných nádobách, které brání před poraněním, ostatní odpady mohou být přeměřovány v pytlích nebo jiných obalech. Všechny radioaktivní odpady musí být bez výjimky řádně označeny datem uložení, typem radionuklidu a jménem osoby, která úklid provedla. Typ radionuklidu nám zajistí rozřídění RO na odpady s krátkým poločasem a ty s delším. Podle toho jsou před uvolněním jako běžný nemocniční odpad přeměřované. V případě uvolnění nesmí být překročeny hodnoty uvolňovacích úrovní. (Kubinyi et al., 2018) Odpad je považován za neaktivní, pokud není kontaminován více než $0,4 \text{ Bq/cm}^2$, a pokud hodnoty hmotnostních aktivit nepřesahují hodnoty stanovené Přílohou č. 18 Vyhlášky č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. Nové platné předpisy přinesly hodnoty plošné aktivity diametrálně odlišné od původních.

Tabulka 9 Směrné hodnoty pro kontaminaci povrchů

Radionuklid	Kontrolované pásmo Pracovní povrchy [kBq/m ²]	Kontrolované pásmo [Bq/cm ²]	Mimo kontrolované pásmo Zevní kontaminace pracovníků [kBq/m ²]	Mimo kontrolované pásmo [Bq/cm ²]
Z roku	2002	2016	2002	2016
¹³¹ I	300	4	30	0,4
⁸⁹ Sr, ⁹⁰ Y	30000	4	3000	0,4
Ostatní radionuklidy	3000	4 (mimo α zdroje)	300	0,4 (mimo α zdroje)

Zdroj: (Vyhláška č. 422/2016 Sb.), (Vyhláška č. 307/2002 Sb.)

2 Cíle práce a výzkumné otázky

2.1 Cíl práce

1. Sběr dat pro hodnocení radiační zátěže pacientů v závislosti na druhu vyšetření, věkové a hmotnostní kategorii. Zaměření na vysoké aktivity používané v lůžkové části ONM (terapeutické dávky). Porovnání s národními referenčními hodnotami aplikované aktivity v ČR hodnocenými SÚJB (třetí kvartil) a trendy vyplývajícími z posledního reportu UNCEAR, r. 2016.

2. Vlastní měření povrchové kontaminace za běžného provozu a při radiační mimořádné události, která již nastala, analýza příčin RMU, zásahové postupy pro řešení RMU a přijatá opatření k zamezení a opakování takové RMU. Hodnocení a revize programu monitorování a vnitřního havarijního plánu pracoviště ONM NČB.

2.2 Výzkumné otázky

1. Jaké jsou průměrné aplikované aktivity radiofarmak na oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice, a.s., ve srovnání s národními referenčními hodnotami a celosvětovými hodnotami uváděnými v reportu UNSCEAR, r. 2016?

2. V jakém rozsahu přispěla analýza příčin konkrétní vzniklé mimořádné události na lůžkové části ONM, přijatá opatření, následné vzdělávání zdravotnického personálu, informovanost pacientů a revize vnitřního havarijního plánu, respektive programu monitorování k zamezení dalšího opakování RMU podobného charakteru?

3 Metodika výzkumu

Při hledání odpovědi na 1. výzkumnou otázku byl proveden kvantitativní výzkum a sběr dat z oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice, a.s. při diagnostických vyšetřeních skeletu, srdce, při diagnostických postupech využívajících PET/CT a dále při diagnostických a terapeutických aplikacích radiofarmak pro štítnou žlázu. Inspiraci pro výběr těchto vyšetření jsem čerpala ze vzoru posledního reportu UNSCEAR z roku 2016. Jsou to vyšetření, při kterých se používají nejvyšší aplikované aktivity, a které se na ONM NČB provádějí častěji než ostatní.

Jedním z cílů této diplomové práce bylo zhodnocení radiační zátěže pacientů, respektive porovnávání průměrných hodnot aplikovaných aktivit u zmíněných vyšetření. K tomuto účelu jsem vypočítala průměrnou aplikovanou aktivitu u pacientů, kteří podstoupili jednotlivá vyšetření a léčbu v letech 2017 a 2018.

Provedla jsem odhad efektivní dávky E pocházející z části nukleární, tedy z podaného radiofarmaka. U pacientů, kterým bylo provedeno CT vyšetření, jako součást hybridního zobrazovacího přístroje SPECT/CT nebo PET/CT, jsem taktéž odhadla efektivní dávku E. Hodnoty jsem porovnávala s hodnotami, které vydal UNSCEAR v roce 2016 pro pacienty ve věku od 15-90 let a starší. Věkové kategorie jsou rozdělené po 5 letech, v datech ONM NČB neuvádím žádného pacienta mladšího 18 let, výpočty u dětí jsem tedy neprováděla.

Počet vyšetření v jednotlivých kategoriích a pohlaví, pro které bylo vyšetření prováděno, jsem porovnávala s hodnotami z reportu UNSCEAR a hodnotami získanými SÚJB od Všeobecné zdravotní pojišťovny (dále VZP). SÚJB prováděl výzkum „*Statistické hodnocení lékařského ozáření*“ pro radioterapii, radiodiagnostiku a nukleární medicínu v letech 2009 – 2015 na základě smlouvy s VZP o poskytování dat. Data se týkají jen pacientů VZP, jejichž zastoupení představuje pro rok 2013 62 % všech registrovaných pacientů. Data byla aproximována na 100 % pacientů.

Počty vyšetření z dat reportu UNSCEAR a SÚJB jsem v některých grafech sto až tisíckrát snížila, aby bylo více přehledné, v kterých kategoriích je frekvence vyšetření nejvyšší (dále legenda grafů).

Při vyšetření skeletu, srdce, PET/CT vyšetření jsem rozdělila ženy a muže podle vypočtené průměrné výšky a váhy. U štítné žlázy jsem toto srovnání neprováděla, protože při volbě aplikované aktivity toto není rozhodující faktor.

Při všech vyšetřeních jsem navíc provedla odhad ekvivalentní dávky H_T na nejvíce zatížený orgán. Tyto hodnoty UNSCEAR ani SÚJB neuváděly. Srovnání jsem proto zhodnotila až v diskuzi této práce, ve srovnání s hodnotami uvedenými v nejnovější Evropské příručce pro nukleární medicínu 2018, pokud je pro dané vyšetření EANM uvádí.

3.1 Metodika odhadu efektivních dávek

Odhad efektivní dávky E z části NM a ekvivalentní dávky H_T na nejvíce zatížený orgán jsem vypočetla vynásobením aplikované aktivity radiofarmaka a koeficientu pro přepočet těchto dávek vydané ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví České republiky ročník 2016.

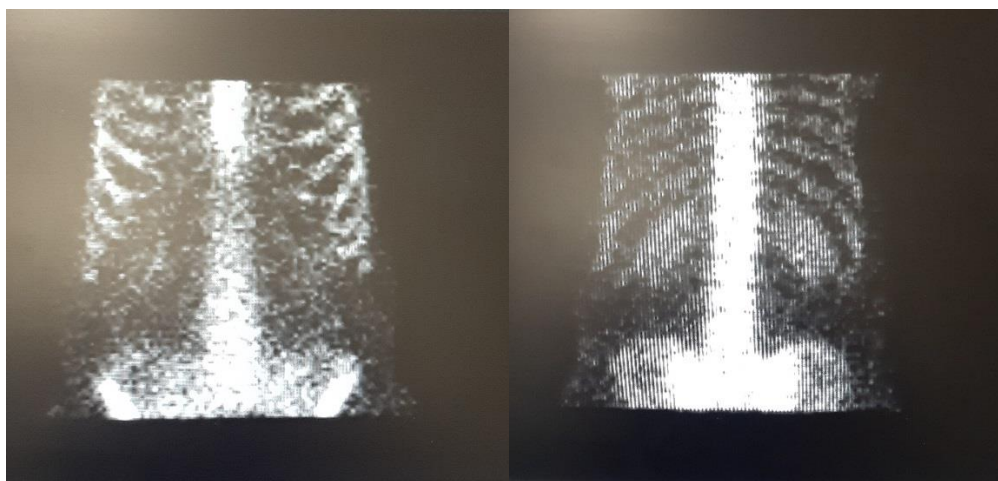
Evropská směrnice o kritériích kvality výpočetní tomografie EUR 16262 EN říká, že snadný odhad efektivní dávky E z CT vyšetření, lze provést na základě hodnoty DLP (Dose Length Parameter) a normalizovaných hodnot E_{DLP} , které tato směrnice vydává. (EUR 16262 EN, 2010) Odhad efektivní dávky z CT lze stanovit na bázi vztahů založených na hodnotách normalizovaných efektivních dávek z CT vyšetření, stanovených pro tyto oblasti těla: hlava, krk, hrudník, břicho, pánev. Pro PET/CT vyšetření jsem použila E_{DLP} doporučené výrobcem přístroje Siemens Biograph mCT 64 Flow. (Siemens AG, ©2013) Hodnoty E_{DLP} jsou uvedené v Příloze G této práce.

Výpočet efektivní dávky je založen na vztahu $E = E_{DLP} \cdot DLP$

Hodnota DLP vyjadřuje součin kerry a délky v jednotkách $mGy \cdot cm$, neboli taky součin objemového kermového (dávkového) indexu výpočetní tomografie a délky skenu. (Súkupová, ©2019)

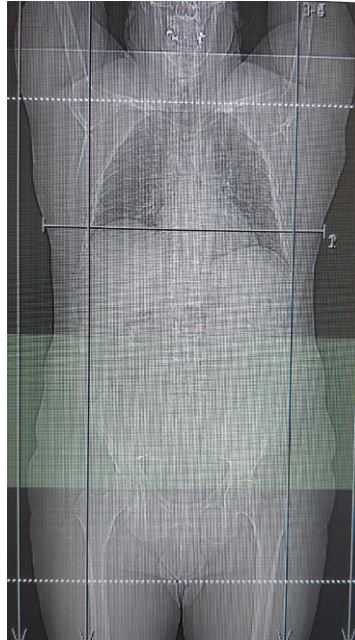
Při odhadu efektivní dávky E z CT vyšetření jsem nejdříve získala hodnotu DLP, z protokolu pacienta, dále jsem shromáždila pacienty, u kterých byla skenovaná stejná část těla. Nejčastěji se jedná o skenování páteře a pánve. Vyšetření páteře je nejčastěji

od LS přechodu (přechod mezi kostí křížovou a bederní) až po přibližně polovinu hrudní páteře. Pod vedením radiologického fyzika jsem zhodnotila, že při vyšetření páteře je ozářeno přibližně 40 % pánve, 100 % břicho a 60 % páteře a při skenování pánve je ozářeno 100 % pánve. U vyšetření srdce jsem počítala přibližně 30 % ozáření hrudníku. U PET/CT jsme zkoumala pacienty, u kterých se skenoval trup. Tedy od baze lebni po přibližně třetinu steh. Při výpočtu jsem počítala se skenovanými částmi 100 % pánev, 100% břicho, 100 % hrudník, 100 % krk a 40 % hlava. Tyto pacienti tvoří největší podíl ze všech provedených PET/CT vyšetření. Při diagnostických a terapeutických aplikacích ^{131}I se CT vyšetření standardně neprovádí. Proto jsem efektivní dávku z CT při tomto vyšetření nezahrnula.



Obrázek 3 Přední a zadní snímek pořízený na hybridním SPECT/CT přístroji

Zdroj: (ONM NČB, 2019)



Obrázek 4 Snímek pořízený na hybridním PET/CT přístroji

Zdroj: (ONM NČB, 2019)

Výsledné hodnoty aplikované aktivity, efektivní dávky E (NM), efektivní dávky E (CT) a ekvivalentní dávky H_T jsou aritmetickým průměrem ze souboru zkoumaných pacientů pro jednotlivá vyšetření. U těchto hodnot jsem vypočetla směrodatnou odchylku a u průměrné aplikované aktivity jsem stanovila maximální a minimální hodnotu. Výsledky jsem uspořádala do tabulek a grafů a porovnávala s hodnotami uvedenými v reportu UNSCEAR.

Při zpracování 2. výzkumné otázky jsem provedla kvalitativní výzkum. Hodnocené byly dvě RMU události, které na ONM NČB skutečně nastaly:

1. Kontaminace obyvatele pacientem propuštěným z ONM po léčbě štítné žlázy
2. Překročení uvolňovací úrovně pro vypuštění ^{131}I v kapalném radioaktivním odpadu z odpadních jímek ONM

Byla provedena jejich podrobná analýza, analýza jejich příčin a přijatých opatření k nápravě a zamezení vzniku radiační mimořádné události obdobného charakteru. Podklady jsem získala na pracovišti ONM NČB, kde jsem zaměstnaná v současné době jako radiologická asistentka a osoba s přímým dohledem nad zajištěním radiační ochrany.

RMU č. 1 Kontaminace obyvatele pacientem propuštěným z ONM po léčbě štítné žlázy

V rámci dalších opatření na zamezení vniku takového stavu jsem prováděla měření povrchové kontaminace osob, míst a věcí na pracovišti přístrojem LB 124 Scint během 1 týdne. Při zjištění vysoké plošné aktivity jsem prováděla otěrové zkoušky z nejvíce kontaminovaných míst a měřila plošnou aktivitu pomocí studnového detektoru NaI(Tl).

RMU č. 2 Překročení uvolňovací úrovně pro vypuštění ¹³¹I v kapalném radioaktivním odpadu z odpadních jímek ONM

Při této RMU a následně v rámci přijatých opatření jsem prováděla odběry kapalného radioaktivního materiálu z jímek a z čističky odpadních vod NČB, do které ústí výpusti radioaktivního kapalného odpadu ONM NČB. Vzorky jsem též měřila v studnovém detektoru NaI(Tl), resp. na polovodičovém detektoru HPGeLI na pobočce SÚRO v ČB.

Výsledky z obou měření jsou zpracovány do tabulek.

Metodika měření povrchové kontaminace a objemové aktivity kapalně vypuštěného z ONM

K tomuto účelu je použit studnový krystal SW1SU04 s detektorem NKQ 312E a analyzátor MC 1256. Studnový detektor je NaI aktivovaný Tl. Primárně je nutné změřeni pozadí bez přítomnosti zdroje záření. Následně je provedeno měření stěru míst na v lihu namočeném čtverci buničité vaty nebo se vzorkem kapalného radioaktivního odpadu (RA) o objemu 250 ml odebraným z ČOV NČB v době vypouštění jímek radioaktivního odpadu z ONM. Po vložení vzorku z otěru i kapalného RA odpadu do studnového detektoru se změří počet impulzů, který se za pomoci kalibračního koeficientu přepočítá na příslušnou aktivitu.

Revize dokumentace

Pro naplnění všech cílů práce jsem následně provedla konfrontaci stávající dokumentace pro povolenou činnost ZIZ se zjištěným stavem a událostmi a navrhla revizi dokumentů Vnitřní havarijní plán, Analýza a hodnocení RMU a Program monitorování.

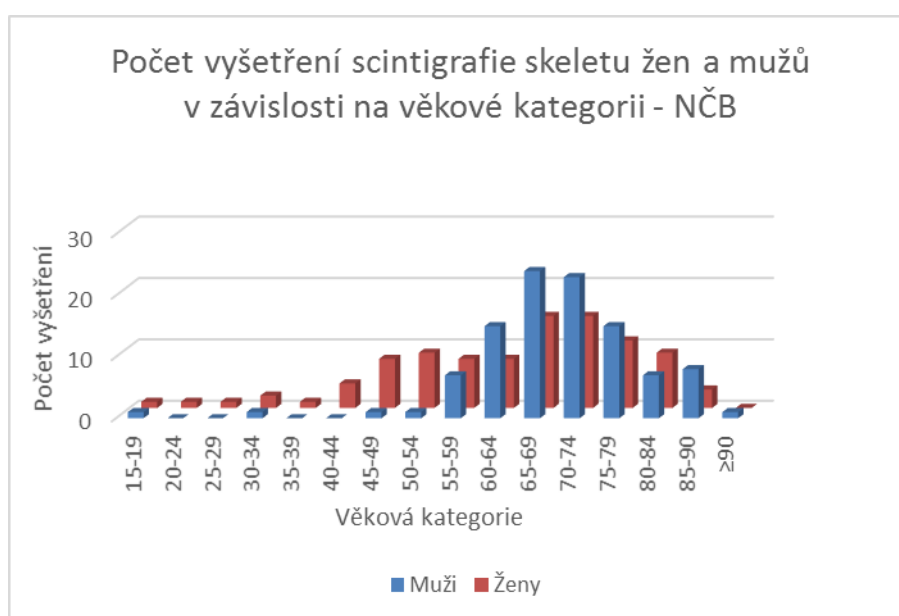
4 Výsledky

4.1 Scintigrafie skeletu

Tabulka 10 Rozdělení žen a mužů při scintigrafii skeletu v závislosti na výšce a váze

Pohlaví	Počet vyšetření	Výška [cm]	Váha [kg]
Ženy	96	165,0	74,0
Muži	104	176,7	85,9

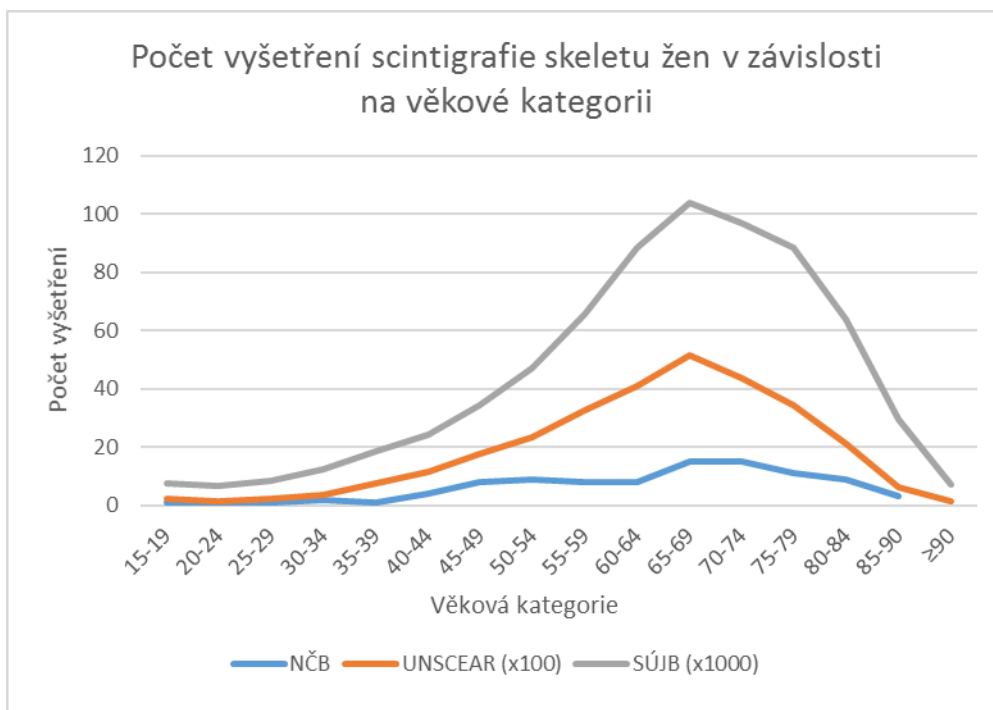
Zdroj: Vlastní výzkum



Graf 6 Počet vyšetření scintigrafie skeletu žen a mužů v závislosti na věkové kategorii – NČB;

