



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

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

**Zpracování dozimetrických dat radiačních
pracovníků a vývoj přístrojů používaných
těmito pracovníky**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program:

OCHRANA OBYVATELSTVA

Autor: Jakub Žilinčík

Vedoucí práce: Ing. Jan Vinklář

České Budějovice 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem *Zpracování dozimetrických dat radiačních pracovníků a vývoj přístrojů používaných těmito pracovníky* jsem vypracoval 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 bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 1.6.2020

.....

Poděkování

Velký dík patří především vedoucímu práce panu Ing. Janu Vinklářovi a jeho rodině. Děkuji za jeho odborné vedení, trpělivost, cenné rady a připomínky, které mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval.

Zpracování dozimetrických dat radiačních pracovníků a vývoj přístrojů používaných těmito pracovníky

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na analýzu a zhodnocení dozimetrických dat radiačních pracovníků, jejichž osobní dávky jsou zaznamenávány v Registru profesionálních ozáření Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a dále na analýzu a zhodnocení počtu zdrojů ionizujícího záření používaných v průmyslu a zdravotnictví. Tato data jsou čerpána z Registru zdrojů Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a data o zdrojích používaných ve zdravotnictví dále z Ústavu zdravotnických informací a statistiky ČR. Na základě analyzovaných dat jsem zpracoval přehled jednotlivých profesních skupin, jejich dozimetrických dat a vývoj v čase. Stejný postup jsem aplikoval i s daty o zdrojích ionizujícího záření získaných z Registru zdrojů Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a Ústavu zdravotnických informací a statistiky ČR. K zodpovězení výzkumné otázky byla provedena analýza získaných výstupů, které byly zpracovány do grafů a následně porovnány mezi sebou v čase. Na základě vyhodnocení získaných dat lze konstatovat, že mezi pracovní skupiny s nejvyššími osobními dávkami lze řadit intervenční radiology a kardiology, pracovníky provádějící defektoskopii, karotáž a pracovníky v uranovém průmyslu. Vývoj dávek těchto radiačních pracovníků je podrobně popsán v kapitole 4.1. Dále lze konstatovat, že v oboru zdravotnictví je pozorovatelný zvyšující se počet všech zdrojů, mimo mamografických přístrojů, jejichž počet má mírně klesající trend. Data týkající se zdrojů v průmyslu a dalších podrobnějších analýz jsou uvedeny v kapitole 4.2.

Klíčová slova:

Radiační pracovník; zdroj ionizujícího záření; registry; efektivní dávka; dozimetrická data; radiační ochrana; profese

Processing of dosimetric data of radiation workers and development of devices used by these workers

Abstract

The bachelor thesis is focused on the analysis and evaluation of dosimetric data of radiation workers, whose personal doses are recorded in the Register of Professional Irradiation of the State Office for Nuclear Safety and ionizing radiation sources used in industry and healthcare. These data are drawn from the Register of Resources of the State Office for Nuclear Safety and data on resources used in healthcare from the Institute of Health Information and Statistics of the Czech Republic. Based on the analyzed data, I compiled an overview of individual occupational groups, their dosimetric data and development over time. I applied the same procedure with data on sources of ionizing radiation obtained from the Register of Sources of the State Office for Nuclear Safety and the Institute of Health Information and Statistics of the Czech Republic. To answer the research question, an analysis of the obtained outputs was performed, which were processed into graphs and then compared with each other over time. Based on the evaluation of the obtained data, it can be stated that the working group with the highest personal doses can include interventional radiologists and cardiologists, workers performing defectoscopy, logging and workers in the uranium industry. The development of doses of these radiation workers is described in detail in chapter 4.1. Furthermore, it can be stated that in the field of healthcare, an increasing number of all sources is observable, except for mammographic devices, the number of which has a slightly decreasing trend. Data on industry resources and other more detailed analyzes are provided in Chapter 4.2.

Keywords:

Radiation worker; source of ionizing radiation; registers; effective dose; dosimetric data; radiation protection; profession

OBSAH

<i>ÚVOD</i>	9
1 TEORETICKÁ ČÁST	10
1.1 Státní úřad pro jadernou bezpečnost	10
1.1.1 Registry SÚJB	10
1.1.1.1 Registr externích adres (REA)	11
1.1.1.2 Centrální registr profesionálních ozáření (CRPO)	11
1.1.1.3 Registr zdrojů (RZ)	12
1.1.1.4 Registr rozhodnutí (RZH).....	12
1.1.1.5 Registr kontrol (REK)	13
1.2 Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR (ÚZIS)	13
1.3 Charakteristika záření	13
1.4 Druhy ionizujícího záření	14
1.4.1 Záření Alfa.....	14
1.4.2 Záření Beta	14
1.4.3 Záření Gama	15
1.4.4 Rentgenové záření.....	16
1.4.5 Neutronové záření	16
1.5 Vybrané veličiny ionizujícího záření	17
1.5.1 Aktivita A	17
1.5.2 Absorbovaná dávka D	17
1.5.3 Dávkový příkon	17
1.5.4 Ekvivalentní dávka H_T	18
1.5.5 Efektivní dávka E.....	18
1.5.6 Kolektivní efektivní dávka	18
1.6 Biologické účinky ionizujícího záření	18
1.6.1 Deterministické účinky	19
1.6.2 Stochastické účinky.....	19
1.7 Zdroje ionizujícího záření	19
1.8 Radiační ochrana	20

1.8.1	Ochrana před zářením	20
1.8.2	Principy radiační ochrany.....	21
1.8.2.1	Princip zdůvodnění.....	21
1.8.2.2	Princip optimalizace	21
1.8.2.3	Dávkové limity.....	22
1.8.2.4	Zajištění bezpečnosti zdrojů	22
1.8.3	Monitorování	23
1.8.3.1	Osobní monitorování.....	24
1.8.3.2	Monitorování pracoviště.....	24
1.9	Dozimetrie	25
1.9.1	Filmové dozimetry	25
1.9.2	Luminiscenční dozimetry (TLD, PLD).....	26
1.9.3	OSL dozimetr.....	26
1.9.4	Neutronový dozimetr	27
1.10	Zdravotnické obory využívající ionizující záření	27
1.10.1	Radiologie.....	27
1.10.1.1	Skiografie	28
1.10.1.2	Skiaskopie	28
1.10.1.3	Výpočetní tomografie (CT).....	28
1.10.2	Nukleární medicína	28
1.10.2.1	In vivo vyšetření.....	29
1.10.2.2	In vitro vyšetření	29
1.11	Průmyslové obory využívající ionizujícího záření	29
1.11.1	Defektoskopie	30
1.11.2	Obory využívající průmyslové ozařovače	30
1.11.3	Obory využívající průmyslová měřidla.....	30
1.11.4	Karotáž	31
2	<i>CÍL PRÁCE, VÝZKUMNÁ OTÁZKA.....</i>	32
2.1	Výzkumná otázka.....	32
3	<i>METODIKA</i>	33
4	<i>VÝSLEDKY</i>	34

4.1	Výstupy z dat profesního ozáření.....	34
4.2	Výstupy z Registru zdrojů a ÚZIS ČR.....	49
5	<i>DISKUZE</i>	56
6	<i>ZÁVĚR</i>	60
7	<i>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</i>.....	62
8	<i>SEZNAM OBRÁZKŮ</i>	66
9	<i>SEZNAM TABULEK</i>	68
10	<i>SEZNAM ZKRATEK</i>.....	69

ÚVOD

V dnešní době patří mezi oblasti, kde individuální roční dávky se mohou blížit povoleným limitům především intervenční radiologie a průmyslová defektoskopie. Přístroje používané radiačními pracovníky prochází vývojem a jejich počet se v jednotlivých oblastech s časem mění.

Cílem této bakalářské práce bylo na základě dozimetrických dat analyzovat skupiny radiačních pracovníků s nejvyššími dávkami a udělat časové trendy. U přístrojů vytvořit přehled jejich počtu v jednotlivých oblastech a jejich vývoj v čase.

V teoretické části se zabývám systémem registrů Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, Ústavem zdravotnických informací a statistiky ČR, z jejichž evidencí čerpám data. Dále popisují základní informace o ionizujícím záření, jeho účincích, charakteristice a veličinám, které jej charakterizují. Teoretická část se dále zabývá zdroji ionizujícího záření, radiační ochranou a dozimetrií. V neposlední řadě se teoretická práce zabývá obory využívajícími ionizující záření ve zdravotnictví a průmyslu.

Data použitá v praktické části byla poskytnuta Státním úřadem pro jadernou bezpečnost a dále vycházela z dat Ústavu zdravotnických informací a statistiky ČR.

V praktické části představím pomocí grafů výsledky vytvořené z výše uvedených dat, které jsou rozděleny na dozimetrická data a data o počtu zdrojů ionizujícího záření.

Zpracováním této bakalářské práce bych chtěl zjistit, zda dochází ke snižování dávek radiačních pracovníků a tím i zlepšování radiační ochrany a jaký je vývoj zdrojů ionizujícího záření v čase.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Státní úřad pro jadernou bezpečnost

Dle zákona č. 2/1969 Sb., ve znění pozdějších předpisů, je Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále jen SÚJB) ústředním správním orgánem, a vede jej předsedkyně, která byla jmenována vládou. Rozpočet úřadu je podřízen vládě České republiky. SÚJB vykonává státní správu v oblasti jaderné energie a ionizujícího záření danou zákonem č. 263/2016 Sb., atomový zákon (dále jen „Atomový zákon“), a zákonem č. 281/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Do působnosti úřadu patří výkon státní správy, kontrola a zajišťování jaderné bezpečnosti, monitorování radiační situace, radiační ochrana a vyřadování se s mimořádnými událostmi radiačního charakteru.