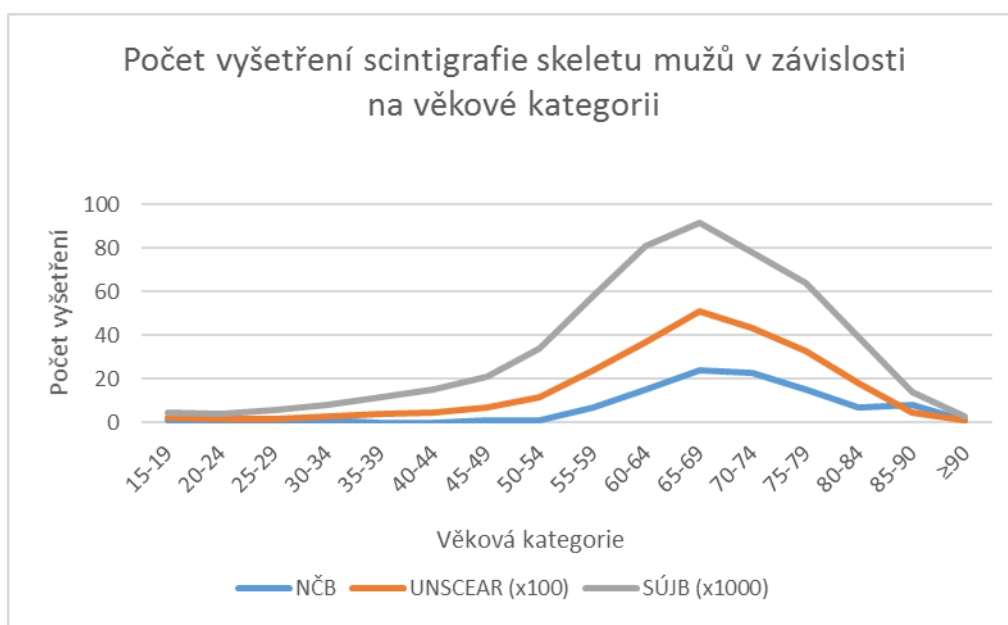
Zdroj: Vlastní výzkum

Z grafu 6 vyplývá, že nejvíce vyšetření skeletu podstupují jak muži, tak i ženy mezi 65-74 rokem života. Z celkového počtu až 47 vyšetření mužů a 30 vyšetření žen spadá do této kategorie.



Graf 7 Počet vyšetření scintigrafie skeletu žen v závislosti na věkové kategorii;

Zdroj: Vlastní výzkum



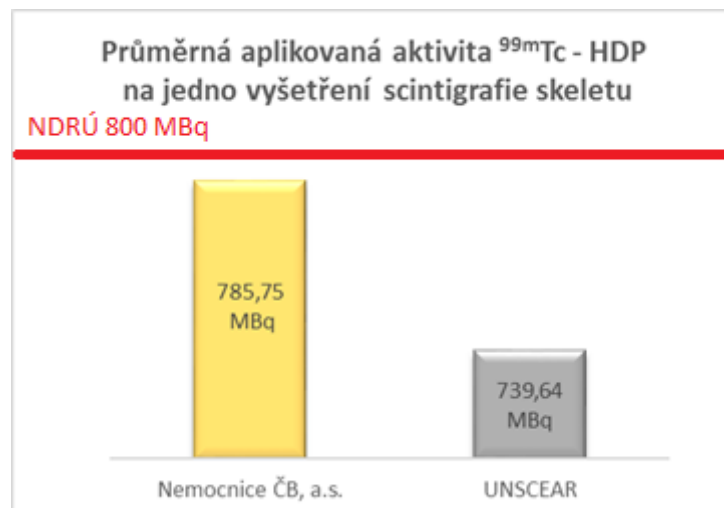
Graf 8 Počet vyšetření scintigrafie skeletu žen v závislosti na věkové kategorii;

Zdroj: Vlastní výzkum

Z grafu 7 a 8 vyplývá, že nejvíce vyšetření podstupují ženy a muži ve věku 65-69 let shodně s údaji s UNSCEAR i SÚJB. V NČB je to rovněž kategorie 70-74 let.

Při výpočtu aplikované aktivity jsem pracovala se souborem 200 pacientů. Aplikovaná aktivita na jedno vyšetření v NČB činí $785,75 \pm 149,11$ MBq, maximální hodnota je 1200 MBq a minimální 500 MBq. Efektivní dávka z podaného radiofarmaka je $4,48 \pm 1,00$ mSv, ekvivalentní dávka H_T pro povrchy kostí je $49,47 \pm 9,38$ mGy.

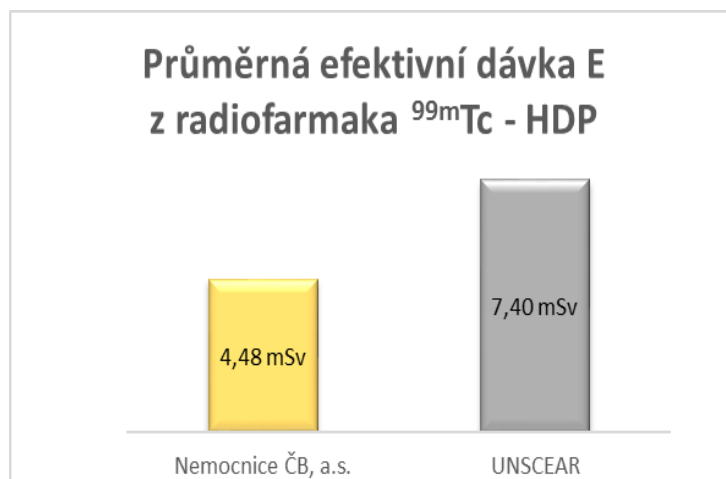
Odhad efektivní dávky E z CT vyšetření byl prováděn u 30 pacientů při skenování páteře a u 10 pacientů při skenování pánve. Průměrná efektivní dávka z obou skenovaných oblastí je $1,44 \pm 0,32$ mSv.



Graf 9 Průměrná aplikovaná aktivita ^{99m}Tc -HDP na jedno vyšetření scintigrafie skeletu;

Zdroj: Vlastní výzkum

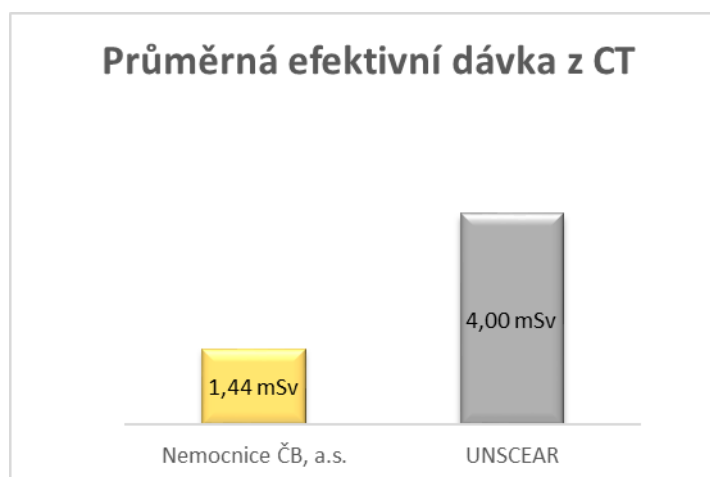
Průměrná aplikovaná aktivita v NČB přibližně o 6 % vyšší, než vyplývá z reportu UNSCEAR a o 2 % nižší, než stanovují NDRÚ.



Graf 10 Průměrná efektivní dávka E z radiofarmaka ^{99m}Tc-HDP;

Zdroj: Vlastní výzkum

Z grafu 10 vyplývá, že efektivní dávka z radiofarmaka je v NČB přibližně o 39 % nižší, než vyplývá z reportu UNSCEAR.



Graf 11 Průměrná efektivní dávka E z CT;

Zdroj: Vlastní výzkum

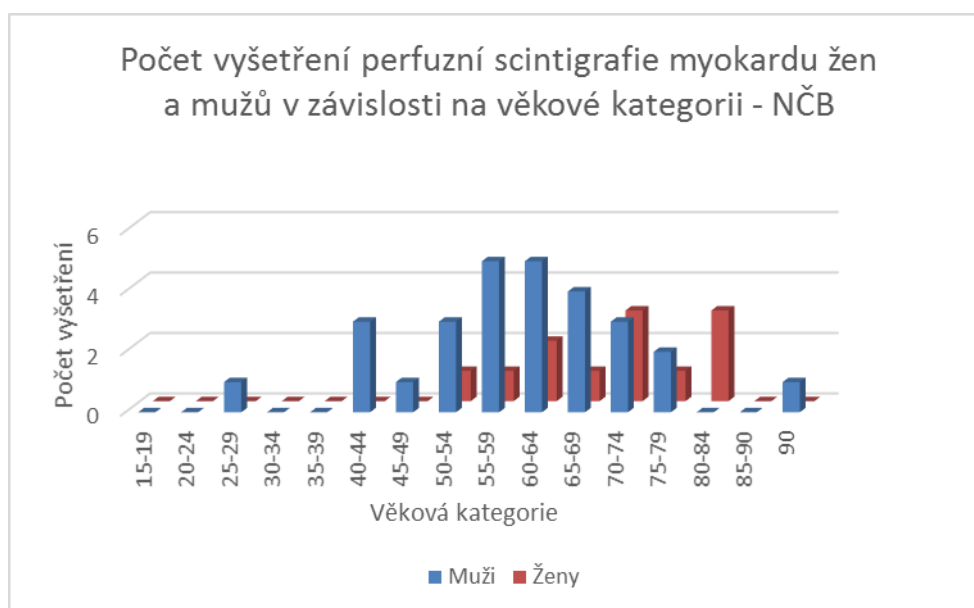
Z grafu 11 je zřejmé, že průměrná efektivní dávka E z CT vyšetření v NČB je o 64 % nižší, než vyplývá z reportu UNSCEAR.

4.2 Perfuzní scintigrafie myokardu

Tabulka 11 Rozdělení žen a mužů při perfuzní scintigrafii myokardu v závislosti na výšce a váze

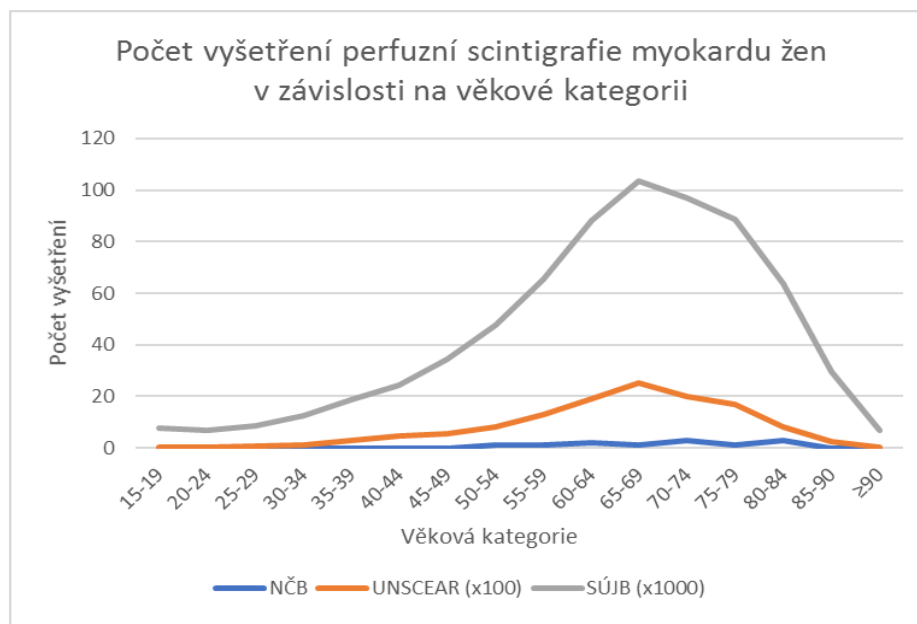
Pohlaví	Počet vyšetření	Výška [cm]	Váha [kg]
Ženy	12	165,7	81,1
Muži	28	177,9	89,6

Zdroj: Vlastní výzkum



Graf 12 Počet vyšetření perfuzní scintigrafie myokardu žen a mužů v závislosti na věkové kategorii – NČB; Zdroj: Vlastní výzkum

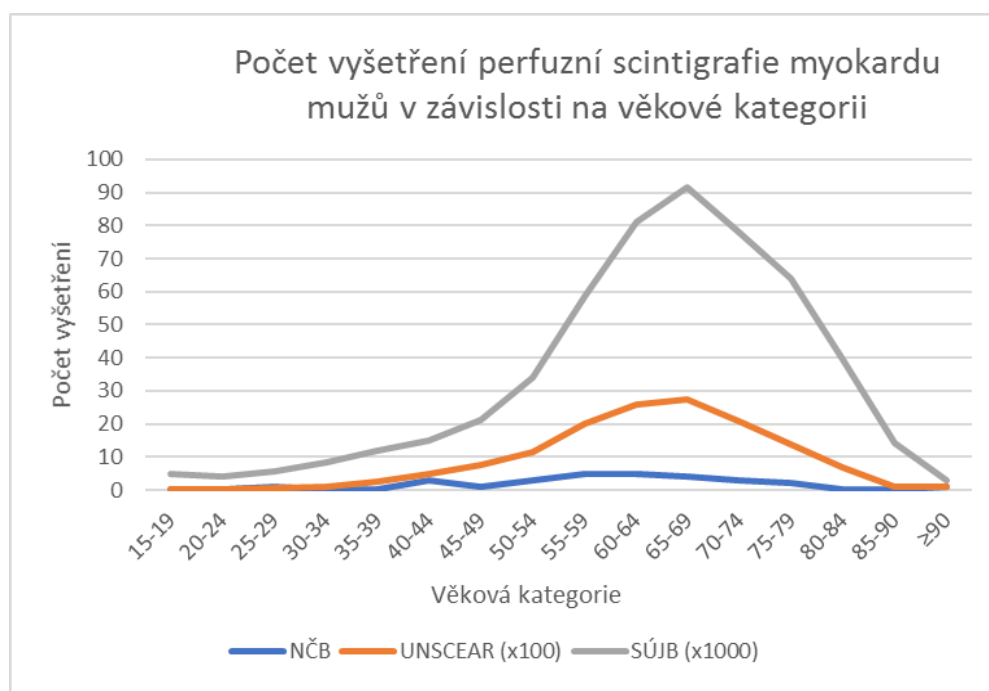
Z grafu 12 je zřejmé, že nejvíce mužů podstupuje perfuzní scintigrafii myokardu ve věku 55-64 let. Z celkového počtu až 10 vyšetření mužů. Naopak nejvíce žen podstoupí toto vyšetření až ve věku 70-74 let z celkového počtu 3 vyšetření a ve věku 80-84 let z celkového počtu taky 3 vyšetření.



Graf 13 Počet vyšetření perfuzní scintigrafii myokardu žen v závislosti na věkové kategorii;

Zdroj: Vlastní výzkum

O hodnotách v grafu 13 můžeme říct, že jak bylo zmíněno výše, do NČB přichází nejvíce žen na perfuzní scintigrafii myokardu ve věku 70-74 a 80-84 let, z reportu UNSCEAR a výzkumu SÚJB vyplývá, že jsou to ženy ve věku již 65-69 let.



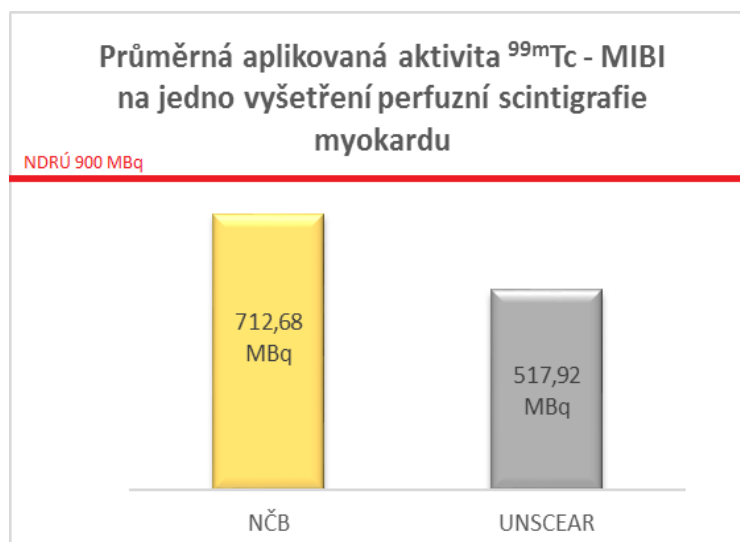
Graf 14 Počet vyšetření perfuzní scintigrafii myokardu mužů v závislosti na věkové kategorii;

Zdroj: Vlastní výzkum

Z grafu 14 vyplývá, že z reportu UNSCEAR a výzkumu SÚJB nejvíce mužů podstoupí perfuzní scintigrafii myokardu ve věku 65-69 let. V NČB je to dříve, již ve věku 55-64 let.

Při výpočtu aplikované aktivity jsem pracovala se souborem 40 pacientů. Aplikovaná aktivita na jedno vyšetření perfuzní scintigrafie myokardu v NČB činí $712,68 \pm 97,76$ MBq, maximální hodnota je 900 MBq a minimální 500 MBq. Efektivní dávka z podaného radiofarmaka je $6,10 \pm 1,07$ mSv. Ekvivalentní dávka H_T na žlučník je $27,79 \pm 3,81$ mGy.

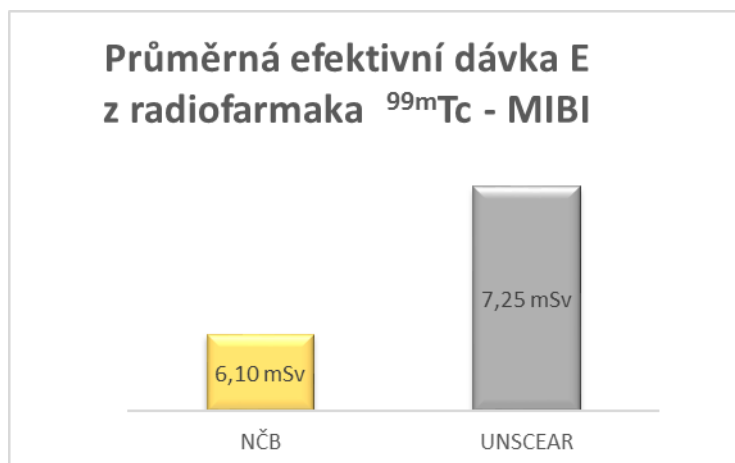
Odhad efektivní dávky E z CT vyšetření byl prováděn u 40 pacientů při zátěžové scintigrafii skeletu a 30 pacientů u klidové scintigrafii skeletu. Průměrná efektivní dávka z CT vyšetření je $0,18 \pm 0,04$ mSv.



Graf 15 Průměrná aplikovaná aktivita ^{99m}Tc -MIBI na jedno vyšetření perfuzní scintigrafie myokardu;

Zdroj: Vlastní výzkum

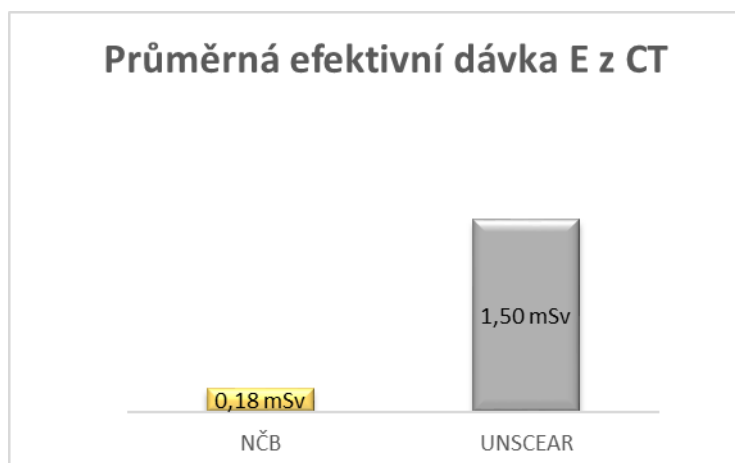
Průměrná aplikovaná aktivita v NČB přibližně o 27 % vyšší, než je uvedeno v reportu UNSCEAR, a současně o 21 % nižší, než jsou NDRÚ.



Graf 16 Průměrná efektivní dávka E z radiofarmaka ^{99m}Tc -MIBI;

Zdroj: Vlastní výzkum

Z grafu 10 vyplývá, že efektivní dávka E z radiofarmaka je v NČB přibližně o 17 % nižší, než vyplývá z reportu UNSCEAR.



Graf 17 Průměrná efektivní dávka E z CT; *Zdroj: Vlastní výzkum*

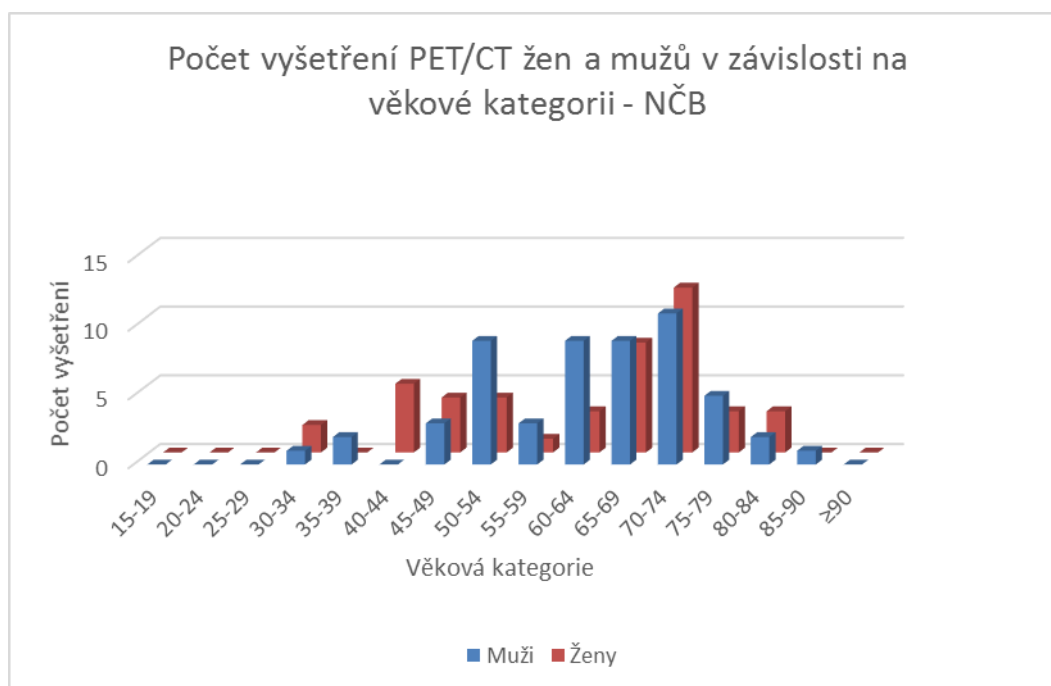
Z grafu 17 vyplývá, že průměrná efektivní dávka E z CT vyšetření v NČB je o 88 % nižší, než jsou hodnoty uvedené v reportu UNSCEAR.

4.3 Vyšetření PET/CT s použitím ¹⁸F¹⁸FDG

Tabulka 12 Rozdělení žen a mužů při PET/CT vyšetření v závislosti na výšce a váze

Pohlaví	Počet vyšetření	Výška [cm]	Váha [kg]
Ženy	45	164,5	68,7
Muži	55	177,1	90,6

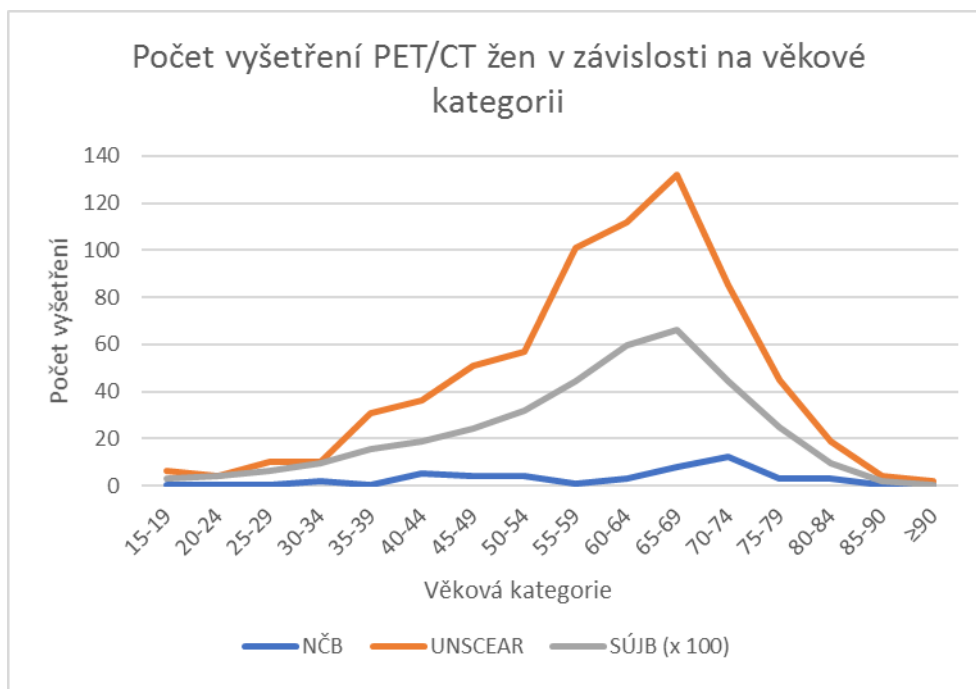
Zdroj: Vlastní výzkum



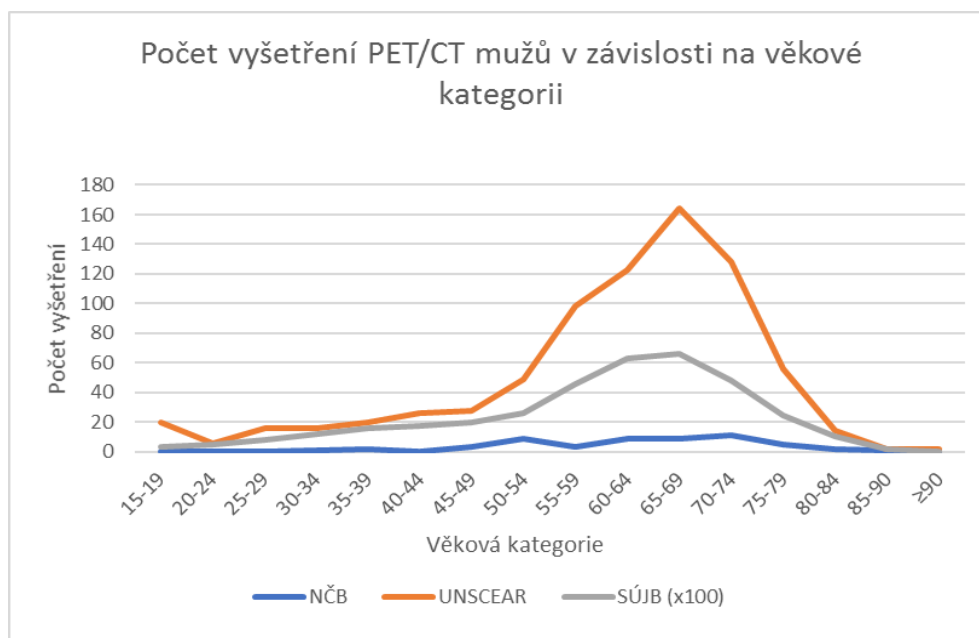
Graf 18 Počet vyšetření PET/CT žen a mužů v závislosti na věkové kategorii – NČB;

Zdroj: Vlastní výzkum

Z grafu 18 je zřejmé, že nejvíce mužů a žen podstupuje PET/CT vyšetření ve věku 70-74 let, z celkového počtu 12 vyšetření žen a 11 vyšetření mužů spadá do této kategorie.



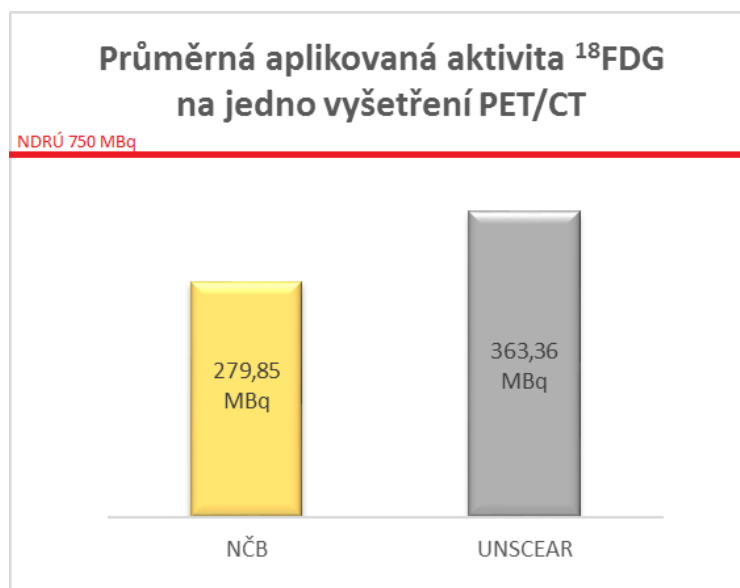
Graf 19 Počet vyšetření PET/CT žen v závislosti na věkové kategorii; Zdroj: *Vlastní výzkum*



Graf 20 Počet vyšetření PET/CT žen v závislosti na věkové kategorii; Zdroj: *Vlastní výzkum*

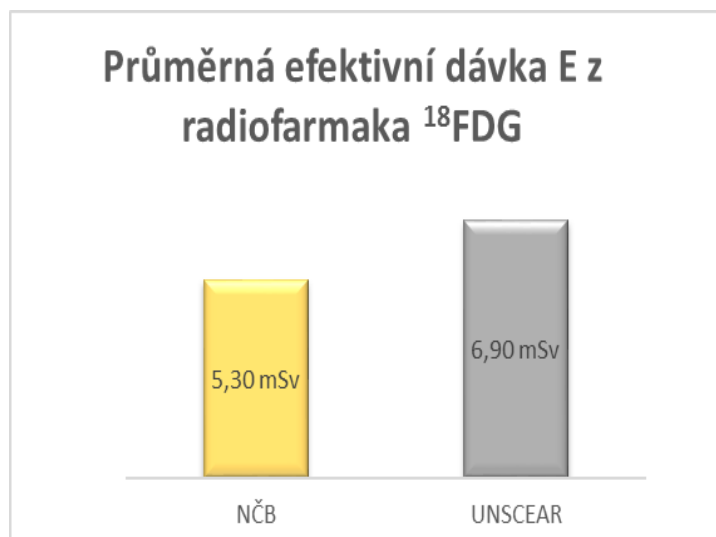
O hodnotách v grafu 19 a 20 můžeme říct, že jak bylo zmíněno výše, do NČB přichází nejvíce žen a mužů na PET/CT vyšetření ve věku 70-74 let, z hodnot reportu UNSCEAR a výzkumu SÚJB vyplývá, že jsou to ženy a muži ve věku 65-69 let.

Průměrná aplikovaná aktivita na jedno vyšetření v NČB činí $279,85 \pm 67,23$ MBq, maximální hodnota je 450 MBq a minimální 171 MBq. Efektivní dávka z podaného radiofarmaka je $5,30 \pm 1,28$ mSv. Ekvivalentní dávka H_T na močový měchýř je $36,38 \pm 8,74$ mGy. Odhad efektivní dávky E z CT vyšetření byl prováděn u 91 pacientů, u kterých byl skenovanou oblastí trup. Průměrná efektivní dávka z CT vyšetření trupu činí hodnotu $7,05 \pm 2,41$ mSv.



Graf 21 Průměrná aplikovaná aktivita ^{18}F FDG na jedno vyšetření PET/CT;

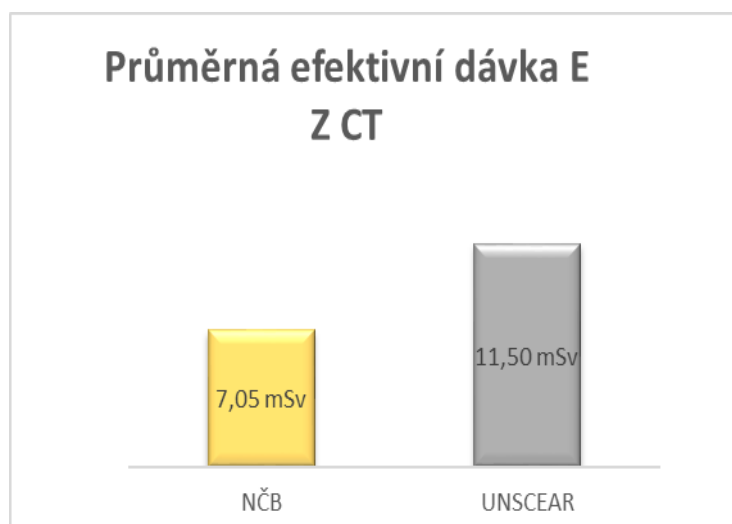
Zdroj: Vlastní výzkum



Graf 22 Efektivní dávka E z radiofarmaka ¹⁸FDG;

Zdroj: Vlastní výzkum

Z grafu 21 a 22 vyplývá, že průměrná aplikovaná aktivita a průměrná efektivní dávka v NČB jsou přibližně o 23 % nižší, než vyplývá z reportu UNSCEAR. Průměrná aplikovaná aktivita je současně o 63 % nižší, než jsou NDRÚ.



Graf 23 Efektivní dávka E z CT trupu; *Zdroj: Vlastní výzkum*

Z grafu 23 můžeme zhodnotit, že efektivní dávka z CT vyšetření trupu je o 39 % nižší, než vyplývá z hodnot reportu UNSCEAR.

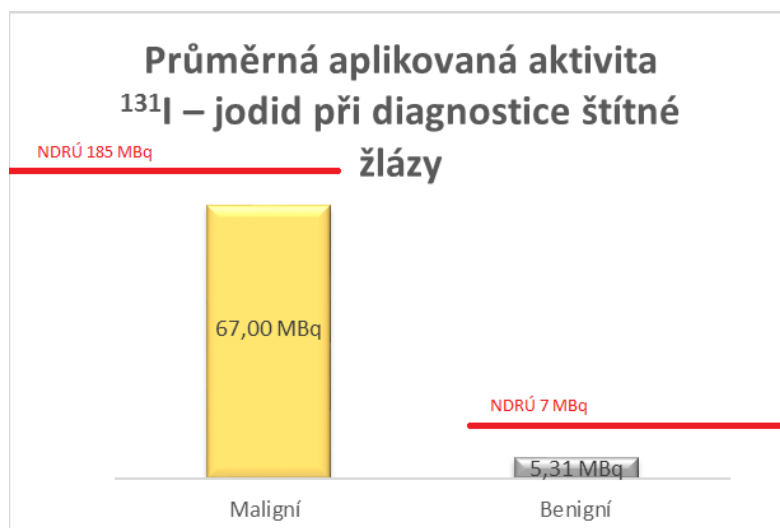
4.4 Diagnostika štítné žlázy pomocí ¹³¹I-jodid

Při diagnostice štítné žlázy, která využívá radioaktivní ¹³¹I se aplikuje pro zhoubné onemocnění štítné žlázy průměrně 67,00±35,58 MBq, pro nezhoubné onemocnění průměrně 5,31±2,10 MBq.

Tabulka 13 Rozdělení žen a mužů při diagnostice štítné žlázy

Onemocnění ŠŽ	Ženy	Muži
Maligní	32	11
Benigní	51	6

Zdroj: Vlastní výzkum



Graf 24 Aplikovaná aktivita ¹³¹I-jodid při diagnostice štítné žlázy; Zdroj: Vlastní výzkum

Z grafu 24 vyplývá, že průměrná aplikovaná aktivita u diagnostiky štítné žlázy pro maligní onemocnění je o 64 % nižší, než jsou NDRÚ, u benigního onemocnění je to o 26 % nižší.