Úřad je také zřizovatelem dvou veřejných výzkumných institucí – Státního ústavu radiační ochrany, v.v.i. a Státního ústavu jaderné, chemické a biologické ochrany, v.v.i. (SÚJB, 2020a)

1.1.1 Registry SÚJB

Jedním ze systému státních evidencí jsou Registry SÚJB, které obsahují řadu databází s údaji charakterizujícími ozáření osob, zdroje ionizujícího záření i subjekty s nimi nakládající a také databáze zahrnující příslušné právní akty, jako jsou vydaná povolení, doklady o zvláštní odborné způsobilosti či registrace.

Zpřístupnění těchto evidencí od roku 2005 na internetových stránkách SÚJB má vést k co nejjednodušší a efektivní aktualizaci těchto registrů a k usnadnění plnění povinností stanovených právními předpisy držitelům povolení a registrantům. Zveřejnění registrů SÚJB má dvě části. Jedna je plně veřejná a volně přístupná na stránkách SÚJB (zobrazuje informace o vydaných rozhodnutích SÚJB, dokladech o zvláštní odborné způsobilosti, registracích či ohlašovatelích). Druhá část obsahuje údaje přístupné pouze danému držiteli povolení po přihlášení, kde si může buď prohlédnout informace vedené k němu v registrech, nebo zaslat úřadu např. hlášení či protokoly pomocí webového rozhraní. (SÚJB, 2020b)

Jednotlivé Registry SÚJB jsou popsány v kapitolách níže.

1.1.1.1 Registr externích adres (REA)

Tento registr tvoří jádro systému státních evidencí a je společným adresářem pro všechny další Registry. Zahrnuje údaje nejen o držitelích povolení, registrantech a ohlašovatelích podle Atomového zákona, ale veškeré údaje o externích subjektech, na které jsou vázány údaje v ostatních registrech, včetně údajů o fyzických osobách se zvláštní odbornou způsobilostí. Základem systému je plně historický registr, který eviduje všechny změny, které byly na datech subjektu provedeny, a eviduje časovou platnost jednotlivých dat. Struktura dat REA je třístupňová: je zapsán držitel povolení, jeho pracoviště a tam kde je potřeba i pracovní místo. Ke každému držiteli povolení je možno zobrazit evidované zdroje, radiační pracovníky s osobním monitorováním a vydaná povolení, případně zobrazit osobní radiační průkazy externích radiačních pracovníků. REA umožňuje také evidenci kontrolovaných a sledovaných pásem na jednotlivých pracovištích a informaci o kategorii pracoviště. (SÚJB, 2020b)

1.1.1.2 Centrální registr profesionálních ozáření (CRPO)

Centrální registr profesionálních ozáření je zřízen na SÚJB od 1. 9. 1997. Tento registr slouží k evidenci osobních dávek radiačních pracovníků kategorie A v souladu s Atomovým zákonem. Držitel povolení je povinen oznamovat SÚJB do systému státní evidence ozáření radiačních pracovníků, jednak jejich osobní údaje sloužící k jejich jednoznačné evidenci, a jednak všechny výsledky osobního monitorování těchto pracovníků. Osobní údaje o pracovnících musí být oznámeny do jednoho měsíce po jeho nástupu do zaměstnání u daného držitele povolení a totéž platí pro každou změnu těchto údajů. Výsledky osobního monitorování jsou oznamovány v průběhu roku do dvou měsíců po skončení monitorovacího období a vyhodnocení ročních dávek do 31. března za rok předcházející. (SÚJB, 2020b). Držitel povolení musí oznamovat SÚJB efektivní dávky ze zevního ozáření převyšující hodnotu 10 mSv nebo ekvivalentní dávky na oční čočku ze zevního ozáření převyšující 10 mSv nebo ekvivalentní dávku 150 mSv na končetiny nebo kůži, dosaženou za monitorovací období nebo jednorázově. Dále musí oznámit efektivní dávky ze zevního ozáření převyšující hodnotu 15 mSv nebo ekvivalentní dávky na oční čočku ze zevního ozáření převyšující 15 mSv nebo ekvivalentní dávku 300 mSv na končetiny nebo kůži, které byly dosaženy sečtením v jednotlivých monitorovacích obdobích, a to též v průběhu roku. Tato oznámení musejí

zasílat s vyhodnocením příčin takové situace a přijatými závěry. Držitelé povolení dále oznamují efektivní dávky z vnitřního ozáření převyšující 6 mSv, jednorázově a součtově. Tato oznámení musejí být provedeny též v případě, že dozimetr, na kterém bylo překročení zjištěno, byl umístěn na ochranné zástěře. Zeslabení způsobené zástěrou musí být zohledněno v rámci vyhodnocení příčin této situace. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.) Údaje vedené v CRPO slouží zejména k zabezpečení funkcí SÚJB v oblasti usměrňování profesních ozáření, ke sledování trendů vývoje osobních dávek v dlouhodobějších časových úsecích, k hodnocení velikosti ozáření v různých profesních skupinách, k poskytování požadovaných údajů ze strany různých mezinárodních organizací apod. (SÚJB, 2020b)

1.1.1.3 Registr zdrojů (RZ)

Tento registr byl zprovozněn na SÚJB v roce 2000. Aplikace umožňuje vyhledávání a zobrazování aktuálních a historických dat o evidovaných zdrojích u držitelů povolení, registrantů a ohlašovatelů. Obsahuje nástroje pro správu agend samostatných uzavřených radionuklidových zdrojů (URZ), zařízení s URZ, otevřených radionuklidových zdrojů (ORZ), hromadně vkládaných drobných zdrojů a generátorů záření. Držitel povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření a registrant musí v souladu s §39 Vyhlášky č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „Vyhláška“), zasílat písemně SÚJB údaje o všech zdrojích ionizujícího záření, které má ve své držbě, kromě nevýznamného zdroje ionizujícího záření a drobného zdroje ionizujícího záření, jehož typ byl schválen úřadem. (SÚJB, 2020b)

1.1.1.4 Registr rozhodnutí (RZH)

Obsahuje všechna správní rozhodnutí vydaná SÚJB od roku 2001 a částečně i ta z dřívější doby, která byla do registru vložena. Vydaná rozhodnutí jsou evidována v plném znění ve formě WORD dokumentů, oprávněnému uživateli jsou přístupná ve formě PDF dokumentu. S nástupem platnosti Atomového zákona byla pozměněna agenda zvláštních odborných způsobilostí, kdy se již nevydává rozhodnutí o zvláštní odborné způsobilosti, ale doklad o zvláštní odborné způsobilosti, který je přístupný také ve formě PDF

dokumentu. Dále je možnost dohledání registrací vydaných podle §10 Atomového zákona. (SÚJB, 2020b)

1.1.1.5 Registr kontrol (REK)

Tento registr obsahuje přehledy dokumentů vztahujících se ke kontrolní činnosti SÚJB. Jsou v něm vedeny kromě protokolů o kontrole i související dokumenty a veškeré informace o provedené kontrole, jako je datum kontroly, místo provedení kontroly, zaměření kontroly, složení kontrolního týmu a hodnocení kontroly. Údaje vedené v REK slouží zejména k plánování kontrolní činnosti, dále ke statistické činnosti a ke sledování trendů vývoje inspekční činnosti v dlouhodobějších časových úsecích. (SÚJB, 2020b)

1.2 Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR (ÚZIS)

Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR (dále jen ÚZIS ČR) podléhá ministerstvu zdravotnictví, a podle zákona č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování, ÚZIS ČR spravuje Národní zdravotnický informační systém (dále jen NZIS). ÚZIS ČR dále spolupracuje s orgány státní statistické služby, především s Českým statistickým úřadem, zajišťuje vazby mezi NZIS a jednotlivými poskytovateli zdravotních služeb a spolupracuje s asociacemi nemocnic, odbornými lékařskými společnostmi, sdruženími lékařů, zdravotními pojišťovnami na zpřesňování obsahu NZIS a využití sbíraných dat. (ÚZIS, 2013)

1.3 Charakteristika záření

To, co nazýváme ionizujícím zářením, je vlastně proud hmotných částic, nebo fotonů elektromagnetického záření. Tyto jevy jsou schopny ionizovat atomy prostředí, nebo excitovat jejich jádra. S ionizujícím zářením se setkáváme u jaderných procesů a v případě rentgenového záření u procesů odehrávajících se v elektronovém obalu atomů. Tyto procesy způsobují to, že se jádro (obal) atomu dostává do excitovaného stavu a tím se stává energeticky nestabilní. Aby se jádro (obal) dostalo zpět do stabilního stavu musí vyzářit energii ve formě částic nebo fotonů elektromagnetického záření. (Havránková et al., 2018)

Ionizující záření můžeme rozdělit podle jeho charakteru na:

- **Přímo ionizující záření** – toto záření tvoří částice, jako jsou elektrony, pozitrony, protony, částice alfa a beta neboli částice mající dostatečnou kinetickou energii potřebnou k vyvolání ionizace. (Havránková et al., 2018)
- **Nepřímo ionizující záření** – je druh záření zahrnující částice, které postrádají kinetickou energii potřebnou k vyvolání ionizace (fotony, neutrony), ale jsou schopny interakcí s prostředím a tím uvolňují sekundární, přímo ionizující, částice. (Fyzika v moderním lékařství, 2017)
- **Fotonové ionizující záření** – je druhem záření, lišících se od ostatních tím, že má duální charakter. Duálním charakterem myslíme to, že má vlastnosti částic o nulové hmotnosti, tak i vlastnosti elektromagnetického vlnění. Fotonové ionizující záření má dvě formy, záření gama a rentgenové záření, které jsou z fyzikálního pohledu stejným typem záření, ale rozdílná je vlnová délka a to, že rentgenové záření vzniká interakcí elektronu z obalu s těžkými atomy v materiálu anody (rentgenové přístroje, betatron, lineární urychlovač) a gama záření vzniká v atomovém jádře (přirozená a umělá radioaktivita). (Freitinger – Skalická, Halaška et al., 2010)

1.4 Druhy ionizujícího záření

1.4.1 Záření Alfa

Alfa záření je proud rychle letících heliových jader, tím pádem je tvořeno pouze dvěma protony a dvěma neutrony. Znakem alfa záření je, že částice mají největší elektrický náboj a též největší hmotnost. Alfa záření je, co se týče nebezpečí doletu a pronikavosti, tím nejméně nebezpečným druhem záření, protože částice alfa rychle ztrácejí ionizační energii. (Havránková et al., 2018) Dolet v plynech je v řádech několika centimetrů, v pevných látkách a kapalinách jsou to zlomky milimetrů. (Kuna a Navrátil, 2005)

1.4.2 Záření Beta

Záření beta se skládá z rychlých elektronů nebo pozitronů, které mají velký rozsah energií. Elektrony, které se nacházejí v jádře, jsou z jádra emitovány, když se mění neutron na proton a elektron na antineutrino. Ve srovnání s částicemi alfa, jsou částice beta poměrně malé a lehké, proto když procházejí hmotným prostředím, tak

zaznamenávají malou ztrátu energie a dráha jejich letu může tedy být značně klikatá. Částice beta mají také vyšší pronikavost než částice alfa, proto mohou pronikat materiály s menší tloušťkou nebo nízkou hustotou. (Havránková et al., 2018) Beta záření při průletu hmotným prostředím vytváří takzvané brzdné záření. To vzniká, když beta částice narazí do atomových jader, kterým předají určitou část své energie a odrazí se od jádra v ostrém úhlu. Přijatá energie je pak vyzářena formou fotonu. (Matoušek et al., 2007)

1.4.3 Záření Gama

Záření gama můžeme popsat jako elektromagnetické záření (fotony) s vlnovou délkou, která se nachází řádově mezi 10^{-11} až 10^{-13} m. Gama záření vzniká při jaderných reakcích, nebo když se jádro zbavuje své excitační energie, při přechodu z vyššího energetického stavu do nižšího energetického stavu. Je to záření s největší pronikavostí, ale o to je méně ionizující, můžeme se s ním setkat v přírodě, průmyslu, nebo ve zdravotnictví. (Freitinger – Skalická, Halaška et al., 2010)

Gama záření interaguje s prostředím jako:

- **Fotoelektrický jev** – tento jev lze považovat za úplnou absorpci gama záření, protože foton, který předá všechnu svoji energii elektronu v atomovém obalu, je vymrštěn pryč a na jeho místo se dostane elektron z vyššího orbitu. Přebytná energie se vyzáří formou fotonu, který zmizí v okolním materiálu, kvůli nedostačující energii. (Kuna a Navrátil, 2005)
- **Comptonův rozptyl** – při této interakci, fotony předáním energie uvádí do pohybu volné elektrony, nebo jen slabě vázané elektrony. Foton, který předal elektronu energii, poté pokračuje v jiném směru s delší vlnovou délkou. (Havránková et al., 2018)
- **Tvorba elektron pozitronových párů** – za určitých podmínek může dojít k úplnému vstřebání fotonu gama záření v elektrickém poli jádra, čímž se vytvoří dvojice elektron-pozitron, ale aby tento jev nastal, je potřeba, aby foton měl energii větší než 1,02 MeV. (Freitinger – Skalická, Halaška et al., 2010)

1.4.4 Rentgenové záření

Rentgenové záření a gama záření jsou podobné (mají stejný charakter), ale liší se místem vzniku. Rentgenové záření nám vznikne, když rychle letící elektrony zabrzdí v těžkých kovech. Záření vzniká v rentgenkách, které produkují záření s dvěma odlišnými typy rozložení energie ve spektru – brzdné a charakteristické. (Havránková et al., 2018)

- **Brzdné záření** – vzniká, když rychle letící elektrony narazí na anodu a tím se jejich pohybová energie změní na energii fotonů elektromagnetického záření. Tento druh rentgenového záření se vyznačuje spojitým energetickým spektrem. (Encyklopedie fyziky, ©2020)
- **Charakteristické záření** – aby vzniklo charakteristické záření, je potřeba pohybu elektronu v atomovém obalu. Elektron, který dopadne na anodu, může vyrazit elektron nižší energetické hladiny. (Skupina ČEZ, ©2020) Volné místo zaplní elektron, který přejde z vyšší energetické hladiny a přebytek energie bude vyzářen ve formě charakteristického záření, mající čárové spektrum. energii u tohoto typu rentgenového záření určuje druh a materiál anody. (Freitinger – Skalická, Halaška et al., 2010)

Rentgenové záření interaguje s hmotným prostředím stejně jako záření gama. (Havránková et al., 2018)

1.4.5 Neutronové záření

Neutrony jsou prvotní částice, které postrádají elektrický náboj a jsou uvolňovány během jaderných procesů nebo při spontánním štěpení atomů. Rozdíl mezi gama zářením a neutronovým zářením je v tom, jak interaguje s látkou. (Freitinger – Skalická, Halaška et al., 2010) Nejdůležitější vlastností neutronového záření je energie, určující chování v hmotném prostředí. Díky tomu, že neutrony nemají elektrický náboj, nemusejí překonávat potenciálovou bariéru terčového jádra, takže do něj snadno proniknou a vytvoří tak složené jádro. Neutrony nepřímo ionizují lehké prvky, zejména vodík, ale reagují v podstatě se všemi stabilními prvky s výjimkou hélia. (Havránková et al., 2018)

Neutrony reagují s hmotným prostředím jako:

- ***Pružný rozptyl*** – neutron narazí do jiného jádra, tím mu předá část své energie a s nižší energií pokračuje dále v pohybu. Jádro, kterému byla předána energie, pokračuje jiným směrem s větším množstvím energie. (Kuna a Navrátil, 2005)
- ***Nepružný rozptyl*** – neutron předá nárazem energii jinému jádru a s nižší kinetickou energií pokračuje dále v pohybu. Předaná energie zvýší vnitřní energii jádra, nastane jeho excitace a následné vyzáření fotonu gama.
- ***Radiační záchyt*** – Ve složeném jádře zůstane neutron, jádro se zbaví energie emisí fotonu, kterou do jádra přinesl neutron.
- ***Štěpení jader*** – ze složeného jádra vzniknou dvě. (Havránková et al., 2018)

1.5 Vybrané veličiny ionizujícího záření

1.5.1 Aktivita *A*

Aktivita zářiče udává počet jader dosud nepřeměněných za určitou časovou jednotku. (Matoušek et al., 2007) Aktivita *A* ukazuje rychlost přeměny sledovaného radionuklidu na výsledný nuklid. Je to veličina klesající s časem podle exponenciálního vztahu. Jednotkou je becquerel (Bq), což je počet přeměn za jednotku času (s^{-1}). (Havránková et al., 2018)

1.5.2 Absorbovaná dávka *D*

Všeobecně se za nejdůležitější veličinu považuje dávka, jejíž jednotkou je Gray (Gy). Absorbovanou dávku definujeme jako poměr střední energie dE absorbované v objemovém elementu látky o hmotnosti dm a hmotnosti tohoto elementu. (Atominfo, 2012)

1.5.3 Dávkový příkon

Dávkový příkon je definován jako přírůstek dávky za jednotku času. Jednotkou je Gray za sekundu (Gy/s), ale v praxi se spíše používají nižší jednotky $\mu\text{Gy/h}$. (Freitinger – Skalická, Halaška et al., 2010)

1.5.4 Ekvivalentní dávka H_T

Ekvivalentní dávka H_T je definována jako součin radiačního váhového faktoru w_R , který nám zohledňuje rozdílnou biologickou účinnost záření, a střední absorbované dávky $D_{T,R}$ v orgánu nebo ve tkáni T pro ionizující záření R. Jednotkou ekvivalentní dávky je Sievert (Sv), $J \cdot kg^{-1}$. (Kuna a Navrátil, 2005)

1.5.5 Efektivní dávka E

Chceme-li vypočítat riziko, použijeme efektivní dávku E, která zohledňuje citlivost jednotlivých orgánů na záření a je definována součtem ekvivalentních dávek v jednotlivých tkáních či orgánech vážených tkáňovým váhovým faktorem w_T , vyjadřující rozdílnou senzitivitu tkání a orgánů z hlediska pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků (co jsou to stochastické účinky je uvedeno níže v kapitole 1.6.1). Jednotka efektivní dávky je Sievert (Sv). (Havránková et al., 2018)

1.5.6 Kolektivní efektivní dávka

Kolektivní efektivní dávkou se rozumí součet všech efektivních dávek radiačních pracovníků v určité skupině. Jednotka kolektivní efektivní dávky je Sievert (Sv). (Singer a Heřmanská, 2004)

1.6 Biologické účinky ionizujícího záření

Tato kapitola pojednává o negativním působení ionizujícího záření na člověka a jeho zdraví. Ionizující záření poškozuje buňky člověka dvojitým způsobem:

- **Smrt buňky** – smrt buňky nastává tehdy, když je ozářena vyšší dávkou v klidovém období buňky, nebo může nastat takzvaná mitotická smrt, ke které dochází i při obdržení nižších dávek, v jejímž důsledku buňka ztratí schopnost dělit se. Smrtící účinky se nejnáze projevují ve tkáních, kde probíhá rychlé dělení buněk (krvetvorné orgány, gamety apod.). (Pejchal et al., 2013)
- **Změna genetické informace buňky** – Vyvolané změny se nazývají mutace a dochází k nim i při velmi nízkých dávkách, kdy ionizující záření působí na genetickou informaci uvnitř jádra buňky. Rozlišujeme mutace genetické,

poškozující zárodečné buňky, projevující se u další generace a mutace somatické, poškozující ostatní buňky, projevující se u ozářeného jedince. (Havránková et al., 2018)

1.6.1 Deterministické účinky

Deterministické účinky nastávají při velké ztrátě buněk v důsledku ozáření, přičemž závažnost roste s obdrženou dávkou. Deterministické účinky nastávají až od určité prahové dávky. Mezi deterministické účinky se řadí akutní nemoc z ozáření, radiační poškození kůže, radiační poškození čočky a radiační poškození fertility. (Kupka et al., 2007)

1.6.2 Stochastické účinky

Stochastickými účinky rozumíme účinky vyvolané mutacemi, jejichž účinek má pravděpodobnostní charakter (Unscar, 2000), to znamená že, s velikostí dávky závažnost účinků neroste, ale zvyšuje se pravděpodobnost projevu stochastických účinků u ozářeného člověka. Nazývají se také jako bezprahové účinky, tím je myšleno, že jde o účinky, které mohou nastat i při velmi malých dávkách a jejich výskyt závisí na velikosti dávky lineárně. Do stochastických účinků patří zhoubné nádory, genetická poškození a poškození vývoje plodu. (Havránková et al., 2018)

1.7 Zdroje ionizujícího záření

Zdroje ionizujícího záření dělíme primárně na zdroje přírodní a zdroje umělé. Mezitím, co se značná pozornost přisuzuje umělým zdrojům ozáření, tak největší ozáření způsobené obyvatelstvu je z přírodních zdrojů. (SÚRO, ©2020) Přírodní zdroje záření rozdělujeme na kosmické záření a na přírodní radionuklidy. Z hlediska ozáření obyvatel je nejdominantnějším zástupcem přírodních zdrojů radon a jeho rozpadové produkty. Radon je přírodní radioaktivní plyn a spolu s jeho dceřinými produkty je zdrojem alfa záření, které je velice toxické z hlediska vnitřního ozáření. Radon, jako takový, není až tak nebezpečný. Více nebezpečné jsou jeho rozpadové produkty, které se zachytávají na částicích prachu. Tyto prachové částice jsou následně vdechnuty a v závislosti na

velikosti částice jsou deponovány v různých místech dýchacího systému, kde dochází k vnitřnímu ozáření alfa zářením. (Hála, 1998)

1.8 Radiační ochrana

Radiační ochrana je systém organizačních a technických opatření, která mají zamezit a ochránit fyzické osoby před ozářením a také vedou k ochraně životního prostředí. Radiační ochrana si stanovuje dva hlavní cíle. (Klener et al., 2000) Prvním cílem je eliminace výskytu deterministických účinků, druhý cíl radiační ochrany je omezení vzniku stochastických účinků na úroveň, kterou pokládáme za rozumnou. (Singer a Heřmanská, 2004) K dosažení těchto cílů radiační ochrana využívá čtyři základní principy – zdůvodnění, optimalizace RO, dávkové limity a zajištění bezpečnosti zdrojů (o těchto principech bude pojednáno v kapitole 1.8.2). (Klener et al., 2000)

Radiační ochrana je při řešení praktických problémů konfrontována otázkami typu „jaké bude nebo může být ozáření lidí?“, „co může ozáření způsobit, tedy jaké a kolik škod na zdraví může vyvolat?“, a výsledně „jak hodnotit a usměrnit dané ozáření?“. Aby bylo možno odpovědět na tyto otázky, je potřebné, aby se radiační ochrana opírala o soubor principů, přístupů, základních pojmů a kritérií, které nám formulují koncepci, která musí být v souladu:

- se soudobými poznatky o biologických účincích ionizujícího záření,
- se soudobými obecnými přístupy společnosti k ochraně zdraví obyvatelstva před faktory technického rozvoje a životního prostředí,
- s rozmanitými potřebami současné i očekávané praxe, tj. musí brát v úvahu všechny situace v ozáření lidí, jež se vyskytují nebo mohou vyskytnout, a mít pro ně zásadní řešení. (Klener et al., 2000)

Radiační ochranu v České republice legislativně upravují zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon a vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

1.8.1 Ochrana před zářením

Radiační ochrana má základní pilíře ochrany před ionizujícím zářením. Jedná se o ochranu časem, ochranu vzdáleností a ochranu stíněním. (Klener et al., 2000)

- **Ochrana časem** – u ochrany časem platí přímá úměra času a trvání expozice. Tím je myšleno, že čím kratší dobu jsme vystaveni působení záření, tím menší dávku obdržíme. (Ullmann, 2002)
- **Ochrana vzdáleností** – je velice účinný způsob, jak se chránit před působením záření. Znamená to, že čím dále od zdroje záření jsme, tím menší dávku obdržíme. Intenzita a dávka klesá se vzdáleností od zdroje nepřímo úměrně druhé mocnině. (Ullmann, 2002)
- **Ochrana stíněním** – Abychom mohli efektivně snížit obdrženou dávku, je potřeba vhodného stínícího (absorpčního) materiálu. Je důležité si uvědomit, že na každý druh záření, je třeba jiného druhu stínění. Na neutronové záření je potřeba více vrstev materiálu, aby došlo ke zpomalení neutronů a následnému pohlcení. Záření gama se odstíní materiály s velkou hustotou jako je beton a olovo. Pro odstínění záření beta se využívají lehké materiály, např. plexisklo, přičemž na odstínění záření alfa stačí list papíru. (Ullmann, 2002)

1.8.2 Principy radiační ochrany

1.8.2.1 Princip zdůvodnění

Aby činnost, která nám způsobí ozáření, mohla být povolena, musí přinést určitý prospěch jednotlivci nebo společnosti. Činnost, při které je způsobeno ozáření, musí převýšit radiační újmu, kterou způsobí, nebo by mohla způsobit. (ICRP 103, 2007) Posuzování zdůvodnění je velmi obtížné, protože ne vždy všechny ztráty a přínosy lze vyčíslit (ztráty, které nám vyvolá strach nebo estetická část). (Seidl, 2012) Princip zdůvodnění se na denní bázi vyskytuje nejčastěji ve zdravotnictví, při vyšetření nebo léčbě pacientů s pomocí ionizujícího záření. (Klener et al., 2000).

1.8.2.2 Princip optimalizace

S principem optimalizace se můžeme také setkat pod názvem ALARA (as low as reasonable achievable), jejímž cílem je zajistit, aby počet ozářených osob, pravděpodobnost ozáření a velikost individuálních dávek, byly tak nízké, jak lze dosáhnout při dodržování hospodářských a sociálních hledisek. (Singer a Heřmanská, 2004) Např. při snímkování pacientů to znamená snížit zátěž z expozice a výslednou

efektivní dávku na co nejmenší úroveň, ale zároveň zajistit, aby výsledný obraz poskytoval stále kvalitní informaci. (Klener et al., 2000)

1.8.2.3 Dávkové limity

Fyzická nebo právnická osoba, provádějící činnost vedoucí k ozáření, je povinna omezovat „*ozáření osob tak, aby celkové ozáření nepřesáhlo v součtu stanovené limity ozáření.*“.(Hušák, 2009)

Vymezení dávkových limitů se v čase vyvíjelo společně s radiační ochranou. Na začátku vzniku dávkových limitů bylo pokládáno za ucházející ochranu nepřekročení dávkového prahu pro deterministické účinky (Kuna a Navrátil, 2005), když se prokázalo působení a s tím rizika stochastických účinků, tak se limity staly jen zvolenou úrovní, mezi na nepřerušené souvislé křivce poměru dávky a účinku, a nastala potřeba zdůvodnit volbu limitu. (Klener et al., 2000)

Dávkové limity pokládáme za rozhraní mezi úrovní dávek zcela nepřijatelných a úrovní, kde je nezbytné určit reálnou přijatelnost ozáření optimalizací ochrany před zářením. (Kuna a Navrátil, 2005)

Zákon 263/2016 Sb., Atomový zákon rozděluje limity podle osob, ke kterým se vztahuje, a to na obecné limity pro obyvatele, limity pro radiační pracovníky a limity pro žáky a studenty.

1.8.2.4 Zajištění bezpečnosti zdrojů

Opatření k omezení možného ozáření je nezbytnou složkou systému ochrany aplikovaného na činnosti, ovšem s tím, že pokud k těmto ozářením dojde, může to vést k potřebě zásahu. (Klener et al., 2000) Tato opatření zahrnují především to, aby všechny zdroje ionizujícího záření byly pravidelně kontrolovány, hlavně kvůli potvrzení stability a spolehlivosti jejich zdroje. Tyto kontroly jsou zajišťovány zkouškami dlouhodobé stability, provozní stálosti a přejímací zkouškou. (Súkupová, 2018)

1.8.3 Monitorování

Monitorování je plánované měření veličin týkajících se ozáření, radiačního pole, ale i interpretace a posuzování získaných výsledků těchto měření pro účely usměrňování ozáření.