4.5 Terapie štítné žlázy pro maligní onemocnění pomocí ¹³¹I-jodid

Při terapii štítné žlázy, která využívá radioaktivní ¹³¹I – jodid se v NČB aplikuje pro její zhoubné onemocnění průměrně 3937,42±1344,31 MBq. Maximální hodnota je 7950

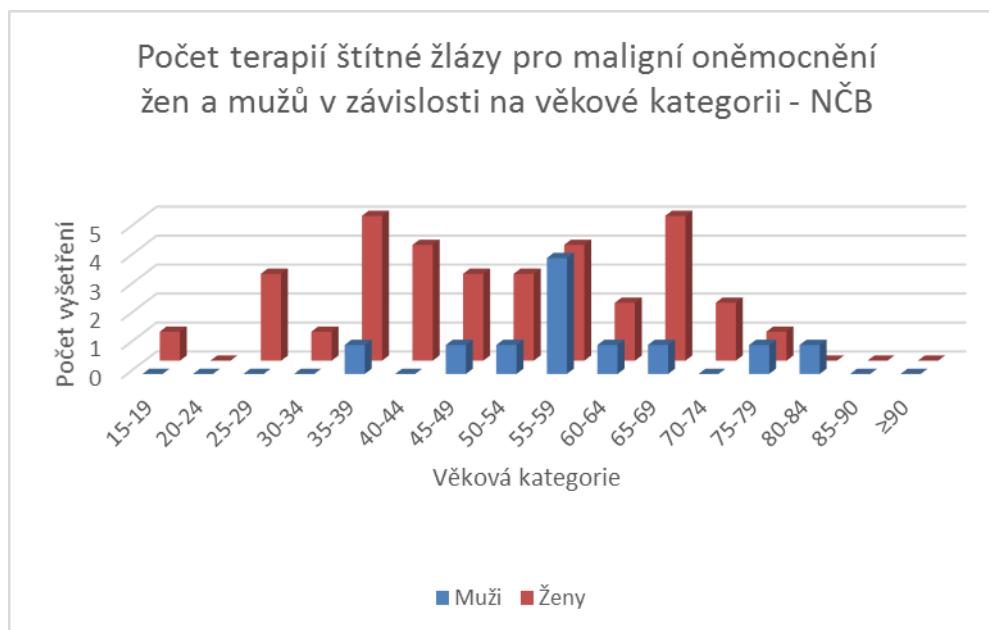
MBq a minimální 888 MBq. Pro nezhoubné onemocnění štítné žlázy je to průměrně přibližně $923,90 \pm 888,71$ MBq. Maximální hodnota 3550 MBq a minimální 206 MBq.

Požadavky na volbu aplikované aktivity pro terapii štítné žlázy se uvádějí ve Věstníku MZ ČR – „Národní radiologické standardy – Nukleární medicína“ (NRS NM).

Tabulka 14 Rozdělení žen a mužů terapeutické aplikaci ^{131}I -jodid

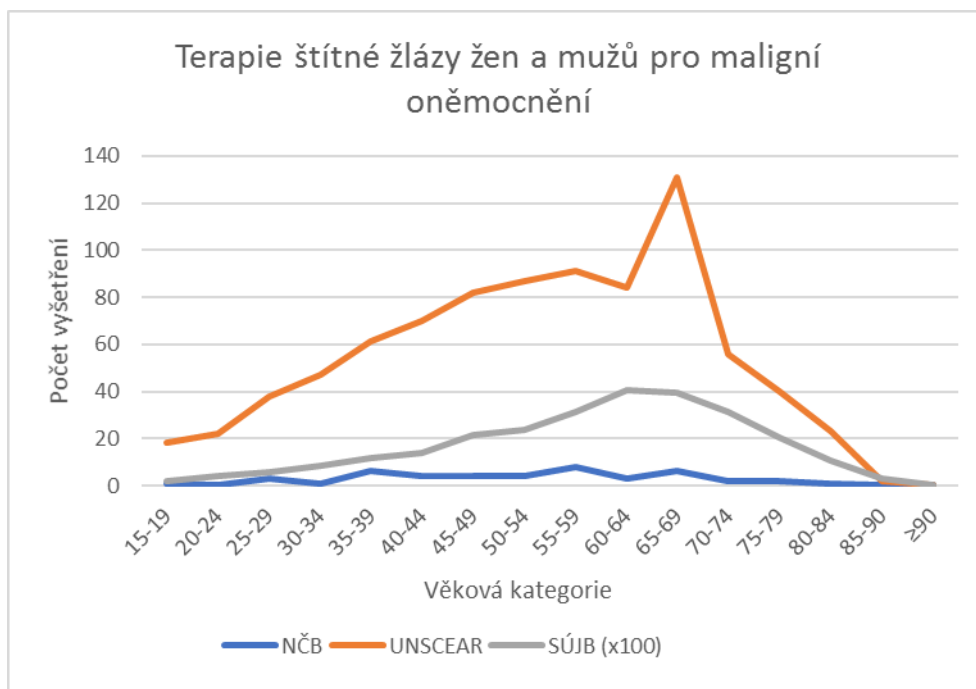
Onemocnění ŠŽ	Ženy	Muži
Maligní	34	11
Benigní	53	8

Zdroj: Vlastní výzkum



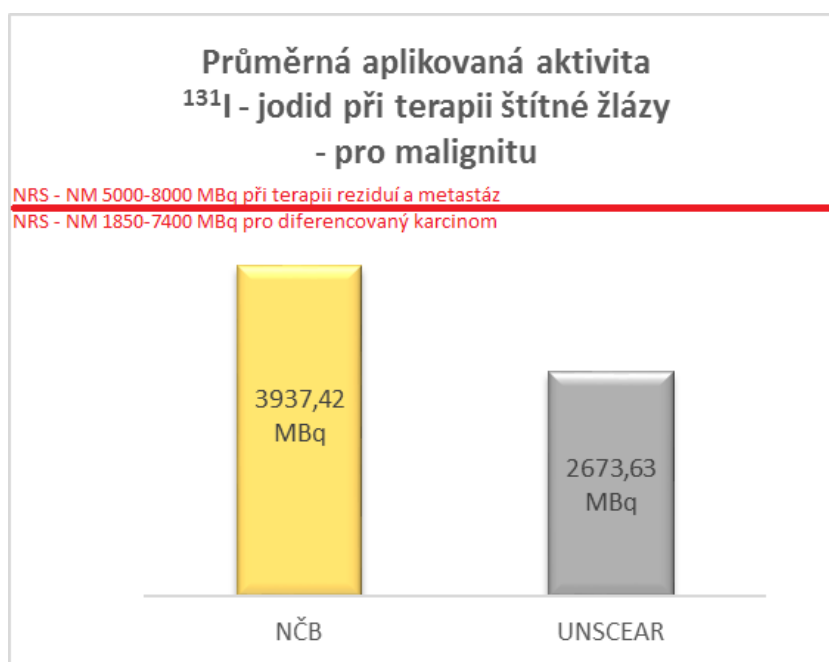
Graf 25 Počet terapií štítné žlázy pro maligní onemocnění – NČB; Zdroj: Vlastní výzkum

Z grafu 25 je zřejmé, že nejvíce terapií štítné žlázy ženy podstupují v letech 35-39 a 65-69 let z celkového počtu 5 terapií pro každou věkovou kategorii žen. Muži podstupují touto terapií nejvíce ve věkové kategorii 55-59 let. Z celkového počtu 4 terapie mužů.



Graf 26 Počet terapií štítné žlázy žen a mužů pro maligní onemocnění – NČB; Zdroj: Vlastní výzkum

O hodnotách v grafu 26 můžeme říct, že z výzkumu NČB, SÚJB a z hodnot reportu UNSCEAR nejvíce mužů a žen přichází na terapii štítné žlázy pro maligní onemocnění ve věku 65-69 let. Z výzkumu SÚJB je to též věk 60-64 let, a jak bylo zmíněno výše, nejvíce žen přichází na terapii štítné žlázy ve věku 35-39 a 65-69 a nejvíce muži ve věku 55-59 let.



Graf 27 Aplikovaná aktivita ¹³¹I-jodid při terapii štítné žlázy pro malignitu; Zdroj: Vlastní výzkum

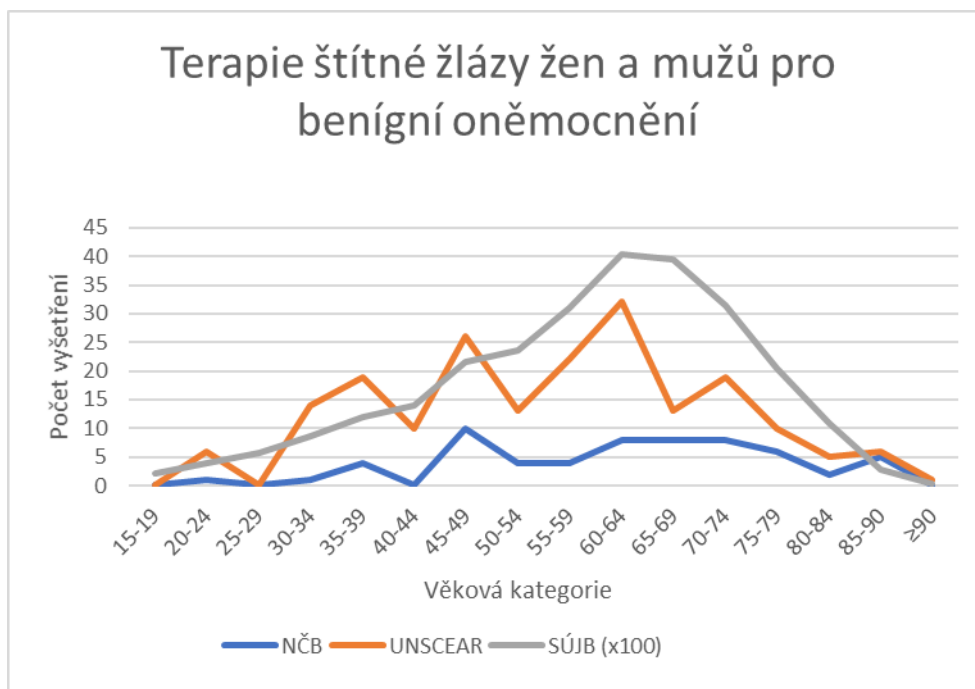
Z grafu 27 můžeme zhodnotit, že aplikovaná aktivita ^{131}I -jodid v NČB při terapii zhoubného onemocnění štítné žlázy je o 32 % vyšší, než vyplývá z reportu UNSCEAR.

4.6 Terapie štítné žlázy pro benigní onemocnění pomocí ^{131}I -jodid



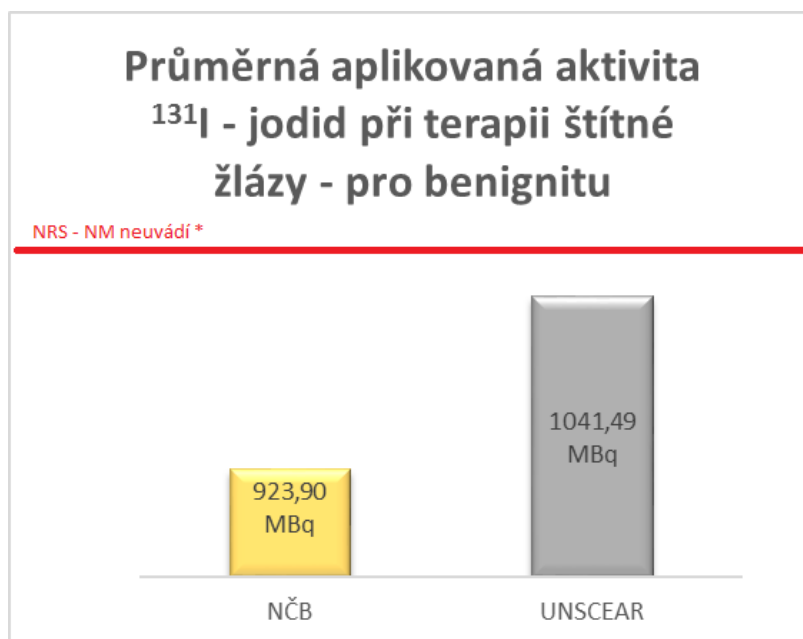
Graf 28 Počet terapií štítné žlázy pro benigní onemocnění – NČB; Zdroj: Vlastní výzkum

Z grafu 28 vyplývá, že nejvíce podstupují terapií štítné žlázy ženy mezi 45-49 rokem, z celkového počtu 9 terapií žen. Muži podstupují tuto terapii nejvíce ve věkové kategorii 50-54 let. Z celkového počtu 2 terapie mužů.



Graf 29 Počet terapií štítné žlázy žen a mužů pro benigní onemocnění – NČB; Zdroj: Vlastní výzkum

O hodnotách v grafu 29 můžeme říct, že z výzkumu NČB, SÚJB a hodnot vyplývajících z reportu UNSCEAR nejvíce mužů a žen přichází na terapii štítné žlázy pro benigní onemocnění ve věku 60-64 let. V NČB je to nejvíce ve věku 45-49 let.



Graf 30 Aplikovaná aktivita ¹³¹I – jodid při terapii štítné žlázy pro benignitu; Zdroj: Vlastní výzkum

Z grafu 30 vyplývá, že průměrná aplikovaná aktivita ^{131}I v NČB při terapii nezhooubného onemocnění štítné žlázy je přibližně o 11 % nižší, než se uvádí v reportu UNSCEAR.

*Národní radiologické standardy neuvádějí přesnou číselnou hodnotu aplikované aktivity pro benigní onemocnění štítné žlázy. Terapeutická dávka se volí na základě vzorců, které uvádí EANM na principu Marinelliho rovnice a doporučených hodnot absorbovaných dávek v cílové tkáni. (Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky, 2016)

4.7 Akumulace štítné žlázy 0%

Při diagnostickém použití ^{131}I -jodid průměrně 67,5 MBq u malignity a 5,5 MBq u benignity, byla u třiceti pacientů akumulace štítnou žlázou 0 %. V tabulce 15 jsou vypočteny efektivní dávky a ekvivalentní dávky na močový měchýř. Tyto hodnoty UNSCEAR neuvádí, proto nejsou v porovnávacím grafu. Hodnoty koeficientu na přepočítání ekvivalentní a efektivní dávky udává Státní ústav pro kontrolu léčiv 2016.

U ostatních pacientů byla akumulace do 5 %, byla proto podaná léčebná dávka radiojódu. U těchto pacientů se efektivní dávka nepočítá.

Tabulka 15 Stanovení efektivní a ekvivalentní dávky při nulové akumulaci štítnou žlázou

Diagnostická aplikace ^{131}I	E [mSv]	H_T [mGy] močový měchýř
Maligní onemocnění	4,12	41,15
Benigní onemocnění	0,34	3,37

Zdroj: Vlastní výzkum

4.8 RMU č.1 Kontaminace obyvatele pacientem propuštěným z ONM po léčbě štítné žlázy

Popis RMU

Dne 11. 4. 2016 v 6:23 bylo při vstupu do Jaderné elektrárny Temelín dále (JETE) nejmenovanému pracovníkovi zjištěno překročení zásahové úrovně celkové aktivity gama. Pracovník byl poté odeslán k měření vnitřní kontaminace na celotělovém počítači, kde byla zjištěna kontaminace ^{131}I , bez identifikace dalšího radionuklidu. Měření se provádělo i v následující dny.

Tabulka 16 Monitorování nejmenovaného pracovníka CTP JETE

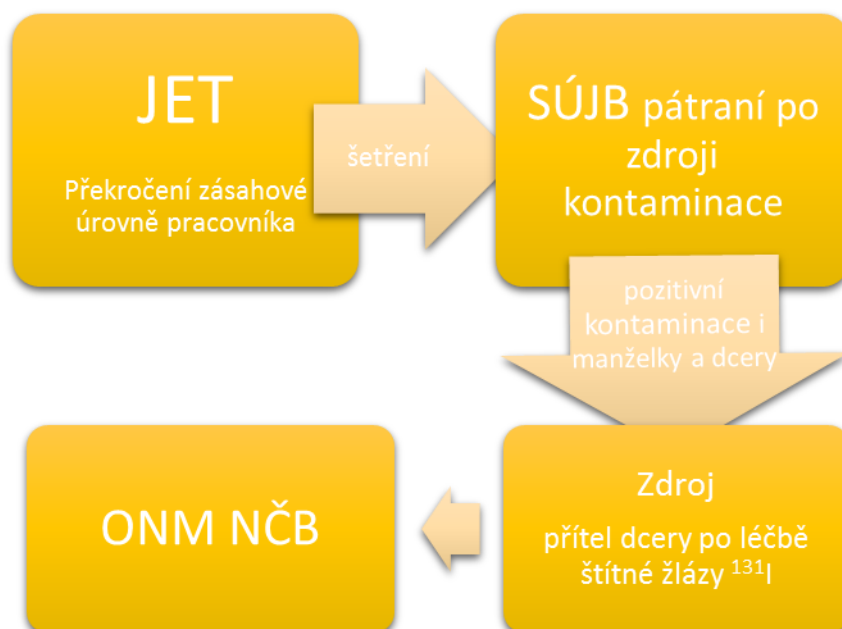
Datum	A [Bq] pracovník oblečený	A [Bq] pracovník svlečený ve spodním prádle	A [Bq] pracovník svlečený bez spodního prádla	A [Bq] pracovník svlečený bez spodního prádla po vysprchování	Povrchová kontaminace spodního prádla [Bq/cm ²]
11. 4. 2016	95 000				
12. 4. 2016	68 000				
13. 4. 2016		74 000	493	180	105

Zdroj: (Protokol šetření SÚJB, 2016)

Pracovníkovi byl odebrán vzorek moči, změřeno 2,4 Bq/l ^{131}I . Následně 13. 4. 2016 bylo provedeno kontrolní monitorování manželky a dcery pracovníka celotělovým počítačem.

Výsledky měření:

- manželka < 115 Bq
- dcera 538 Bq (kontaminace prádla nebyla prokázána)



Obrázek 5 Ukázka propojení činností různých organizací při jedné RMU

4.8.1 Odezva a šetření

JETE o tomto zjištění informovala SÚJB, který provedl šetření možného způsobu kontaminace. Pracovník se vyskytoval v kontrolovaném pásmu naposledy 27. 1. 2016, a posledním měřením v JETE s negativním výsledkem došlo v pátek před událostí 8. 4. 2016. Závěrem bylo zjištění, že původ kontaminace ¹³¹I nemohl pocházet z JETE. Při šetření události byly vyloučeny všechny činnosti, pozřené potraviny a léčiva, které by mohly být zdrojem ¹³¹I.