Program pro monitorování může obsahovat čtyři části, a tím je monitorování pracoviště, osobní monitorování, monitorování výpustí a monitorování okolí. Program monitorování musí také obsahovat monitorování běžného provozu a monitorování předvídatelných odchylek od běžného provozu, u kterých se určují veličiny, které jsou předmětem monitorování, způsob, rozsah a frekvence měření. Dále musí být zařazeny postupy a návody pro vyhodnocování výsledků měření, hodnoty referenčních úrovní a přehled příslušných opatření, pokud dojde k jejich překročení. Rovněž se upřesňují metody měření a parametry používaných měřících přístrojů a pomůcek. (Klener et al., 2000)

Navrhuje a zavádí se monitorování soustavné, nepřetržité (kontinuální), které je spojeno s danou praxí a musí potvrzovat, že podmínky pro bezpečnost práce zůstávají v souladu s požadavky povolené praxe. Dalším monitorováním je monitorování pravidelné (periodické), jenž také musí potvrzovat, že bezpečnost práce je v souladu s požadavky povolené praxe, ale je prováděno v určitých intervalech. Posledním měřením podle typu praxe je operativní měření, které je prováděno za účelem zhodnotit a zajistit přijatelnost této činnosti z hlediska systému limitů a podmínek povolení praxe. (Klener et al., 2000)

Rozlišujeme tři druhy referenčních úrovní, což jsou hodnoty nebo kritéria, podle kterých se při monitorování rozhodujeme o opatřeních a postupech.

- **Záznamové úrovně** jsou hodnoty, které zasluhují naši pozornost, protože jejich význam není zanedbatelný. V praxi jsou tyto úrovně stanoveny na 1/10 limitu, a pokud je tato hranice překročena, tak se údaj zaznamená a zaeviduje. Je třeba, aby hodnota záznamové úrovně byla větší než nejmenší detekovatelná, přístrojem měřitelná veličina.
- **Vyšetřovací úrovně** mohou být stanoveny jako 3/10 limitu nebo jako horní meze obvykle se vyskytujících hodnot. Když se tyto úrovně překročí, tak to vede ke zjišťování příčin a následků zjištěné výchyly pozorované veličiny.

- **Zásahové úrovně** jsou úrovně, kdy po jejich překročení, musí být provedeno předem stanovené opatření k nápravě vzniklého stavu a zabránění nežádoucího rozvoje vzniklého stavu. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

1.8.3.1 Osobní monitorování

Systém osobního monitorování se používá, pro zjištění ozáření radiačních pracovníků. Pro ulehčení posuzování a hodnocení ozáření těchto radiačních pracovníků se radiační pracovníci zařazují do kategorie A nebo B. (Klener et al., 2000)

Radiačním pracovníkem kategorie A je pracovník, který by mohl obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně, ekvivalentní dávku vyšší než 15 mSv na oční čočku, nebo ekvivalentní dávku vyšší než 3/10 limitů ozáření pro kůži a končetiny. (Vyhláška č. 422/2016)

Radiačním pracovníkem kategorie B, je podle vyhlášky 422/2016 Sb., radiační pracovník, který není radiačním pracovníkem kategorie A.

Při vyhodnocování v osobním monitorování jde hlavně o stanovení toho, jestli dávka byla osobní či neosobní. Neosobní dávkou se myslí například zapomenutí dozimetru v blízkosti zdroje ionizujícího záření, tato dávka se pak nepočítá do profesionálního ozáření radiačního pracovníka. (Vyhláška č. 422/2016)

V případě vyhodnocení dávky jako osobní, je potřeba provést korekci na stínící účinek ochranné zástěry, pokud byla použita. Radiační pracovník při práci v blízkosti zdroje ionizujícího záření, a který je vybaven stínící zástěrou, je dále vybaven dvěma dozimetry, přičemž jeden dozimetr je vně zástěry a druhý pod. (Doporučení SÚJB, 2007) Pokud osobní dozimetr na zástěře zachytí a vyhodnotí osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm vyšší než 10 mSv tak musí být vyhodnocen i druhý dozimetr. Z dat obou dozimetrů se stanoví koeficient zeslabení použité ochranné stínící zástěry. (Vyhláška č. 422/2016)

1.8.3.2 Monitorování pracoviště

Monitorování pracoviště je prováděno sledováním, měřením, hodnocením a zaznamenáváním veličin a parametrů charakterizujících pole ionizujícího záření a výskyt radionuklidů na pracovišti. (Vyhláška č. 422/2016) Monitorování pracoviště se provádí

s cílem získat podklady pro posouzení úrovně radiační ochrany, případně k provedení optimalizace, pokud není radiační ochrana na daném pracovišti dostatečná. (Klener et al., 2000)

1.9 Dozimetrie

Dozimetrie je vědní obor, který balancuje na pomezí fyziky, chemie, elektroniky, biologie a dalších. Dozimetrie je vcelku nová vědní disciplína, protože vznikla někdy ve 20. letech 20. století. Vývoj dozimetrie a zájem o ní se zvyšoval během 2. světové války, protože se zvyšoval počet osob, pracujících s ionizujícím zářením. V 60. letech 20. století se používaly ionizační komůrky, které pracovníci nosili v náprsní kapse. V 70. letech 20. století se o dozimetrii začala zajímat širší odborná veřejnost a tím vznikl nový vědní obor, osobní dozimetrie. (Singer, 2005) Brzy začaly ionizační komůrky nahrazovat dozimetry filmové, luminiscenční dozimetry (TLD, PLD), dozimetry na principu opticky stimulované luminiscence (OSL) a později elektronové i neutronové dozimetry. (Rozlívka, 2005)

Dozimetr je přístroj nebo systém, který zaznamenává působení ionizujícího záření na radiačního pracovníka, dále vyhodnocuje přímo nebo nepřímo veličiny charakterizující ionizující záření jako je například expozice, absorbovaná dávka nebo ekvivalentní dávka. (Švec, 2005) Na konci měření získáme hodnoty dozimetrické veličiny, které jsou vyjádřeny jako součin číselné hodnoty a příslušné jednotky. Je potřeba aby dozimetr měl alespoň jednu fyzikální vlastnost, která je funkcí měřené dozimetrické veličiny, jež mohou být s vlastní kalibrací použity pro radiační dozimetrii. Vlastnosti dozimetru jsou charakterizovány přesností, linearitou odečtu v závislosti na dávce nebo dávkovém příkonu, směrovým a prostorovým rozložením, energetickou závislostí odezvy. Ne každý dozimetr obsáhne všechny požadované vlastnosti, proto je důležité se zamyslet nad výběrem dozimetru. (Podgorsak, 2005)

1.9.1 Filmové dozimetry

Ionizující záření působící na fotografický materiál dá vzniknout latentnímu obrazu, který lze vyvoláním zviditelnit. Zčernání neboli optická hustota fotografického materiálu poukazuje na velikost obdržené dávky, kterou obdržel dozimetr. Filmový dozimetr má velkou výhodu v jeho citlivosti a trvalosti záznamu, bohužel je málo přesný a výsledek

obrazu závisí na vnějších vlivech jako je vlhkost, teplota a mechanické působení. (Podgorsak, 2005)

1.9.2 Luminiscenční dozimetry (TLD, PLD)

Existují materiály, které při absorpci zadrží část energie v nestabilním stavu. Tato energie je následně uvolněna ve formě ultrafialového, infračerveného nebo viditelného světla, které se nazývá luminiscencí. Luminiscenci rozlišujeme na fosfoescenci a fluorescenci, tyto typy závisí na zpoždění mezi stimulací a emisí světla. Fosfoescence se dá urychlit vhodnou excitací, například ve formě tepla a světla.

Ozáření určitých dielektrických pevných látek ionizujícím zářením může vést k zachycení uvolněných elektronů nebo děr v lokálních poruchách mřížky. Aby elektrony mohly opustit past, je třeba dodat energii, a to buď v podobě tepla, nebo světla. Když se dodá energie v podobě tepla, hovoříme o dozimetrech termoluminiscenčních (TLD), pokud se dodá energie ve formě světla, mluvíme o dozimetrech fotoluminiscenčních (PLD). Část energie při návratu nosičů náboje do stabilního stavu je vyzářena jako viditelné nebo ultrafialové světlo. Záblesk světla je převeden pomocí fotonásobiče na elektrický impuls, jehož velikost je úměrná celkové dávce, kterou byl dozimetr ozáren. Výhodou TLD (PLD), je velký měřicí rozsah, rychlé vyhodnocování a malá energetická závislost, na druhou stranu je to nákladné zařízení a neposkytuje tolik údajů jako filmový dozimetr. (Rozlívka, 2005)

1.9.3 OSL dozimetr

Tato metoda v posledních pár letech vytlačuje z popředí dozimetry filmové i TL dozimetry. Je to dozimetr využívající opticky stimulovanou luminiscenci, který dokáže detekovat fotony i beta záření. Občas může být jeho součástí i neutronový detektor nebo další OSL dozimetr, který slouží jako záložní, a který nám umožňuje určit převažující směr záření a kontaminaci dozimetru. Rozdíl oproti TL dozimetru, je, že u vyhodnocování OSL dozimetru je zapotřebí dodat světlo. (Singer, 2005)