4.8.2 Výsledky šetření:

Při zjišťování původu kontaminace se jevílo pravděpodobným, že zdrojem radionuklidu ¹³¹I je partner dcery pracovníka JETE, který byl cca 10 dní před událostí léčen na oddělení nukleární medicíny NČB pro onemocnění štítné žlázy. To objasnilo i kontaminaci manželky a dcery pracovníka. ONM NČB potvrdilo, že partnerovi dcery, který pravděpodobně způsobil kontaminaci svých příbuzných, byla dne 27. 3. 2016 aplikována terapeutická aktivita ¹³¹I 4 300 MBq. Propuštěn do domácího prostředí byl 31. 3. 2016. Hodnota dávkového příkonu měřena 1 m od těla pacienta v úrovni štítné

žlázy činila 10 $\mu\text{Sv/hod}$ (směrná hodnota $<12 \mu\text{Sv/hod}$, což odpovídá aktivitě 250 MBq^{131I})

4.8.3 Klasifikace RMU

Pro SÚJB bylo obtížné správně tuto RMU klasifikovat. ONM pochybilo tím, že pacientovi nebyla monitorována povrchová kontaminace osobních věcí, oděvů a prádla, ve kterém pobýval na ONM NČB během terapie štítné žlázy a se kterými odešel domů. I když nemusely být povolány složky IZS, tato RMU nebyla zvládnutá silami a prostředky pracovní směny ONM, při které došlo k RMU. A protože se jednalo o kontaminaci obyvatele a šetření bylo prováděno SÚJB ve spolupráci s JETE, došlo ke klasifikaci „radiační nehoda“.

4.8.4 Následné opatření

SÚJB vykonal na lůžkovém ONM NČB kontrolu plnění povinností stanovených tehdejším platným Zákonem č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů.

Zjištěné nedostatky:

Po přešetření celé situace inspektorka SÚJB došla k závěru, že na ONM NČB došlo k RMU, a že ONM nepostupovalo dle platné vyhlášky o radiační ochraně, ve věcech:

- V písemném poučení pacienta při propuštění (přítel dcery pracovníka JETE) do domácího prostředí chyběla informace o rizicích ionizujícího záření.
- Pacient měl po celou dobu hospitalizace přístup ke všem osobním věcem a oděvům, nebylo jisté, zda byl převlečen do nemocničního oděvu včetně spodního prádla.

- Pacient z kontrolovaného pásma na lůžkovém ONM odcházel domů bez monitorování povrchové kontaminace oděvů a osobních věcí.
- Není prováděno monitorování povrchové kontaminace pracoviště a pokojů v takovém rozsahu, který prokazuje optimalizaci radiační ochrany. Pouze v případě viditelného znečištění ploch zejména na WC a podlaze.

4.8.5 Opatření k nápravě

Všechny zjištěné nedostatky byly pracovníky ONM odstraněny. Na pracovišti ONM bylo zajištěno monitorování povrchové kontaminace každodenně na stanovených místech (aplikační místnost, chodba, nemocniční prádlo, nádobí, vyprané lůžkoviny, uklízející prostředky, atd.) a monitorování věcí a osob při opouštění kontrolovaného pásma.

Protože oddělení nedisponovalo dostatečným množstvím měřicí techniky, ONM nakoupilo 3 měřiče plošné kontaminace LB Scint, které jsou stanoveným měřidlem s ověřením ČMI, nastavené pro daný radionuklid ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ a ^{18}F . Uložené jsou v příslušné aplikační místnosti pracoviště SPECT/CT, PET/CT a lůžkové části ONM. Po zakoupení přístrojů na měření povrchové kontaminace jsem provedla důkladné měření povrchové kontaminace stanovených míst a věcí v kontrolovaném pásmu i mimo něj. Cílem této studie bylo zhodnocení stavu na lůžkové části ONM NČB s možnou povrchovou kontaminací radionuklidy během provozu. Bylo nutné najít kritická místa kontaminace, aby bylo možné účinně zajistit nápravu stavu. Pro zaměstnance ONM to zároveň znamenalo zajištění bezpečného pracovního prostředí.

Na nejvíce kontaminovaných místech, která překračovala hodnotu 4 Bq/cm^2 zjištěnou měřičem plošné aktivity LB 124 Scint, byly prováděny otěrové zkoušky před dekontaminací a úklidem. Hodnoty na ostatních místech nepřevyšovaly směrné hodnoty pro plošnou aktivitu. V následující tabulce jsem uvedla jejich průměrnou hodnotu.

Tabulka 17 Měření plošné aktivity (povrchové kontaminace)

Místo	Průměrné hodnoty plošné aktivity
Lůžková část – pokoje	<p>č. 9 a č. 10 - hodnoty < 4 Bq/cm²</p> <p>č. 11 a č. 12:</p> <ul style="list-style-type: none"> - WC podlaha: 50 Bq/cm² - WC prkýnko: 15 - sprcha: 5 Bq/cm² - podlaha koupelna: 20 - umyvadlo: 7
Lůžková část – zázemí	- hodnoty ≤ 0,35 Bq/cm ²
Lůžková část – prádlo	<ul style="list-style-type: none"> - před vypráním 10,3 Bq/cm² - po vyprání 2,2 Bq/cm²
Lůžková část – nádobí	- 0,5 Bq/cm ²
Lůžková část – patientské věci	- 2 Bq/cm ²

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 18 Otěrové zkoušky

Číslo měření	Den	Čas	Místo	LB Scint [Bq/cm ²]	Odhad aktivity z otěru [Bq]	Dekontaminace
1.	Pondělí (3 den po aplikaci ¹³¹ I)	14:00	Pokoj č. 12 - noční stolek	16,6	1004,1	+
2.			Pokoj č. 12 - postel	10,8	1268,8	+
3.			Pokoj č. 12 - umývadlo	20	4843,8	+
4.			Pokoj č. 12 - WC	120	22687,8	+
5.			Pokoj č. 12 - podlaha	13	1178,5	+
6.			Pokoj č. 11 - WC	30	1793,1	+
7.	Úterý (4 den po aplikaci ¹³¹ I)	13:00	Pokoj č. 12 - umývadlo	10	4790,9	+
8.			Pokoj č. 11 - umývadlo	25	6344,4	+
9.	Středa (5 den po aplikaci ¹³¹ I)	13:00	Pokoj č. 12 - umývadlo	7	1914,4	+
10.			Pokoj č. 12 - WC	4,5	479,8	+

Zdroj: Vlastní výzkum

Hodnoty na 10 místech převyšovaly zásahovou úroveň stanovenou v Programu monitorování, tj. 4 Bq/cm². Na těchto místech byla provedena dekontaminace.

4.8.6 Naměřené hodnoty:

Pokoj č. 12: V době měření byl pokoj se sociálním zařízením obsazený 2 pacienty. Měření se provádělo v pondělí, pacienti s aplikovanou aktivitou ¹³¹I-jodid 1450 MBq a 4470 MBq pobývali na tomto pokoji od soboty.

Pokoj č. 11: V době měření byl pokoj se sociálním zařízením obsazený 1 pacientem. Měření se provádělo v pondělí, pacient s aplikovanou aktivitou ^{131}I -jodid 2650 MBq pobýval na tomto pokoji od soboty.

V čase měření, které prováděl kontrolní orgán – SÚJB v rámci šetření RMU, se pokoj č. 12 nacházel prázdný, uklizený a připravený pro dalšího pacienta. Poslední pacient byl propuštěn z pokoje č. 12 sedm dní před měřením, a byla mu aplikovaná aktivita 2 300 MBq. V pokoji č. 11 se nacházel pacient s aplikovanou aktivitou ^{131}I 4 500 MBq. Bylo zajímavé, že na většině měřených míst, a to zejména právě prázdný pokoj pro pacienty a také aplikační místnost, byla překročena vyšetřovací monitorovací úroveň pro povrchovou kontaminaci. Na osmi místech byla překročena i zásahová monitorovací úroveň.

4.8.7 Přijatá opatření pro zamezení a opakování takové RMU

Po RMU byla na lůžkovém oddělení zavedené tato opatření:

Pro zaměstnance:

- Školení zaměstnanců v oblasti radiační ochrany a v správném používání měřících přístrojů a provádění dekontaminace.
- Hodnoty povrchové kontaminace osobních věcí a hodnoty dávkového příkonu při propuštění pacienta z ONM zanést do dokumentace pacienta (razítko Měření osobních věcí a Měření dávkového příkonu).
- Vedení provozní dokumentace o měření povrchové kontaminace pracovních ploch, podlah, nemocničního prádla a nádobí. Do dokumentace zaznamenat příslušnou naměřenou hodnotu a případně provedení dekontaminace.
- Personál vstupující do prostor pokoje pracuje v rukavicích a návlecích, které jsou likvidovány jako pevný radioaktivní odpad.
- Pověřený pracovník před prováděním úklidu pracoviště, resp. pokojů, nejdříve dozimetricky proměří povrchovou kontaminaci, aby nedošlo k jejímu zanesení do dalších prostor. V případě překročení 4 Bq/cm^2 dojde k dekontaminaci,

a pak k následnému úklidu, nebo vymezení, tzn. označení místa a ponechání ho nedotčeného do dalšího dne (snížení aktivity).

- Při úklidu pokoje č. 11 a č. 12 používat výhradně jiné pomůcky než v ostatních prostorách (úklidová souprava – mop, voda), jako prevenci šíření případné neodhalené aktivity do ostatních pokojů a prostor.
- Měření povrchové aktivity vypraného prádla v pračce pracoviště před odesláním do centrální prádelny.

Pro pacienty:

- Při nutnosti pohybu pacienta, který dostal terapeutickou aplikaci ^{131}I mimo svůj pokoj (měření dávkového příkonu, jiné okolnosti), pacient používá jednorázové návleky.
- Před propuštěním pacienta do domácího prostředí přeměřit všechny osobní věci, hodnota nesmí překračovat $0,4 \text{ Bq/cm}^2$.
- Pacientovi je předloženo k podpisu – „Poučení pacienta propuštěného z ONM“, kde jsou uvedené pokyny pro omezení kontaktu s osobou blízkou, a další pokyny spojené s IZ.
- Používat jednorázové spodní prádlo (dostupné na oddělení), ústavní noční košili, nebo pacientům doporučit prádlo, které budou moci při odchodu ponechat na oddělení buď jako RA odpad, anebo pacienta poučit, že věci mu budou vráceny až po poklesu aktivity pod uvolňovací úroveň.
- Oblečení, v kterém pacient přichází na oddělení, je vloženo do uzamykatelné skříňky, a klíče od ní jsou uloženy na sesterně oddělení. Pacient nemá přístup k osobním věcem a oblečení do propuštění z ONM.
- Při převlékání a monitorování osobních věcí pacienta před propuštěním z oddělení jsou jeho osobní věci odkládány na igelitový pytel, aby nedošlo k jejich znečištění a otěrům od povrchů v patientském pokoji.
- Mobilní telefon, notebook jsou pacientovi obalené do igelitových sáčků, které při odchodu ponechá v RA odpadu.

4.9 RMU č. 2 Překročení uvolňovací úrovně pro vypuštění ¹³¹I v kapalném radioaktivním odpadu z odpadních jímek ONM

4.9.1 Popis RMU

Dne 29. 5. 2018 po 7:00 v rámci kontroly řídicí jednotky vymíracích jímek bylo zjištěno, že hladina jímky č. 1 je nápadně nízká, a že došlo k neplánovanému vypuštění celého obsahu jímky č. 1. Následně v 7:45 hod. jsme spolu s klinickým radiologickým fyzikem (zároveň dohlízející osoba nad radiační ochranou) provedli odběr vzorku na výpusti ČOV NČB. Vzorek byl změřen v studňovém detektoru NaI(Tl) a hodnota objemové aktivity radioaktivního ¹³¹I činila 3290 Bq/l. Protože tato hodnota přesáhla víc než sedminásobek uvolňovací úrovně pro vypouštění kapalného radioaktivního odpadu podle Vyhlášky o radiační ochraně č. 422/2016 Sb., byla vyhlášena radiační mimořádná událost – radiační nehoda. Po následných šetřeních byla RMU překlasifikována na RMU 1. stupně, zvládnutelná silami pracoviště ONM.

4.9.2 Odezva na RMU

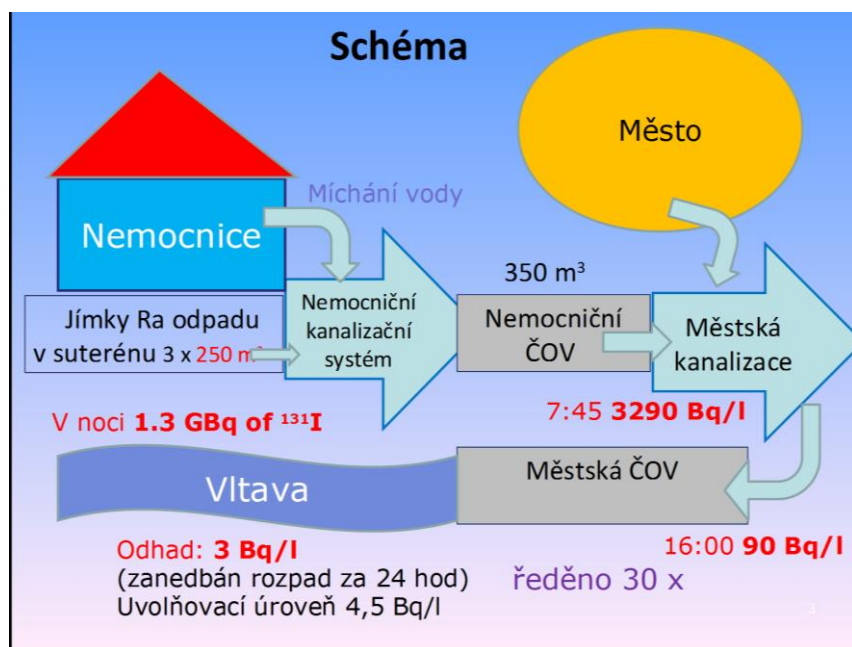
V souladu s platným Vnitřním havarijním plánem dohlízející osoba o této skutečnosti obeznámila osoby, které jsou stanovené tímto plánem, a to primáře ONM NČB MUDr. Václava Maxu, dále Regionální centrum SÚJB v Českých Budějovicích – konkrétně Ing. Evu Zemanovou, Ph.D. jednak telefonicky 28. 5. 2018 v 9:45 a jednak byla 29. 5. 2018 zaslána tomuto orgánu Zpráva o vzniku a průběhu radiační mimořádné události elektronickou formou. Dále bylo vyrozuměno pracoviště vodohospodářských služeb NČB a byla doporučena zvýšená opatrnost při pohybu v okolí nádrží ČOV.

Předpokládalo se, že odběr vzorku odpadní vody, která vykazovala překročení uvolňovací úrovně, nemůže vést k nepřipustnému ozáření pracovníka provádějícího odběr, a protože se jednalo o odpadní potrubí, bylo vysoce nepravděpodobné, že by mohlo dojít k ohrožení jiné osoby v areálu nemocnice. Nedošlo k poruše technologie potrubí na ONM, která by ohrozila poruchu technologie v dalších částech NČB.

Měřením vzorku kapalného radioaktivního odpadu na výpusti z ČOV NČB dne 29. 5. 2018 v 13:00 byla zjištěna hodnota plošné aktivity $0,1 \text{ Bq/cm}^2$, což je pod uvolňovací úrovní plošné aktivity mimo KP. Tato hodnota činí mimo KP $0,4 \text{ Bq/cm}^2$. Na základě odhadu radiologického fyzika bylo konstatováno, že při nošení osobních ochranných pomůcek nehrozí zaměstnancům, kteří by vykonávali práci bezprostředně u výpusti do odpadního potrubí NČB, překročení $0,01 \text{ mSv}$. Dle pracovníka vodohospodářských služeb, ale v tomto čase nebyly prováděny žádné takové činnosti.

Šetřením bylo zjištěno, že v městské ČOV ČB dochází k ředění výpustí z NČB dalšími městskými a dešťovými vodami cca 1:10 000. Bylo odhadnuto, že na výstupu z městské ČOV ČB do Vltavy nebyla překročena uvolňovací úroveň $4,5 \text{ Bq/l}$. Nebylo proto nutno aktivovat HZS ČR ani ostatní složky IZS a další orgány dané VHP ONM NČB.

4.9.3 Průběh radiální nehody



Obrázek 6 Průběh RMU Překročení uvolňovací úrovně pro vypuštění ¹³¹I v kapalném radioaktivním odpadu z odpadních jímek ONM;

Zdroj: (Zemanová, 2018)

4.9.4 Neodkladné opatření

Aby byla zajištěna maximální možná kontrola nad vypouštěním i ostatních dvou jímek radioaktivního odpadu, bylo provedeno okamžité přepnutí elektronického ovládaní jímek č. 2 a č. 3 do manuálního režimu. Toto opatření bylo přijato až do doby kontroly a opravy řídicí jednotky automatického vypouštění jímek. Následně byla kontaktována dostupná servisní firma, analyzována příčina selhání řídicí jednotky a její oprava.

Terapeutické aplikace radiofarmak byly přeposílány do jiné nemocnice v ČR, která takovou léčbu umožňuje. Léčení byli jenom pacienti, kteří měli vysazenou hormonální léčbu jako podmínku k terapii štítné žlázy a jejich léčení bylo nevyhnutelné. Tito hospitalizovaní pacienti na lůžkovém oddělení ONM byli poučeni o maximální šetření s vodou, tak aby došlo k snížení uvolňované aktivity kumulované ve sběrných jímkách NČB.

4.9.5 Zjištěné příčiny vzniku RMU

Podle záznamu řídicí jednotky k RMU došlo mezi 28. 5. 2018 13:30 a 29. 5. 2018 02:00. Protože chyběl jakýkoli funkční hlásič havarijního stavu, situace byla zjištěna až přibližně v 7:00 hod dne 29. 5. 2018, kdy již nebylo možné zabránit vypuštění obsahu jímkou z potrubí ONM ČB do odpadní vodoteče z NČB. Podle servisních techniků příčinou RMU bylo selhání řídicí jednotky pro částečné vypouštění kapalného RA odpadu, z důvodů mechanické neprůchodnosti na šoupěti a dále absence čidla, resp. jiných pasivních a aktivních prvků, které by na tento stav upozornily.

Přidruženou příčinou RMU byla skutečnost, že montáž vymíracích jímek byla prováděna již v roce 2003 a poslední revize nastala v roce 2016. Používaná technologie byla již 15 let stará, bez pravidelného servisu. Důležitým faktem byla též absence bezpečnostních prvků pro odtok odpadu, alarmů a možnost včasné aktivace zasahující osoby, která by byla schopna v tuto dobu manuálního uzavření. V tomto případě bylo problematické manuálně úniku radioaktivity zabránit, protože se tak stalo samospádem v noci během cca 10 minut pro nedovření vypouštěcího šoupěte po vyzkratování automatické řídicí jednotky. Příčinou mohla být fyzická obstrukce (plastové pleny, kapesníky ...), které neumožnily uzavření odtoku z jímkou.