1.9.4 Neutronový dozimetr

Neutronový neboli štěpný dozimetr využívá stopové metody a slouží k detekci rychlých a středně rychlých neutronů. Dozimetr je tvořen kadmíem, který zbrzdí neutrony, které následně reagují s plutoniem, a části plutonia dopadají na marylénovou folii, ve které se tvoří mikroskopické otvory, na které je třeba použít kyselinu, aby otvory byly viditelné pod mikroskopem. (Leština, 2007)

1.10 Zdravotnické obory využívající ionizující záření

Díky objevu rentgenového záření a radioaktivity obecně, došlo k vývoji v oblasti využívání těchto zdrojů ve zdravotnictví. Lékařský obor, využívající záření z uzavřených zářičů nebo rentgenové záření nazýváme Radiologie (patří sem mimo jiné i metody využívající neionizující záření, jako je magnetická rezonance a sonografie). Pak je tu obor Nukleární medicíny, ve kterém se využívají radioaktivní látky k diagnostice i k léčbě. Mluvíme o otevřených zářičích v podobě radiofarmak, což jsou chemické sloučeniny, obsahující jako účinnou složku umělý radionuklid, který je zdrojem ionizujícího záření. (Pejchal et al., 2013)

1.10.1 Radiologie

Radiologie je lékařský obor využívající ionizující záření k určení diagnózy pacienta, nebo léčbě pacienta (intervenční radiologie). Pro radiologii je typické využití rentgenového záření, nebo záření z uzavřených zářičů, ale jsou i metody kde se ionizující záření nevyužívá. (Pejchal et al., 2013)

Obor radiologie se obecně dělí na podobory radiodiagnostiku a radioterapii:

- Radiodiagnostika – je diagnostický podobor, jehož úkolem je zjišťování nových chorobných změn v lidském těle a jejich vývoje v průběhu času, nebo přispívá k zpřesnění prognózy u již známého onemocnění. Využívá se k tomu zobrazovacích metod, o kterých pojednávám dále. (Pejchal et al., 2013)
- Radioterapie – je terapeuticky zaměřený podobor radiologie, který se zabývá léčbou nádorových i některých nenádorových onemocnění. (Pejchal et al., 2013)

Samostatný význam v radiologii má tzv. intervenční radiologie umožňující nahradit, nebo usnadnit chirurgický výkon využitím zobrazovacích metod a technik. Jedná se o invazivní zákroky, je tudíž potřeba zvážit, zda je přínos zákroku pro pacienta větší než riziko. Intervenční metody můžeme rozdělit na vaskulární a nevaskulární. (Pejchal et al., 2013)

Metody používané v radiologii jsou rozebrány níže.

1.10.1.1 Skiografie

Skiografie se používá k zobrazování lidských tkání. Je založena na odlišném pohlcování svazku rentgenového záření různými tkáněmi. Tato metoda se používá pro snímkování zubů a kostí nebo pro odhalování karcinomů prsu (mamografická metoda). Výsledek je zaznamenán jako digitalizovaný obraz nebo v podobě filmu. (Súkupová, 2018)

1.10.1.2 Skiaskopie

Má vyšší radiační zátěž na člověka než skiografie, protože obraz, který pomocí této metody sledujeme, se nezaznamenává. Skiaskopie nám umožňuje pozorování postupu kontrastních látek v organismu (nejčastěji se používá jód a baryum) nebo pohyb orgánů a jejich funkce. (Pejchal et al., 2013)

1.10.1.3 Výpočetní tomografie (CT)

CT se využívá k rekonstrukci obrazu pomocí matematických výpočtů, kdy se rentgenové projekce z různých úhlů dají dohromady v ucelený trojrozměrný obraz. CT má výhodu oproti skiografii v tom, že nám umožňuje zobrazit i měkké tkáně, které jsou málo kontrastní. (Súkupová, 2018)

1.10.2 Nukleární medicína

Nukleární medicína je lékařský obor zabývající se diagnostikou a léčbou s využitím vhodných radionuklidů (radiofarmak). V závislosti od použitého radiofarmaka lze získat důležité informace o funkčně-morfologickém stavu orgánů, metabolické aktivitě tkání, odhalovat nádory, záněty a jiné patologické změny v těle pacienta. Terapeutickými

metodami je možné léčit některá nádorová i nenádorová onemocnění, nebo alespoň potlačit příznaky. (Kupka et al., 2007)

1.10.2.1 In vivo vyšetření

In vivo vyšetření se provádí intravenózní cestou a následně je zobrazeno scintilačními kamerami. Pro zobrazení třetího rozměru při *in vivo* vyšetření se dnes využívají tyto metody. (Kupka et al., 2007)

- Radionuklidová emisní tomografie typu SPECT – používající gama zářič ^{67}Ga , ^{111}In , ^{99}Tc nebo ^{201}Tl . Občas se tato metoda kombinuje s CT, aby se docílilo přesnějšího zobrazení, tato kombinace se nazývá SPECT/CT.
- Pozitronová emisní tomografie (PET) je metoda založená na detekci fotonů, vznikajících anihilací 19 pozitronů, uvolněných B⁺ radiofarmaky s elektronem v těle pacienta. Při této metodě se podávají radiofarmaka s velmi krátkým poločasem rozpadu, například ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O . (Kupka et al., 2007)

1.10.2.2 In vitro vyšetření

Radiosaturační analýza neboli vyšetření *in vitro* je postup, při kterém se využívají radioaktivní látky aplikované pouze do vzorku krve. Tímto způsobem se stanovuje koncentrace protilátek nebo hormonů obsažených v krvi. K detekci se využívají nezobrazovací přístroje (scintilační detektory). Pro toto vyšetření se nejčastěji používá zářič gama v podobě radionuklidu ^{125}I , který emituje fotony gama a charakteristického rentgenového záření. (Kupka et al., 2007)

1.11 Průmyslové obory využívající ionizujícího záření

Zdroje ionizujícího záření jsou velice rozšířené i v odvětvích průmyslu, kde je využíváno jak alfa, beta, gama záření, a současně i generátory produkující rentgenové záření, neutronové nebo elektronové svazky. (Klener et al., 2000)

O jednotlivých profesích využívajících ionizující záření v průmyslu je pojednáno dále.

1.11.1 Defektoskopie

Defektoskopie představuje nedestruktivní zkušební metodu, kterou využíváme ke kontrole vlastností materiálů či výrobků. Pomocí defektoskopie se zjišťují například strukturální nesourodost materiálu, nebo vady ve svaru dvou částí materiálu. Je potřeba záření, které nezpůsobuje škody na zkoušeném materiálu, proto se pro defektoskopii využívá vlastností záření gama, brzděného nebo rentgenového, protože snadno prochází různými materiály a je zeslabováno a rozptylováno v závislosti na schopnostech absorpce a struktury materiálu. Výsledek zkoušky materiálu se buď převede na radiografický film, nebo do elektronické formy a ukáže se na obrazovce. Defektoskopická zařízení jsou buď stacionární (na stálých pracovištích) nebo mobilní a přenosná. Je možné je používat i na externích pracovištích. Nedestruktivní testování se používá například pro kontrolu svárů, železobetonových konstrukcí, zavazadel, balíků nebo kontrolu ochranných krytů. (Klener et al., 2000)

1.11.2 Obory využívající průmyslové ozařovače

Uplatnění pro radiační ozařovače nacházíme ve spoustě různých odvětví. Například ve zdravotnictví, průmyslu a výzkumu. Zdrojem záření v ozařovačích je buď záření gama, nebo urychlovače elektronů. Nejčastěji se průmyslové ozařovače používají při sterilizaci zdravotnických výrobků a léčiv, polymeraci a modifikaci plastů, ošetření potravin a hubení hmyzu. Radiační ozařovače jsou z pohledu radiační zátěže bezpečná záležitost, pokud tedy nedojde ke ztrátě kontroly nad zářičem, nebo jeho poškození. (Klener et al., 2000)

1.11.3 Obory využívající průmyslová měřidla

S průmyslovými radionuklidovými měřidly se můžeme setkat například v moderních automatizovaných závodech, kde tato měřidla sledují a kontrolují výrobní proces. Obecně se tato měřidla používají ke stanovení tloušťky, hustoty materiálu, úrovně hladiny, úniku látky, kvantitativní analýzu materiálu. Největší výhodou těchto měřidel, je, že nepotřebují být v přímém kontaktu se zkoumaným materiálem, a tím nezasahují do výrobního procesu. Používají se gama, beta, rentgenové a neutronové zdroje záření. Měřidla se dělí podle způsobu detekce záření. Na měřidla založená na zpětném rozptylu a na měřidla

využívající rentgenfluorescenci a aktivační analýzu. Patří sem hladinoměry, vlhkoměry, hustoměry, rentgenfluorescenční analyzátory. (Klener et al., 2000)

1.11.4 Karotáž

Karotáž se využívá pro průzkum hloubkových vrtů, nebo pokud chceme objevit ložisko nafty a plynů. Do vrtu je spuštěna sonda s uzavřeným radionuklidovým zdroje, který emituje záření do okolí sondy. Signály, které se po interakci vracejí zaznamenává detektor uvnitř sondy. Obvykle se pro karotážní práce používají neutronové uzavřené zdroje nebo zdroje využívající záření gama. (Klener et al., 2000)

2 CÍL PRÁCE, VÝZKUMNÁ OTÁZKA

Cílem bakalářské práce je na základě dozimetrických dat analyzovat skupiny radiačních pracovníků s nejvyššími dávkami a vytvořit časové trendy. U přístrojů používajících ionizující záření vytvořit přehled počtu těchto přístrojů v čase a porovnat v jednotlivých profesích.

2.1 Výzkumná otázka

Ke zpracování těchto cílů byly zformulovány výzkumné otázky:

- Patří mezi nejvíce exponované oblasti v průmyslu stále defektoskopie a ve zdravotnictví intervenční radiologie?
- Roste počet zdrojů ionizujícího záření ve všech oblastech, nebo jsou oblasti, kde je klesající trend?

3 METODIKA

Bakalářská práce vychází z rešerše odborné literatury, článků, dokumentů a cizích elektronických zdrojů, které se zabývají radioaktivitou, radiační ochranou u nás, ve světě a zdroji ionizujícího záření.

Ke sběru dozimetrických dat použitých v bakalářské práci jsem použil Centrální registr profesionálních ozáření Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Dále jsem použil data z Registru zdrojů o počtu zdrojů ionizujícího záření spolu s jejich statusem používání a oblasti použití.

V bakalářské práci jsem se zaměřil na vývoj osobních dávek v čase, v jednotlivých profesích. Dále jsem věnoval pozornost profesím, ve kterých se vyskytují nejvyšší osobní dávky. Tyto dávky jsem následně analyzoval v čase a zjišťoval, zda dochází ke snižování dávek a tím i zvyšující se kvalitě radiační ochrany.

Data týkající se zdrojů ionizujícího záření, jsem čerpal z Registru zdrojů SÚJB a zároveň ze statistik ÚZIS ČR. Dále jsem tato data analyzoval z pohledu jejich celkového počtu, aktivně používaných zdrojů a jejich vývoj v čase.

Výsledky analytického šetření byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny pomocí programu Microsoft Excel. Z důvodu lepší přehlednosti byly znázorněny v grafech. Ke každému grafu byl následně uveden krátký slovní komentář.

4 VÝSLEDKY

V této kapitole je uvedena analýza dat získaných z registrů SÚJB a statistiky ÚZIS ČR. Postupně jsou uvedeny obrázky s komentáři, které byly vypracovány v programu Microsoft Excel.

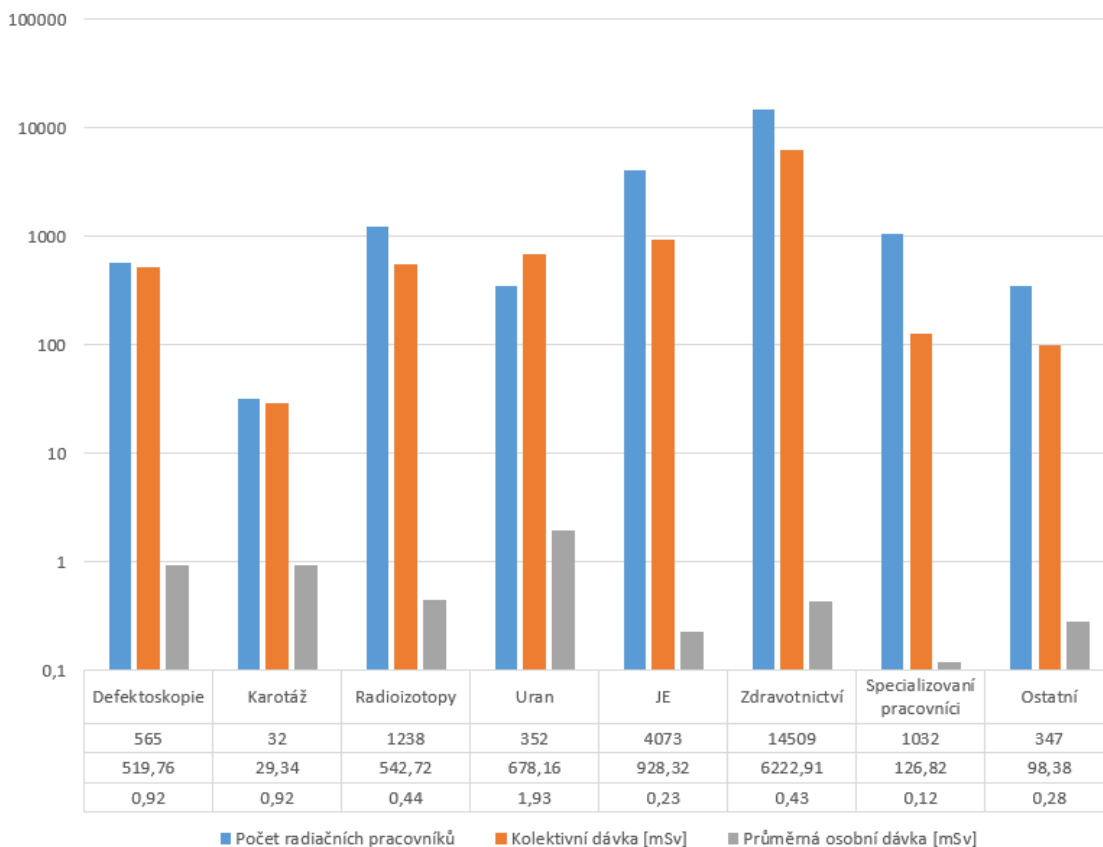
4.1 Výstupy z dat profesního ozáření

Výstupy byly vypracovávány z dat CRPO, kde jsou data rozdělena podle jednotlivých profesí. Dané profese jsou zobrazeny v tabulce (tab. 1), kde k nim jsou uvedeny počty radiačních pracovníků za rok 2019 v uvedených rozmezech obdržené dávky v mSv.

Tabulka 1 – Přehled radiačních pracovníků za rok 2019

Profese	0 - 0,1 mSv	0,1 – 1 mSv	1 – 5 mSv	5 – 10 mSv	10 – 15 mSv	15 – 20 mSv	Více jak 20 mSv
Defektoskopie	214	237	89	16	8	0	1
Karotáž	5	12	15	0	0	0	0
Radioizotopy	579	519	133	6	0	1	0
Uran	65	94	159	33	1	0	0
JE	2953	866	236	17	1	0	0
Zdravotnictví	10251	2789	1168	221	67	13	0
Specializovaný pracovníci	835	178	15	4	0	0	0
Ostatní	232	96	12	7	0	0	0
Celkem	15134	4791	1827	304	77	14	1

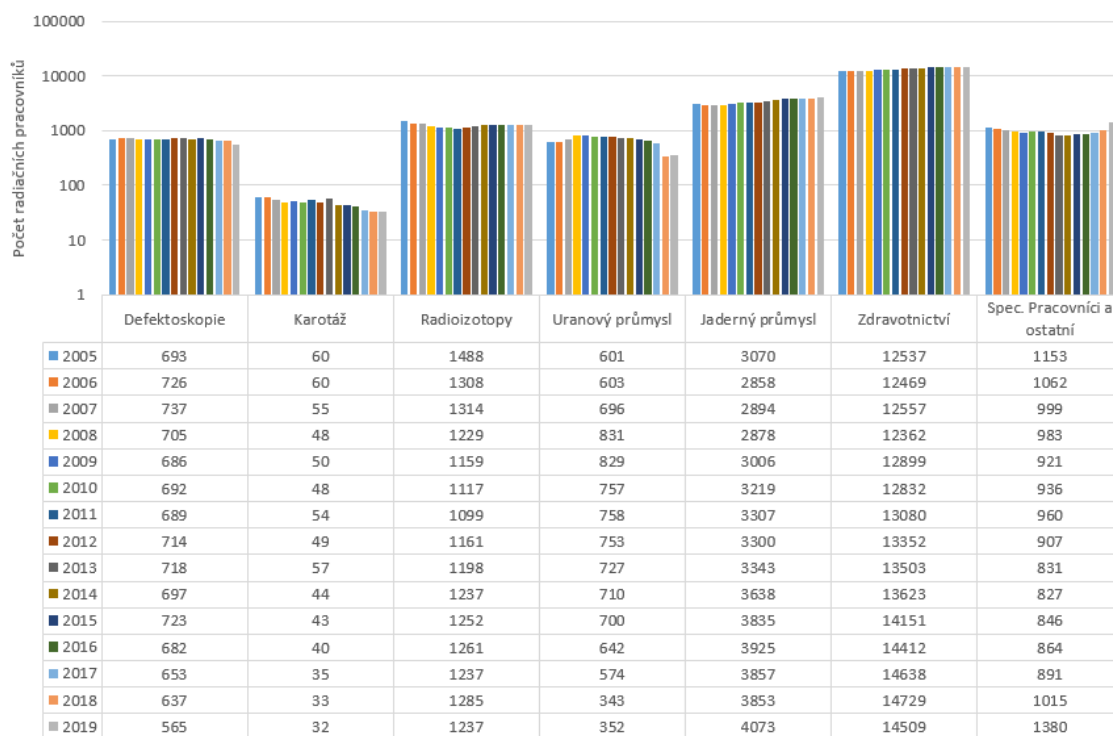
Zdroj: vlastní výzkum



Obrázek č. 1 Přehled počtu radiačních pracovníků, jejich kolektivní a průměrné osobní dávky za rok 2019.