4.9.6 Následné opatření

Primárně bylo zapotřebí nechat poklesnout aktivitu ve všech třech jímkách, vypustit je a dekontaminovat, aby mohl být zahájen servis a nedošlo ke kontaminaci pracovníků firmy, která prováděla opravy tohoto zařízení. V manuálním režimu byla denně vypouštěna 1/3 obsahu jímky s kapalným radioaktivním odpadem a monitorována objemová aktivita na výpusti z nemocniční ČOV. Hodnoty odebrané a změřené aktivity v studňovém detektoru jsou zapsané do tabulky.

Tabulka 19 Hodnoty objemové aktivity ^{131}I od 18. 7. – 20. 7. 2018

Datum	Čas	A [Bq/l]
18. 7. 2018	08:00	67
	10:00	130
	12:00	443
	13:45	435
	16:15	411
19. 7. 2018	09:00	139

Zdroj: Vlastní výzkum

Objemová aktivita vzorku z výpustí jímky č. 3 měřená na výpusti ČOV NČB byla maximálně 443 MBq. Nebyla překročena uvolňovací úroveň ^{131}I .

Tabulka 20 Hodnoty objemové aktivity ^{131}I od 23. 7. – 24. 7. 2018

Datum	Čas	A [Bq/l]
23. 7. 2018	8:30	29
	9:40	107
	11:00	262
	12:30	285
	15:00	238
24. 7. 2018	7:50	40

Zdroj: Vlastní výzkum

Objemová aktivita vzorku z výpustí jímky č. 3 měřená na výpusti ČOV NČB byla maximálně 285 MBq. Nebyla překročena uvolňovací úroveň ¹³¹I

Po opravě hladinoměrů a míchadel bylo možné hromadit radioaktivní odpady do ostatních jímek. Kontrolní měření objemové aktivity výpusti z jímky č. 1 je v tabulce 19 a 20.

Tabulka 21 Hodnoty objemové aktivity ¹³¹I od 25. 7. – 26. 7. 2018

Datum	Čas	A (Bq/l)
25. 7. 2018	6:30	336
26. 7. 2018	6:30	199
	11:30	382

Zdroj: Vlastní výzkum

Objemová aktivita vzorku z výpustí jímky č. 1 měřená na výpusti ČOV NČB byla maximálně 382 MBq. Nebyla překročena uvolňovací úroveň ¹³¹I.

Tabulka 22 Hodnoty objemové aktivity ¹³¹I od 1. 8. – 3. 8. 2018

Datum	Čas	A [Bq/l]
1. 8. 2018	13:00	189
2. 8. 2018	6:30	388
3. 8. 2018	6:15	195

Zdroj: Vlastní výzkum

Objemová aktivita vzorku z výpustí jímky č. 1 měřená na výpusti ČOV NČB byla maximálně 388 MBq. Nebyla překročena uvolňovací úroveň ¹³¹I.

Z hodnot objemových aktivit měřených od 18. 7. 2018 je zřejmé, že ani v jednom případě nedošlo k překročení uvolňovací úrovně. Provoz na terapeutické části ONM byl zastaven a 3. 8. 2018 došlo k vypuštění posledního obsahu jímky. Následovala revize a oprava technologie. Ta trvala do 17. 8. 2018. Další oprava, konkrétně výměna ovládacího panelu pro automatické vypouštění byla plánovaná od 8. 12. 2018 –

14. 1. 2019, v tomto období byla pacientům aplikovaná pouze nižší diagnostická aktivita ^{131}I .

Režim vypouštění jímek byl od 4. 1. 2019 řízen ručně a vypouštělo se po 1/5 z jímký č. 2 a po 1/6 z jímký č. 3. Protože v jímce č. 1 byla aktivita pokleslá na přibližně 6 MBq, bylo možné ji vypustit najednou. Objemová aktivita byla kontrolně měřena pracovníky SÚRO jednak na výpustí jímek a jednak na výpustí ČOV NČB. Žádná z hodnot nepřekročila uvolňovací úroveň.

Všechna měření SÚRO byla v dobré shodě s měřením stejných vzorků, prováděným na ONM.

4.9.7 Náprava stavu a zabránění opakování takové RMU

V květnu tohoto roku bude probíhat technická přestavba a stavební úpravy jímek. Budou rozšířeny o 4 další jímký, každá o objemu přibližně 2,5 m³. Oddělení se v současné době připravuje na změnu v provozu. Budou se podávat pouze diagnostické aplikace ^{131}I , terapie se přesune do jiných částí ČR.

Firmě, která provádí výstavbu, byly kladeny tyto požadavky:

- zajištění pravidelného servisu a údržbou technologie, tak aby byla minimalizovaná pravděpodobnost opakování RMU
- zajištění indikátoru havarijního stavu jímek
- zajištění alarmu formou sms zprávy na mobilní telefon dohlížející osobě a dalším osobám dle VHP
- možnost vzdáleného přístupu kontroly stavu hladin
- možnost automatického a ručního režimu
- bezpečnostní pojistné ventily
- zajištění fyzické dostupnosti osoby, která provede adekvátní zásah

Výstavba nových vymíracích jímek s bezpečnostními prvky budou splňovat maximální požadavky pro zamezení opakování RMU obdobného charakteru.

Větším počet nádrží umožní dlouhodobější skladování kapalného odpadu, a tím i menší množství uvolňované objemové aktivity z terapeutických aplikací. Z tohoto pohledu bude uvolňování kapalného RA odpadu považováno za optimalizované.

4.10 Revize Vnitřního havarijního plánu

Pro naplnění cíle práce jsem hodnotila VHP ONM ČB na základě požadavků na jeho obsah, které stanovuje Vyhláška č. 359/2016, vyhláška o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události.

Byly zjištěny tyto nedostatky:

- V úvodu byla napsána pouze osoba, respektive osoby, které dokument zpracovaly, bez uvedení kontaktu na tyto osoby.
- Pojem „mimořádná událost“ bylo nutno nahradit podle § 153 Zákona č. 263/2016 Sb., atomového zákona pojmem „radiační mimořádná událost“.
- Chyběla adresa pracoviště, na kterém se ZIZ nakládá
- Chybělo zařazení pracoviště do kategorie ohrožení
- Ve výčtu uvažovaných RMU chyběl popis RMU „*Překročení uvolňovací úrovně pro vypuštění ¹³¹I kapalného radioaktivního odpadu z odpadních jímek ONM*“.

4.11 Revize Programu monitorování

Pro naplnění tohoto cíle práce jsem hodnotila Program monitorování ONM ČB na základě požadavků na jeho obsah, daných Vyhláškou č. 422/2016 Sb., vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. Jak bylo uvedené v teoretické části, kapitola 1.11, musí být prováděno monitorování pracoviště, osob a výpustí.

Zjištěné nedostatky

- Pojem „referenční úrovně“ podle platných právních předpisů bylo nutno nahradit pojmem „monitorovací úrovně“.
- Byla potřeba provést aktualizaci seznamu měřících přístrojů. Na ONM ČB byl zakoupeny měřící přístroj Canberra Radiagem 2000 pro měření dávkového příkonu. Přístroj DC-3E-98 pro měření dávkového příkonu a povrchové aktivity byl z provozu vyřazen.
- Byly nesprávně uvedeny monitorovací úrovně pro monitorování pracoviště a osob. Vyšetřovací úrovně nebyly v dosavadním programu monitorování stanoveny jako nejvyšší obvykle se vyskytující hodnoty, ale již jako zásahové úrovně, které má již v rozpracování dohlížející osoba. Hodnota 4 Bq/cm² je už podle platných předpisů považována za zásahovou úroveň.
- V Programu monitorování chybělo ustanovení, že *„v případě zjištění kontaminace při odchodu z oddělení pracovním měřidlem RM 552 GS, má pracovník povinnost se přeměřit stanoveným měřidlem LB Scint pro měření povrchové kontaminace. O tomto úkonu provede pracovník záznam“*.
- Vymírací jímky v tomto období procházejí rekonstrukcí, proto je nutná aktualizace Programu monitorování, a také Standardních operačních postupů pro ovládání řídicí jednotky.
- Do Programu monitorování je nutné doplnit *„povinností DO nebo osoby pověřené měřením vzorku kapalného RA odpadu ve studnovém detektoru NaI(Tl) nacházející se v laboratorní části je, že v případě podezření na překročení 455 Bq/l (uvolňovací úroveň), zajistí změření stejného vzorku stanoveným měřidlem na pobočce SÚRO v ČB“* pro ověření nepřekročení uvolňovací úrovně.

Revize VHP a Programu monitorování a návrh úpravy byl předložen dohlížející osobě nad radiační ochranou a po vypracování předán k posouzení SÚJB. Revidované znění bylo již kladně posouzeno SÚJB.

5 Diskuze

Záměrem mé diplomové práce bylo zhodnotit radiační zátěž pacientů a možnost vzniku a řešení radiačních mimořádných událostí. Pro naplnění těchto cílů bylo třeba provést sběr dat z jednotlivých vyšetření a pak je statisticky vyhodnotit, a také shromáždit informace o vzniklých RMU, příčinách jejich vzniku a přijetí nápravných opatření.

Pro splnění cílů práce jsem zvolila 2 výzkumné otázky

Výzkumná otázka 1 „Jaké jsou průměrné aplikované aktivity radiofarmak na oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice, a.s., ve srovnání s národními referenčními hodnotami a celosvětovými hodnotami uváděnými v reportu UNSCEAR, 2016?“

Výzkumná otázka 2 „V jakém rozsahu přispěla analýza příčin konkrétní vzniklé mimořádné události na lůžkové části ONM, přijatá opatření, následné vzdělávání zdravotnického personálu, informovanost pacientů a revize vnitřního havarijního plánu, respektive programu monitorování k zamezení dalšího opakování RMU podobného charakteru?“

Při prvotním výzkumu jsem rozdělila jednotlivá vyšetření podle pohlaví, výšky a váhy. Při vyšetření štítné žlázy jsem kritérium výšky a váhy vynechala, protože aplikovaná aktivita se volí podle jiných rozhodujících faktorů uvedených níže. Věkové kategorie po pěti letech zahrnují věk pacientů od 15 – 90 let a výše. Hodnoty jsem porovnávala s hodnotami v reportu UNSCEAR, r. 2016, a s výsledky hodnocení SÚJB.

Byly zjišťovány průměrné aplikované aktivity a odhadnuty efektivní dávky z radiofarmak, jako i efektivní dávky z CT vyšetření. Pro kompletnost této problematiky jsem provedla odhad ekvivalentní dávky na nejvíce zatížený orgán. Výsledky jsem porovnávala s výsledky z UNSCEAR, NDRÚ a s hodnotami EANM.

Lze konstatovat, že výsledek výzkumu části diplomové práce, týkající se počtu vyšetření v jednotlivých kategoriích, je v dobré shodě s povědomím, které jsem nabyla při své praxi na pracovišti. Nejvíce pacientů přichází na vyšetření skeletu a PET/CT ve věku 65 – 84 let, průměrně stejně pro každé pohlaví. Zvyšující se věk onkologických pacientů se stává stále větším problémem v onkologické péči a Česko patří mezi státy s nejvyšším výskytem onkologických onemocnění na světě.

(Epidemiologie zhoubných nádorů v České republice, 2015) Naopak s nižší věkovou hranicí se setkáváme u vyšetření perfuze myokardu, kde hranice u mužů je 55 – 64 let. Státní zdravotní ústav uvádí, že nejvíce lidí v Evropě mladších než 65 let zemře na srdečně-cévní onemocnění. Riziko srdečně-cévních chorob je vyšší u mužů než u žen, u mužů nad 45 let a u žen nad 55 let věku. Vyšší počet žen přichází na ONM pro poruchy štítné žlázy, a to již ve věku 35 – 39 let. „*Poruchami štítné žlázy trpí ženy tři až pětkrát častěji a počet incidencí stále stoupá,*“ tvrdí MUDr. Magnová, z Fakultní nemocnice Brno. (Magnová, 2019)

Scintigrafie skeletu

Průměrná aplikovaná aktivita na ONM NČB je o 6 % vyšší, než vyplývá z reportu UNSCEAR 2016, ale zároveň o 2 % nižší, než jsou NDRÚ. EANM uvádí hodnoty od 300 do 740 MBq. Hodnota získaná na ONM vyplývá z faktu, že z 200 pacientů byla až u třiceti z nich podaná aplikovaná aktivita ≥ 1000 MBq, s odůvodněním nadměrné váhy pacienta.

Průměrná ekvivalentní dávka z radiofarmaka činí 4,48 mSv, což je až o 39 % méně, než vyplývá z reportu UNSCEAR. Tento rozdíl lze vysvětlit možností, že v datech pro UNSCEAR byly použity koeficienty na přepočítání efektivní dávky rozdílně pro obě pohlaví. Podle EANM se tato hodnota efektivní dávky pohybuje od 1,4 – 3,6 mSv, ale to souvisí s menší aplikovanou aktivitou, a také s jednotným faktorem na přepočítání efektivní dávky. Podle EANM, pokud chceme posoudit riziko spojené s IZ pocházejícím z radiofarmak, je nutné upravovat faktory podle pohlaví a věku. Ve věstníku Ministerstva zdravotnictví ČR je uveden pouze jeden faktor na přepočítání těchto dávek.

Průměrná efektivní dávka E z CT vyšetření v NČB je o 64 % nižší, než vyplývá z hodnot reportu UNSCEAR a činí 1,44 mSv. Domnívám se, že takto nízká hodnota zjištěná na ONM je způsobena využíváním nízkodávkového CT (low-dose), které se používá na jedné z dvou vyšetřovacích kamer SPECT/CT. To je samozřejmě prioritou v optimalizaci dávek pacientovi.

Vyšetření myokardu

Průměrná aplikovaná aktivita v NČB je přibližně o 27 % vyšší, než vyplývá z reportu UNSCEAR. Volba vhodné aktivity je rozdílná pro perfuzní scintigrafii zátěžovou anebo

klidovou. Protože z reportu UNSCEAR není zřejmé, o které konkrétní vyšetření se jedná, porovnávám tuto hodnotu s průměrnou aplikovanou aktivitou na ONM z obou vyšetření. Při zátěžové perfuzní scintigrafii činí průměrná aplikovaná aktivita $670,00 \pm 84,26$ MBq a u klidové perfuzní scintigrafii $767,70 \pm 85,71$ MBq. Podle EANM se tato hodnota pohybuje mezi 350 – 700 MBq.

Je zajímavé, že průměrná efektivní dávka z radiofarmaka na ONM je přibližně o 17 % nižší, než vyplývá z reportu UNSCEAR, i když je průměrná aplikovaná aktivita vyšší. Hodnoty jsou $5,32 \pm 0,67$ mSv pro zátěž, $6,91 \pm 0,77$ mSv pro klidovou perfuzní scintigrafii srdce. Vycházím opět z předpokladu rozdílných koeficientu pro obě pohlaví. Podle EANM jsou hodnoty z ONM v dobré shodě, činí 4,4 mSv pro zátěž a pro klid je to 5,3 mSv, což zase vychází z menší aplikované aktivity.

Průměrná efektivní dávka E z CT vyšetření v NČB je o 88 % nižší, než vyplývá z reportu UNSCEAR. Domnívám se, že takto odlišné hodnoty způsobují různé scintigrafické přístroje, s použitím plnohodnotného vysokodávkového (high-dose) nebo nízkodávkového (low-dose) CT. Rozhodujícím faktorem může být též použití CT snímání jenom na oblast srdce, jako „PARTIAL CT“, nebo použití CT skenování v plné velikosti snímaného SPECT obrazu. Tak jako ONM, tak i EANM uvádí žlučník jako orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou.

PET/CT

Průměrná aplikovaná aktivita na jedno vyšetření v NČB činí 279,85 MBq, tedy o 23 % méně, než vyplývá z hodnot UNSCEAR, a zároveň je až o 63 % nižší, než jsou NDRÚ, což považuji za velmi pozitivní zjištění. Rozhodně k tomu přispívá možnost použití kvalitního zobrazovacího přístroje, který přináší kvalitní diagnostický výstup, a tím i menší aplikované aktivity. Podle EANM se na 75 kg pacienta podává aktivita 350 MBq.

Průměrná efektivní dávka z podaného radiofarmaka je 5,30 mSv, což je o 23 % nižší hodnota, než jsou hodnoty v reportu UNSCEAR. EANM uvádí rozsah efektivní dávky z radiofarmaka mezi 3,5 – 10 mSv. Ekvivalentní dávka H_T na močový měchýř je 36,38 mGy, což se shoduje s EANM, která uvádí 130 μ Gy/MBq.

Průměrná efektivní dávka z CT vyšetření trupu činí 7,05 mSv, což je o 39 % nižší, než vyplývá z hodnot UNSCEAR. Domnívám se, že by tomu tak mohlo být z důvodu

nezapočítání skenované oblasti pro hlavu a nohy, které ve svém výzkumu neuvádím. Z výzkumu UNSCEAR není zcela zřejmé, které skenované oblasti byly započítány.

Scintigrafie štítné žlázy

Diagnostická aplikace ^{131}I štítné žlázy se volí na základě poznatku, jestli se jedná o maligní nebo benigní onemocnění. Průměrné aplikované aktivity na ONM jsou u diagnostiky štítné žlázy, hlavně u maligních onemocnění, značně nižší. Od poloviny roku 2018 přešlo ONM ČB k podávání diagnostických kapslí pacientům, a to z původních 111 MBq a 74 MBq při maligním onemocnění štítné žlázy na 37 MBq. Průměrná aplikovaná aktivita bude tím pádem v dalších letech ještě nižší.

Terapeutické dávky ^{131}I

Při volbě terapeutické dávky rozhodujícím faktorem je zde procento akumulace ^{131}I , velikost štítné žlázy a efektivní poločas.

Aplikovaná aktivita u maligních onemocnění je určena v závislosti na charakteru a stadiu karcinomu štítné žlázy a na kinetice jódu v organizmu.

Průměrná aplikovaná aktivita ^{131}I v NČB při terapii zhoubného onemocnění štítné žlázy je o 32 % vyšší, než vyplývá z reportu UNSCEAR. Může to být způsobené různou diagnózou. I v České republice, jak vyplývá z Věstníku Ministerstva zdravotnictví ČR 2016, se rozsah aplikovaných aktivit pohybuje od 1,85 do 7,4 GBq ^{131}I pro diferencovaný karcinom, a při terapii lokálních reziduí nebo recidiv tumoru a metastáz to může být až 5 – 8 GBq. Přibližně stejné hodnoty uvádí i EANM.

Průměrná aplikovaná aktivita ^{131}I v NČB při terapii nezhooubného onemocnění štítné žlázy je přibližně o 11 % nižší, než vyplývá z hodnot UNSCEAR, což považují za kladné zjištění.

Při zápisu aplikovaných aktivit z chorobopisů pacientů jsem si všimla těch, kterým byla aplikovaná diagnostická aktivita ^{131}I a měli 0% akumulaci štítnou žlázou. Efektivní dávka činí 4,12 mSv pro malignitu a 0,34 mSv pro benignitu. Ekvivalentní dávka na močový měchýř představuje 41,15 mGy u maligního onemocnění, u benigního 3,37 mGy.

Dále Byla provedená analýza a hodnocení příčin konkrétních dvou RMU, které na ONM skutečně nastaly, a přijata opatření na zamezení vniku RMU obdobného charakteru.

1. RMU Kontaminace obyvatele pacientem po léčbě štítné žlázy

Mezi hlavní příčiny pochybení ONM patřily nedostatečná informovanost pacienta, konkrétně informace o rizicích ionizujícího záření, chybějící kontrola nepoužívání vlastního patientského prádla, a dále neměření možné povrchové kontaminace oblečení a osobních věcí, a v případě kontaminace, neprovedení dekontaminace a neodstranění těchto oděvů a předmětů, s kterými pacient přišel do styku, jako RA odpad. Domnívám se, že s nárůstem rizik vzniku radiačních mimořádných událostí na pracovištích se ZIZ, bude muset být systém výuky v oblasti radiační ochrany stále více detailnější, nejenom v teoretické, ale i praktické rovině. Tak jako je tomu například u složek integrovaného záchranného systému. Protože jenom správně proškolený a znalý personál může pacientům poskytnout relevantní informace o všech rizicích spojených s IZ.

Všechny výše zmíněné zjištěné nedostatky byly na ONM řádně odstraněny. Radiační pracovníci poučí pacienta při jeho příjmu na oddělení o chování v KP pracoviště. Před odchodem pacient podepisuje písemný souhlas o poučení omezení ozáření osob, které s ním přijdou do styku na co nejnižší možnou úroveň, a zároveň informace rizicích spojených s ionizujícím zářením. Při ukončení pobytu na ONM je pacientovi předáno oblečení, které bylo po celou dobu pobytu zamčené, tudíž bylo zamezeno možnosti kontaminace. Všechny osobní věci a předměty jsou pacientovi před propuštěním přeměřeny.

Měření povrchové kontaminace, byly odhaleny nejvíce kontaminovaná místa radionuklidy. Jsou to především pokoje, kde se nacházejí pacienti po aplikaci terapeutické dávky ^{131}I , konkrétně sociální zařízení. Na lůžkovém oddělení se aplikuje radioaktivní jod ^{131}I o vysokých aktivitách, až několik GBq. Myslím si, a i praxe poukazuje na to, že při takto vysokých aktivitách je velmi náročné nepřekračovat směrné hodnot plošné aktivity podle platné vyhlášky o radiační ochraně. Co je však důležité, aby dobře proškolený a připravený personál dokázal takovou situaci zvládnout provedením účinné dekontaminace, označením kontaminovaného místa pro

zabránění jejího dalšího šíření a správného vedení dokumentace s příslušnými podrobnými údaji a informacemi. Školení personálu je zabezpečeno dohlízející osobou při nástupu na pracoviště, jednou ročně jsou znalosti ověřovány formou testu a v případě zavádění nových měřících přístrojů a technik se školení provádí častěji.

Se vznikem radiační mimořádné události a kontrolním měřením povrchové kontaminace pracoviště lůžkové části vedlo k odhalení nedostatků i na její ambulanci části. Byla vytyčena nejvíce kontaminovaná místa. Byla to místa, kde se aplikují radiofarmaka, a k zabránění dalších kontaminací byly na oddělení nakoupené pomůcky pro snadnější natahování radiofarmak a plně olovem odstíněné odpadní koše o větších rozměrech, tak aby se zabránilo co nejmenší manipulaci s lahvičkami s radiofarmaky a tím možné povrchové kontaminaci.

SÚJB vykonal bezprostředně po RMU kontrolu jako dozorní orgán nad radiační ochranou, při které byly vytyčeny všechny nedostatky, kterými ONM porušovalo tehdejší platné předpisy. Další kontrolu vykonal s odstupem 5 měsíců. Změřením povrchové kontaminace lůžkového oddělení bylo prokázáno nepřekročení uvolňovacích úrovní nefixované plošné aktivity. Změřené hodnoty byly v dobré shodě s hodnotami, které jsem provedla já spolu s dohlízející osobou.

2. RMU Překročení uvolňovací úrovně pro vypuštění ¹³¹I v kapalném radioaktivního odpadu z odpadních jímek ONM

Příčinou této RMU bylo selhání řídicí jednotky pro částečné vypouštění kapalného RA odpadu, absence bezpečnostních prvků a nerevidovaná technologie vymírání nádrží.

Všechny nedostatky byly odstraněny a v současnosti se oddělení připravuje na výstavbu nových 4 vymírání jímek, každá o objemu cca 2,5 m³, s bezpečnostními prvky pro včasné varování odchylky od standardní situace, havarijním indikátorem a možností vzdáleného přístupu.

Revize vnitřního havarijního plánu

Protože VHP ONM ČB je v platnosti od února 2018, nacházím jenom drobné, spíše formální nedostatky. V úvodní části se nacházejí všechny potřebné údaje, mimo spojení na osoby, které tento dokument zpracovaly. Komunikační spojení na tyto osoby, jsou umístěné na konci tohoto dokumentu. Správně je popsána definice radiální mimořádné události podle § 153 Zákona č. 263/2016 Sb., atomového zákona, v dalších částech však zůstal jenom pojem „mimořádná událost“. V úvodu se nachází stručná charakteristika ZIZ, je zde však uvedeno, že se jedná o ORZ k diagnostickým, paliativním a terapeutickým účelům. K uvážení by bylo zařazení zdrojů do kategorie podle míry ohrožení zdraví a ŽP. Tato informace se nachází v jiných dokumentech pro povolenou činnost, ne však dostupně a operativně pro všechny pracovníky ONM. Možnost vzniku druhá RMU – *Překročení uvolňovací úrovně pro vypouštění ¹³¹I v kapalném radioaktivním odpadu z odpadních jímek ONM*, která na oddělení vznikla, nebyla ve VHP ani Analýze a hodnocení RMU vůbec zvažována a řešena. S jejím uvedením úzce souvisí i chybějící zásahová instrukce.

Revize Programu monitorování

Z formálních nedostatků hodnotím nesprávný pojem „referenční úrovně“, podle platných předpisů se používá pojem „monitorovací úrovně“. Protože skončila platnost osvědčení stanoveného měřidla studňového detektoru NaI(Tl), je na základě smlouvy se SÚRO přijato opatření, že v případě aktivity vzorku kapalného odpadu nasvědčující překročení uvolňovací úrovně, bude vzorek znovu měřen stanoveným měřidlem – HPGe na pobočce SÚRO v ČB. Toto přijaté opatření je potřeba zavést do Programu monitorování. Protože u východu z pracoviště ONM se nachází přístroj, který měří dávkový příkon, jsou zaměstnanci obeznámeni s tím, že při zvýšené hodnotě této veličiny, musí provést kontrolu stanoveným měřičem povrchové kontaminace, který se nachází v aplikační místnosti. I tento postup třeba zavést do Programu monitorování.

6 Závěr

V posledních deseti letech dochází k nárůstu diagnostických a terapeutických modalit, které využívají ionizující záření, spojené s vyššími dávkami z lékařského ozáření. I když se tím zvyšuje kvalita zdravotní péče pro lepší diagnostickou informaci, je nutno ctít princip předběžné opatrnosti a nezapomínat na rizika a škodlivé účinky IZ na zdraví obyvatel a ŽP. Snahou SÚJB v rámci ČR je získávat přehled o všech diagnostických a léčebných postupech, při kterých je používané IZ a provádět kontroly dodržování principu zdůvodnění a optimalizace, tak aby dávky pro pacienty byly snižené na co nejnižší možnou úroveň. Pro potřeby hodnocení stavu ONM NČB v rámci aplikovaných aktivit a jejich porovnání s hodnotami celosvětovými i celorepublikovými, jsem zvolila kvantitativní výzkum. Protože na ONM NČB vznikly v posledních dvou letech 2 RMU, při kterých jsem měla možnost provádět vlastní měření, měla jsem potřebu získat o těchto událostech co nejvíce souhrnných informací, které by byly užitečné pro zaměstnance ONM, z důvodů uvědomění si důležitosti dodržování všech opatření, které předcházejí vzniku těchto i ostatních nežádoucích událostí.

Na stanovenou výzkumnou otázku 1 *„Jaké jsou průměrné aplikované aktivity radiofarmak na oddělení nukleární medicíny nemocnice České Budějovice, a.s., ve srovnání s národními referenčními hodnotami a celosvětovými hodnotami uváděnými v reportu UNSCEAR, 2016?“* mohu na základě výzkumu a dat ONM NČB odpovědět, že hodnoty aplikované aktivity jsou ve vyhovující shodě, resp. i nižší oproti hodnotám z reportu UNSCEAR, a současně tyto hodnoty nikdy nepřekročily národní diagnostické referenční úrovně.

Na předloženou výzkumnou otázku 2 *„V jakém rozsahu přispěla analýza příčin konkrétní vzniklé mimořádné události na lůžkové části ONM, přijatá opatření, následné vzdělávání zdravotnického personálu, informovanost pacientů a revize vnitřního havarijního plánu, respektive programu monitorování k zamezení dalšího opakování RMU podobného charakteru?“* odpovídám takto: ONM se podařilo analýzou příčin dvou RMU najít takové opatření, které brání dalšímu opakování těchto RMU. Přijatými opatřeními bylo zavedení měření povrchové kontaminace každodenně, provedení revize příslušné dokumentace, častější proškolení a vzdělávání personálu v oblasti radiační ochrany a ověřování správného provádění přijatých opatření dohlížející osobou na RO, dále zvýšení informovanosti pacientů písemní i ústní formou a seznámení všech

radiačních pracovníků ONM s VHP, zásahovými instrukcemi a obsahem Programu monitorování.

Cíle práce byly splněny, výzkumné otázky zodpověděny. Diplomová práce může sloužit pro potřeby ONM NČB a s jeho obsahem bude obeznámena dohlížející osoba nad radiační ochranou.

7 Seznam použitých zdrojů

Analýza a hodnocení radiační mimořádné události ONM NČB: Dokument k povolené činnosti na pracovišti. Zpracoval: PĚNIČKA, Jindřich a DAŇOVÁ Kristína a SOLNÝ Pavel, 2018. Nemocnice České Budějovice – Oddělení nukleární medicíny.

BĚLOHLÁVEK, Otakar. Pozitronová emisní tomografie s fluorodeoxyglukózou (FDG PET): Positron emission tomography with fluorodeoxyglucose (FDG PET): atlas příkladů klinického využití. 2. vyd. Praha: Lacomed, 2004. ISBN 80-902873-8-7.

BERTHOLD TECHNOLOGIES, 2009. Digitální monitor kontaminace č. 43727BA2: LB 124 SCINT contamination monitor for α -and β - γ -Measurement [online]. Verze číslo: 08 19.01.2009 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.berthold.com/en/rp/lb-124-scint-contamination-monitor>

DOSTÁLOVÁ, Petra, Vliv monitorování pracoviště na radiační zátěž personálu na pracovišti PET. NuklMed. Oddělení lékařské fyziky, Nemocnice Na Homolce, Praha, ČR, 2018(7(1)).

EANM & UEMS/EBNM, 2018. EuropeanNuclearMedicineGuide. Netherlands: HGP Vullers. ISBN 978-90-78876-13-7.

Epidemiologie zhoubných nádorů v České republice: Nádorová onemocnění ve starším věku[online], 2015. In: 27. 10. 2015 [cit. 2019-05-10]. ISSN 1802-886. Dostupné z: <http://www.svod.cz/>

FIALOVÁ, Hana, 2007. Komunikace jako součást ošetrovatelské péče. Bakalářská práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA. Vedoucí práce Mgr. Klára Heřmanová R.N.

FN MOTOL, 2012. Obecné informace o radioaktivitě a radiační ochraně: Přírodní radioaktivita[online]. Fakultní nemocnice v Motole 2012 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <http://www.fnmotol.cz/kliniky-a-oddeleni/cast-pro-dospELE/klinika-nuklearni-mediciny-a-endokrinologie-uk-2-l/oddeleni-radiologicke-fyziky/obecne-informace-o-radioaktivite-a-radiacni-ochran/>

FN MOTOL, 2012. Obecné informace o radioaktivitě a radiační ochraně: Radiační zátěž populace[online]. Fakultní nemocnice v Motole 2012 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <http://www.fnmotol.cz/kliniky-a-oddeleni/cast-pro-dospele/klinika-nuklearni-mediciny-a-endokrinologie-uk-2-1/oddeleni-radiologicke-fyziky/obecne-informace-o-radioaktivite-a-radiacni-ochran/>

GLATZNER, M. a V. POLKO, RADIAČNÍ OCHRANA: ORF MOÚ [online]. 2011 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: [file:///C:/Users/oem/Desktop/radiacni-ochrana-2011%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/oem/Desktop/radiacni-ochrana-2011%20(1).pdf)

HUDZIETZOVÁ, J., M. FÜLÖP, J. SABOL a J. DOLEŽAL, 2015. Assessment of the local exposure of skin on hands of nuclear medicine workers handling ¹⁸F – Labelled radiopharmaceuticals: Preliminary Czech study. Radiation Protection Dosimetry (2016) [online]. 445-452 [cit. 2019-05-09]. DOI: 10.1093/rpd/ncv441.

HUDZIETZOVÁ, Jana, 2012. Ochrana osob při styku s pacientem aplikovaným vysokoaktivním radiofarmakem na oddělení nukleární medicíny. České vysoké učení technické v Praze fakulta biomedicínského inženýrství.

HUDZIETZOVÁ, Jana, Dana PRCHALOVÁ, Jozef SABOL a Petr VLČEK, RADIAČNÍ ZÁTĚŽ PRACOVNÍKŮ NA KLINICE NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY A ENDOKRINOLOGIE 2. LF UK A FN MOTOL V LETECH 2006–2011. Ces Radiol [online]. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství, Kladno 2 Klinika nukleární medicíny a endokrinologie, 2. LF UK a FN Motol, Praha, 2013, 87–94 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad_1301_87_94.pdf

HUŠÁK, Václav, 2009. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-2350-0.

IAEA: Statute [online], 2019. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.iaea.org/about/overview/statute>

ICRP Publication 101a: Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public [online], 2006. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20101a>

ICRP Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection [online], 2007. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>

ICRP Publication 130: Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1 [online], 2015. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20130>

ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging [online], 2017. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20135>

ICRP Publication 138: Ethical Foundations of the System of Radiological Protection [online], 2018. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20138>

ICRP: Organisation [online], 2019. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.icrp.org/page.asp?id=9>

KAUSHIK, Aruna, Abhinav JAIMINI a Madhavi TRIPATHI, Journal of Cancer Therapeutics and Research: Estimation of patient dose in 18 F-FDG and 18 F-FDOPE PET/CT examinations [online]. 2013 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.cancerjournal.net/article.asp?issn=0973-1482;year=2013;volume=9;issue=3;spage=477;epage=483;aulast=Kaushik>

KOLÁČEK, Bohumil, 2012. Radiační ochrana: pro vybrané pracovníky velmi významných zdrojů. 1. Brno.

KORANDA, Pavel, MYSLIVEČEK, Miroslav, HUŠÁK, Václav. 2002. Nukleární medicína v endokrinologii a terapie otevřenými zářiči. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2002. ISBN 80-244-0415-X.

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

KUČEROVÁ, Lenka, 2010. Vnější a vnitřní kontaminace radioaktivními látkami. Bakalářská práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA. Vedoucí práce Mgr. Renata Havránková, Ph.D.

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. 6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). V Praze: P3K, 2015. ISBN 9788087343548.

LANG, Otto, Nukleární medicína, 1. vydání, Karolinum, 1998. ISBN 80-7184-721-6.

MAGNOVÁ, Olga, 2019. Počet incidencí štítné žlázy stále stoupá. © Fakultní nemocnice Brno[online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.fnbrno.cz/mudr-olga-magnova-pocet-incidenci-stitne-zlazy-stale-stoupa/t5969>

MÍKOVÁ, Vlasta, ed. Nukleární medicína: průřez vyšetřovacími metodami v oboru nukleární medicína. Praha: Galén, 2008. Care. ISBN 978-80-7262-533-8.

NEDVĚDOVÁ, Michaela, 2012. Faktory ovlivňující biologické účinky ionizujícího záření. České Budějovice. Bakalářská práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA. Vedoucí práce Doc. Dr. Ph. D. Friedo Zölzer.

NIKODEMOVÁ, Denisa, Marko FÜLÖP a Helena CABÁNEKOVÁ, 2012. Závěry a odporúčania Európskeho projektu ORAMED pre praktickú intervenčnú radiológiu a nukleárnu medicínu. Bezpečnosť jadrovej energie. Slovenská zdravotnícka univerzita v Bratislave, (7/8).

Nukleární medicína: molekulární výzkum, diagnostika a terapie, 2017. Praha: Česká lékařská společnost Jana Evangelisty Purkyně, 6(3). ISSN 1805-1146.

PÁŠKOVÁ, Zuzana, 2016. Nový atomový zákon [online]. M.G.P. spol. s r.o. Zlín, 2016 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.mamo.cz/res/file/prednasky/datovy-audit/2016/04-paskova.pdf>

Principy a praxe radiační ochrany. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. ISBN 80-238-3703-6.

Program monitorování ONM NČB: Posuzovaná dokumentace pro povolenou činnost SÚJB, Zpracoval: PĚNIČKA, Jindřich, DAŇOVÁ Kristína a SOLNÝ Pavel, 2018. Nemocnice České Budějovice – Oddělení nukleární medicíny.

PROUZA, Zdeněk a Jiří ŠVEC. Zásahy při radiační mimořádné události. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-046-3.

PTÁČEK, Jaroslav a Václav HUŠÁK, 2004. Radiační zátěž a radiační ochrana pacienta v diagnostické nukleární medicíně, radiofarmaka v nukleární medicíně: Příručka pro pracoviště za podpory SÚJB. 101. Oddělení lékařské fyziky a radiační ochrany FN Olomouc.

Publikace 103: Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany 2007, 2009. Praha: Český překlad vydal se souhlasem ICRP: Státní úřad pro jadernou bezpečnost.

Radiační a dozimetrické systémy: DMC 3000 [online]. 2019 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.rdsys.cz/dmc-3000/>

Radiační ochrana: Požadavky SÚJB při provádění terapie onemocnění štítné žlázy radiojodem na pracovištích nukleární medicíny, 2000. SÚJB.

RIEBELOVÁ, Dana, Ludvík PRUDIL a Josef SVOBODA. Problematika práce sestry v souvislosti s diagnostikou a léčbou ionizujícím zářením. 4. přeprac. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1993. ISBN 80-7013-141-1.

SABOL, Jozef a Petr VLČEK. Radiační ochrana v radioterapii. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-0104-757-6.

SEIDL, Zdeněk, Andrea BURGETOVÁ, Eva HOFFMANNOVÁ, Martin MAŠEK, Manuela VANĚČKOVÁ a Tomáš VITÁL, 2012. Radiologie pro studium i praxi. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4108-6.

SHRIMPION ET AL; P., W. PANZER a K. JESSEN, 2000. Europeanguidelines on qualitycriteriaforcomputedtomography: EUR 16262 EN [online]. [cit. 2019-04-25]. ISBN 92-828-7478-8. Dostupné z: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d229c9e1-a967-49de-b169-59ee68605f1a>

SICK BUILDING: Radon gas and its role in sick building syndrome [online], ©2019. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://www.sickbuildingsyndrome.ca/radon-gas/>

SILBERSTEIN, Edward B., Janet RYAN a THE PHARMACOPEIA COMMITTEE OF THE SOCIETY OF NUCLEAR MEDICINE, 1996. Prevalence of Adverse Reactions in Nuclear Medicine: Department of Radiology, University of Cincinnati Hospital, Cincinnati, Ohio. The Journal of Nuclear Medicine is published monthly [online]. Reston: Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, January

1996, 8 [cit. 2019-05-07]. ISSN 2159-662X. Dostupné z: <http://jnm.snmjournals.org/content/37/1/185.full.pdf>

SIEMENS HEALTHCARE TRAINING CENTER. *Guide to Low Dose: Effective Dose* [online]. Printed in Germany, 2013 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/press/pool/de/events/healthcare/2010-11-rsna/guide-low-dose-e.pdf>

Služba osobní dozimetrie VF, a.s.: katalogový list VF B-70-A0004c [online], 2011 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.dozimetrie.cz/data/files/b-70-a0004c-110511-dozimetr-tld-55.pdf>katalogový list VF B-70-A0004c

Státní ústav pro kontrolu léčiv: SOUHRN ÚDAJŮ O PŘÍPRAVKU Sodium Iodide (131I) sp.zn. sukls285097, 2016.

Stručný přehled farmakologie pro radiologické asistenty. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2007. ISBN 978-80-7040-967-1.

SÚJB [online], 2019. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/o-sujb/uvod/>

SÚJB, PETROVÁ, Karla, 2016. THE EVALUATION OF MEDICAL EXPOSURES IN THE CZECH REPUBLIC, Praha.

SÚJB, ZACHARIÁŠOVÁ, Ivanka, Karla PETROVÁ, Hynek NOVÁK, 2019. Statistické hodnocení lékařského ozáření: DIAGNOSTICKÉ A LÉČEBNÉ VÝKONY PROVEDENÉ V ROCE 2016 - NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA.

SÚJB: Nové atomové právo [online], 2016. Praha [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/263-2016.pdf>

SÚJB: Radiační ochrana – Doporučení ZABEZPEČENÍ OSOBNÍHO MONITOROVÁNÍ PŘI ČINNOSTECH VEDOUCÍCH K OZÁŘENÍ – ČÁST II. VNITŘNÍ OZÁŘENÍ [online], 2005. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/Zabezpeceni_os_monit_pri_ozareni.pdf

SÚJB: Stručný přehled biologických účinků záření [online], 2019. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologickych-ucinku-zareni/>

SÚKUPOVÁ, Lucie. *CT kurz IAEA – CT veličiny a sledování dávek* [online]. ©2019 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/ct-kurz-iaea-ct-veliciny-a-sledovani-davek/>

SÚKUPOVÁ, Lucie, Jaké existují „dávky“ v radiodiagnostice? [online]. 2011 – 2019 © [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/jake-existuji-davky-v-radiodiagnostice/>

SÚRO, 2019. Přírodní radioaktivita a problematika radonu: Rozdělení dávek obyvatelstvu. SÚRO [online]. Praha 4 [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz>

SÚRO: Biologické účinky ionizujícího záření [online], 2019. Praha [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/biologicke-ucinky-ionizujiciho-zareni>

SÚRO: Základní informace o RADONU [online], 2019. Praha [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace>

ULLMANN, Vojtěch, Biologické účinky ionizujícího záření: Účinky záření na látku. Základní veličiny dozimetrie [online]. 2002 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm>

ULLMANN, Vojtěch, **RADIAČNÍ OCHRANA PŘI PRÁCI SE ZDROJI IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ V NUKLEÁRNÍ MEDICINĚ: Základní způsoby ochrany před zářením** [online]. Klinika nukleární medicíny FNŠP v Ostravě, 2002 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/RadOchrana.htm>

UNSCEAR 2016 REPORT SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION UNSCEAR 2016 Report: Report to the General Assembly SCIENTIFIC ANNEXES A, B, C and D [online], 2017. Vídeň [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: http://wwwnscear.org/docs/publications/2016/UNSCEAR_2016_Report.pdf

UNSCEAR, 2016. Ionizující záření, účinky a zdroje: Program OSN pro podporu životního prostředí [online]. Česká republika [cit. 2019-04-25]. ISBN 978-92-807-3600-7. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/Radiation-InsidePart-Czech-Feb_2017-1.pdf

UNSCEAR: History and mandate [online], 2019. Vienna International Centre [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://www.unscear.org/unscear/en/about_us.html

VÁLEK, Vlastimil, 2016. Rentgen bulletin: Použití lékařského ozáření a jeho přínos [online]. Státní ústav radiacní ochrany [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/Rentgen_6_2016.pdf

Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky: Standardy zdravotní péče – Národní radiologické standardy – Nukleární medicína, 2016. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR, Částka 2/2016

VF NUCLEAR: AGM-02 MONITOR DÁVKOVÉHO PŘÍKONU GAMA [online]. ©2016, Czech republic, [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.vfnuclear.com/cz/produkty/monitor-davkoveho-prikonu-gama-agm-02>

VLČEK, Petr, 2012. Rakovina štítné žlázy: současné diagnostické a léčebné možnosti: přehled nejen pro laickou veřejnost. Praha: Mladá fronta. Lékař a pacient. ISBN 978-80-204-2799-1.

Vyhláška č. 307/2002 Sb.: Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiacní ochraně. In: *Sbírka zákonů ČR*. 2017, Ročník 2002, Částka 113/2002, Zrušeno k 01. 01. 2017. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-307>

Vyhláška č. 345/2002 Sb.: Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu, kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu, In: *Sbírka zákonů ČR*. Ročník 2002, Částka 125/2002. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-345>

Vyhláška č. 359/2016 Sb.: Vyhláška o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiacní mimořádné události, In: *Sbírka zákonů ČR*. Ročník 2016, Částka 143/2016. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-359>

Vyhláška č. 410/2012 Sb.: Vyhláška o stanovení pravidel a postupů při lékařském ozáření, 2012. In: Sbírka zákonů ČR. Ročník 2012, Částka 150/2012. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-410>

Vyhláška č. 422/2016 Sb.: Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016. In: Sbírka zákonů ČR. Ročník 2016, Částka 172/2016. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>

Vymezení kontrolovaného a sledovaného pásma ONM NČB: Posuzovaná dokumentace pro povolovanou činnost SÚJB. Zpracoval: PĚNIČKA, Jindřich, DAŇOVÁ Kristína a SOLNÝ Pavel, 2018. Nemocnice České Budějovice – Oddělení nukleární medicíny.

Zákon č. 239/2000 Sb.: Zákon o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, In: Sbírka zákonů ČR. Ročník 2000, Částka 73/2000. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-239>

Zákon č. 263/2016 Sb. ze dne 14. července 2016: Zákon atomový zákon, 2016. In: Sbírka zákonů ČR. Ročník 2016, Částka 102/2016. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>.

Zákon č. 505/1990 Sb.: Zákon o metrologii, In: Sbírka zákonů ČR. Ročník 1990, Částka 83/1990. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1990-505>

ZEMANOVÁ, Eva, 2018. Radiační mimořádná událost: V ONM Nemocnice Č. Budějovice. RC SÚJB České Budějovice.

8 Seznam zkratk

Bq, MBq, GBq	Becquerel, megabecquerel, gigabecquerel
CPZP	Česká průmyslová zdravotní pojišťovna
CT	Computed Tomography (Výpočetní tomografie)
CTP	Celotělový počítač
ČMI	Český metrologický institut
ČOV	Čistička odpadních vod
ČOV	Čistička odpadních vod
DLP	Dose Length Parameter (součin kermy a délky)
DO	Dohlížející osoba
DRÚ	Diagnostická referenční úroveň
EANM	European Association of Nuclear Medicine (Evropská asociace nukleární medicíny)
E_{DLP}	Normalizované hodnoty DLP
EURATOM	Evropské společenství pro atomovou energii
Gy, μ Gy, mGy,	Gray, mikrogray, miligray
HPGe	Polovodičový detektor
ICRP	International Commission on Radiological Protection (Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu)
IZ	Ionizující záření
JETE	Jaderná elektrárna Temelín
KP	Kontrolované pásmo
KP	Kontrolované pásmo
KÚ	Krajský úřad
LS	Lumbosakrální přechod
NaI(Tl)	Jodid sodný aktivovaný taliem
NDRÚ	Národní diagnostické referenční úrovně
NM	Nukleární medicína
NM	Nukleární medicína
OD	Osobní dozimetr
ONM NČB	Oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice

OZP	Oborová zdravotní pojišťovna
PET	Positron Emission Tomography (Pozitronová emisní tomografie)
PET/CT	Hybridní přístroj PET v kombinaci s CT
RA	Radioaktivní
RBP	Revírní bratrská pokladna, zdravotní pojišťovna
RMU	Radiační mimořádná událost
RO	Radioaktivní odpad
SKO	Zaměstnanecká pojišťovna škoda
SMS	Short Message Service (Služba krátkých textových zpráv)
SPECT	Single-Photon Emission Computed Tomography (Jednofotonová emisní výpočetní tomografie)
SPECT/CT	Hybridní přístroj SPET v kombinaci s CT
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany
ŠŽ	Štítná žláza
UNSCEAR	Vědecký výbor OSN pro účinky atomového záření
VHP	Vnitřní havarijný plán
VNI	Zdravotní pojišťovna Ministerstva vnitra ČR
VOZP	Vojenská zdravotní pojišťovna České republiky
VZP	Všeobecná zdravotní pojišťovna
ZIZ	Zdroje ionizujícího záření
ŽP	Životní prostředí
μSv, mSv	Mikrosievert, milisievert,
^{99m} Mo, ^{99m} Tc, ¹⁸ F	Chemická značka – molybden, metastabilní technecium, fluor

9 Seznam grafů

Graf 1 Zastoupení pojišťoven v počtu vyšetření rok 2016	25
Graf 2 Přírodní zdroje záření	27
Graf 3 Umělé zdroje záření.....	27
Graf 4 Celosvětový průměr ozáření z jednotlivých zdrojů.....	28
Graf 5 Průměrné ozáření z jednotlivých zdrojů v ČR	28
Graf 6 Počet vyšetření scintigrafie skeletu žen a mužů v závislosti na věkové kategorii	62
Graf 7 Počet vyšetření scintigrafie skeletu žen v závislosti na věkové kategorii	63
Graf 8 Počet vyšetření scintigrafie skeletu žen v závislosti na věkové kategorii	63
Graf 9 Průměrná aplikovaná aktivita ^{99m}Tc -HDP na jedno vyšetření scintigrafie skeletu	64
Graf 10 Průměrná efektivní dávka E z radiofarmaka ^{99m}Tc -HDP	65
Graf 11 Průměrná efektivní dávka E z CT	65
Graf 12 Počet vyšetření perfuzní scintigrafie myokardu žen a mužů v závislosti na věkové kategorii.....	66
Graf 13 Počet vyšetření perfuzní scintigrafii myokardu žen v závislosti na věkové kategorii	67
Graf 14 Počet vyšetření perfuzní scintigrafii myokardu mužů v závislosti na věkové kategorii	67
Graf 15 Průměrná aplikovaná aktivita ^{99m}Tc -MIBI na jedno vyšetření perfuzní scintigrafie myokardu	68
Graf 16 Průměrná efektivní dávka E z radiofarmaka ^{99m}Tc -MIBI	69
Graf 17 Průměrná efektivní dávka E z CT	69

Graf 18 Počet vyšetření PET/CT žen a mužů v závislosti na věkové kategorii – NČB .	70
Graf 19 Počet vyšetření PET/CT žen v závislosti na věkové kategorii	71
Graf 20 Počet vyšetření PET/CT žen v závislosti na věkové kategorii	71
Graf 21 Průměrná aplikovaná aktivita ¹⁸ FDG na jedno vyšetření PET/CT	72
Graf 22 Efektivní dávka E z radiofarmaka ¹⁸ FDG	73
Graf 23 Efektivní dávka E z CT trupu.....	73
Graf 24 Aplikovaná aktivita ¹³¹ I-jodid při diagnostice štítné žlázy	74
Graf 25 Počet terapií štítné žlázy pro maligní onemocnění – NČB.....	75
Graf 26 Počet terapií štítné žlázy žen a mužů pro maligní onemocnění – NČB	76
Graf 27 Aplikovaná aktivita ¹³¹ I-jodid při terapii štítné žlázy pro malignitu.....	76
Graf 28 Počet terapií štítné žlázy pro benigní onemocnění – NČB.....	77
Graf 29 Počet terapií štítné žlázy žen a mužů pro benigní onemocnění – NČB.....	78
Graf 30 Aplikovaná aktivita ¹³¹ I – jodid při terapii štítné žlázy pro benignitu.....	78

10 Seznam obrázků

Obrázek 1	Hodnoty efektivních dávek z ozáření z různých zdrojů vyjádřené v mSv....	30
Obrázek 2	Schéma průběhu zvládní RMU	39
Obrázek 3	Přední a zadní snímek pořízený na hybridním SPECT/CT přístroji	59
Obrázek 4	Snímek pořízený na hybridním PET/CT přístroji	60
Obrázek 5	Ukázka propojení činností různých organizací při jedné RMU	81
Obrázek 6	Průběh RMU Překročení uvolňovací úrovně pro vypuštění ¹³¹ I v kapalném radioaktivním odpadu z odpadních jímek ONM.....	89

11 Seznam tabulek

Tabulka 1 Tkáňové váhové faktory	17
Tabulka 2 Data zpracované pro nukleární medicínu za rok 2016	25
Tabulka 3 Riziko při ozařování dávkami.....	29
Tabulka 4 Rozdíly v absorbované a efektivní dávky pro léčbu karcinom štítné žlázy ..	35
Tabulka 5 Rozdělení pracoviště se ZIZ do kategorie ohrožení	41
Tabulka 6 Parametry přístroje AGM-02.....	52
Tabulka 7 Parametry přístroje RM 552 GS	52
Tabulka 8 Parametry LB 124 Scint.....	53
Tabulka 9 Směrné hodnoty pro kontaminaci povrchů.....	55
Tabulka 10 Rozdělení žen a mužů při scintigrafii skeletu v závislosti na výšce a váze.	62
Tabulka 11 Rozdělení žen a mužů při perfuzní scintigrafii myokardu v závislosti na výšce a váze	66
Tabulka 12 Rozdělení žen a mužů při PET/CT vyšetření v závislosti na výšce a váze .	70
Tabulka 13 Rozdělení žen a mužů při diagnostice štítné žlázy	74
Tabulka 14 Rozdělení žen a mužů terapeutické aplikaci ¹³¹ I-jodid.....	75
Tabulka 15 Stanovení efektivní a ekvivalentní dávky při nulové akumulaci štítnou žlázou.....	79
Tabulka 16 Monitorování nejmenovaného pracovníka CTP JETE	80
Tabulka 17 Měření plošné aktivity (povrchové kontaminace)	84
Tabulka 18 Otěrové zkoušky	85
Tabulka 19 Hodnoty objemové aktivity ¹³¹ I od 18. 7. – 20. 7. 2018	91

Tabulka 20 Hodnoty objemové aktivity ^{131}I od 23. 7. – 24. 7. 2018.....	91
Tabulka 21 Hodnoty objemové aktivity ^{131}I od 25. 7. – 26. 7. 2018.....	92
Tabulka 22 Hodnoty objemové aktivity ^{131}I od 1. 8. – 3. 8. 2018.....	92
Tabulka 23 Normalizované E_{DLP} pro různé oblasti těla.....	127
Tabulka 24 Normalizované E_{DLP} pro různé oblasti těla.....	128

12 Seznam příloh

Příloha A – Dosavadní vymírací nádrže kapalného radioaktivního odpadu

Příloha B – Dosavadní řídicí jednotka vymíracích nádrží pro vypouštění kapalného radioaktivního odpadu

Příloha C – Měřič plošné kontaminace LB 124 Scint

Příloha D – Nová řídicí jednotka vymíracích nádrží pro vypouštění kapalného radioaktivního odpadu

Příloha E – Ovládací obrazovka nových vymíracích nádrží pro vypouštění kapalného radioaktivního odpadu

Příloha F – Normalizované E_{DLP} pro různé oblasti těla

Příloha G – Normalizované E_{DLP} pro různé oblasti těla

Příloha A – Dosavadní vymírací nádrže kapalného radioaktivního odpadu



Zdroj: (ONM NČB, 2019)

Příloha B – Dosavadní řídicí jednotka vymírácích nádrží pro vypouštění kapalného radioaktivního odpadu



Zdroj: (ONM NČB, 2019)

Příloha C – Měřič plošné kontaminace LB 124 Scint



Zdroj: (ONM NČB, 2019)

Příloha D – Nová řídicí jednotka vymíracích nádrží pro vypouštění kapalného radioaktivního odpadu



Zdroj: (ONM NČB, 2019)

Příloha E – Ovládací obrazovka nových vymíracích nádrží pro vypouštění kapalného radioaktivního odpadu



Zdroj: (ONM NČB, 2019)

Příloha F – Normalizované E_{DLP} pro různé oblasti těla

Tabulka 23 Normalizované E_{DLP} pro různé oblasti těla

Oblast	Normalizovaná efektivní dávka E_{DLP} [mSv.mGy]
Hlava	0,0023
Krk	0,0054
Hrudník	0,0170
Břicho	0,0150
Pánev	0,0190

Zdroj: (Shrimpton et al., 2000)

Příloha G – Normalizované EDLP pro různé oblasti těla

Tabulka 24 Normalizované EDLP pro různé oblasti těla

Oblast	Normalizovaná efektivní dávka EDLP [mSv.mGy⁻¹.cm⁻²]
Hlava	0,0021
Krk	0,0059
Hrudník	0,014
Břicho	0,015
Pánev	0,015

Zdroj: (Siemens AG , ©2013)