Zdroj: vlastní výzkum

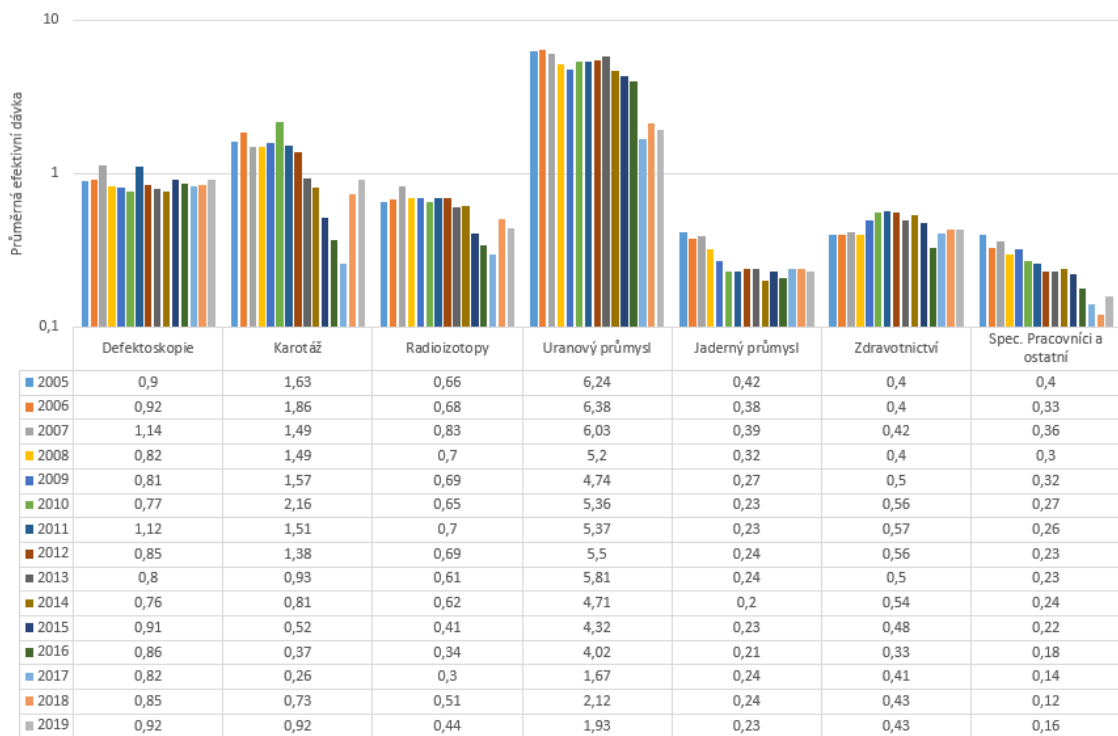
Obrázek (obr. 1) doplňuje tabulku (tab.1), a je na něm znázorněn počet radiačních pracovníků pro jednotlivé profese, k nim kolektivní a průměrné efektivní dávky. Na tomto obrázku si můžeme všimnout, že defektoskopie a karotáž mají shodnou průměrnou osobní dávku, která převyšuje ostatní odvětví, kromě uranového průmyslu, který je specifický.



Obrázek č. 2 Počty radiačních pracovníků v jednotlivých profesích v letech 2005-2019

Zdroj: vlastní výzkum

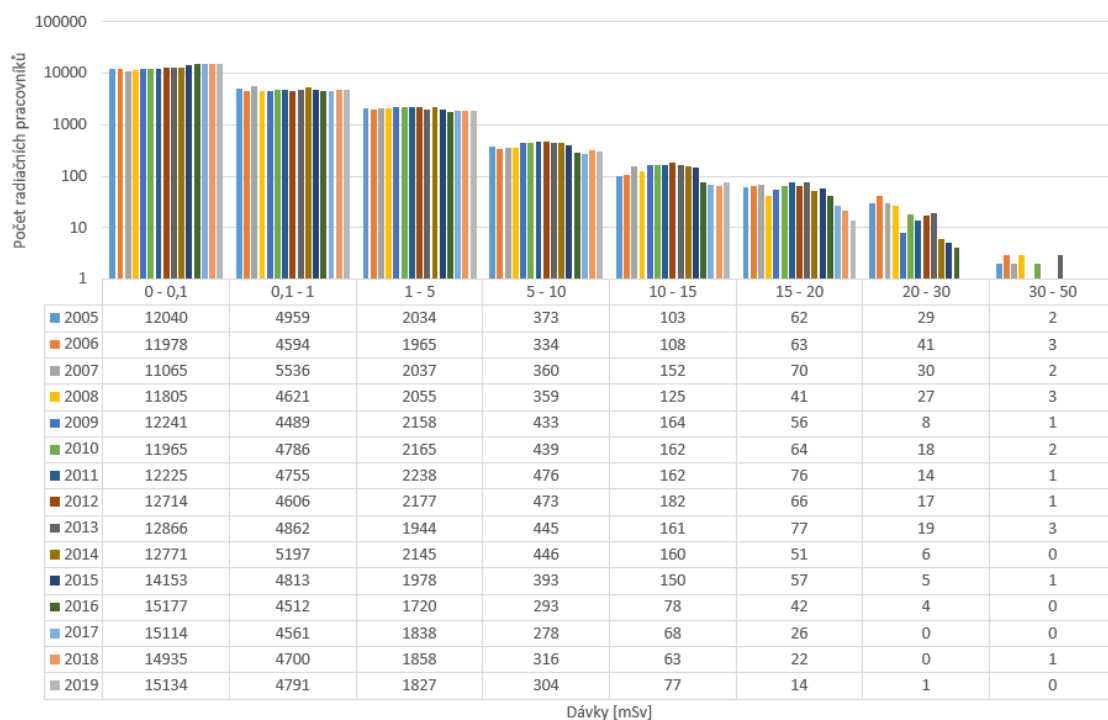
Obrázek č. 2 ukazuje počty radiačních pracovníků v letech 2005-2019 pro jednotlivé profese, kde je možné vidět pro každou profesi trend v počtu pracovníků v letech. Na tomto obrázku (obr. 2) je možné pozorovat klesající trend ve čtyřech ze sedmi oborů. Obory se stoupajícím trendem jsou jaderný průmysl, zdravotnictví, specializovaní pracovníci a ostatní.



Obrázek č. 3 Průměrná efektivní dávka pro jednotlivé profese v letech 2005-2019

Zdroj: vlastní výzkum

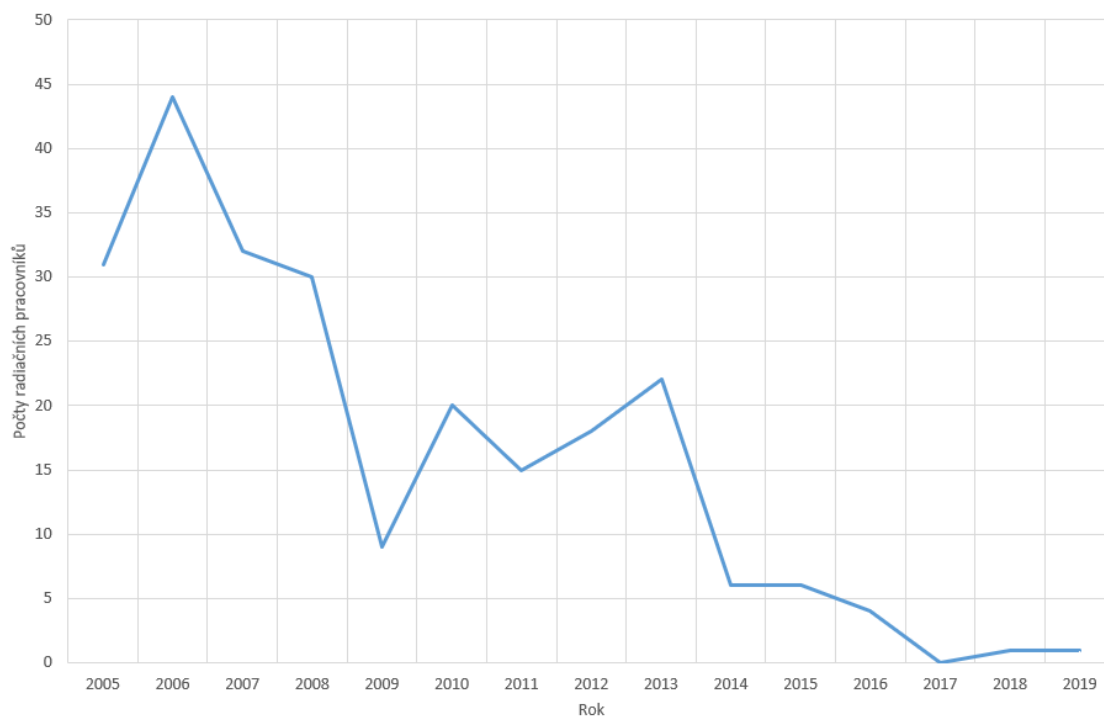
Na obrázku č. 3 můžeme sledovat vývoj průměrné efektivní látky ve vybraných profesích mezi lety 2005-2019, kde je možno sledovat trendy ve vývoji průměrných dávek. Přesto, že na obrázku výše (obr. 2) jsme sledovali klesající trend u počtu radiačních pracovníků v oblasti defektoskopie a karotáže, tak zde klesající trend není. Průměrné efektivní dávky v těchto oborech jsou konstantní, což také ukazuje na konstantní úroveň radiační ochrany. Kde naopak vidíme klesající trend průměrných dávek, který koresponduje i s klesajícím počtem pracovníků, tak to je uranový průmysl. To je však způsobeno tím, že v roce 2017 byl uzavřen podpovrchový uranový důl Dolní Rožná, kde radiační pracovníci měli nejvyšší radiační zátěž. Tím, že byl tento důl uzavřen, ubylo radiačních pracovníků, kteří měli nejvyšší osobní dávky, a proto ubylo jak pracovníků, tak se snížila i průměrná efektivní dávka.



Obrázek č. 4 Dávková distribuce v letech 2005-2019

Zdroj: vlastní výzkum

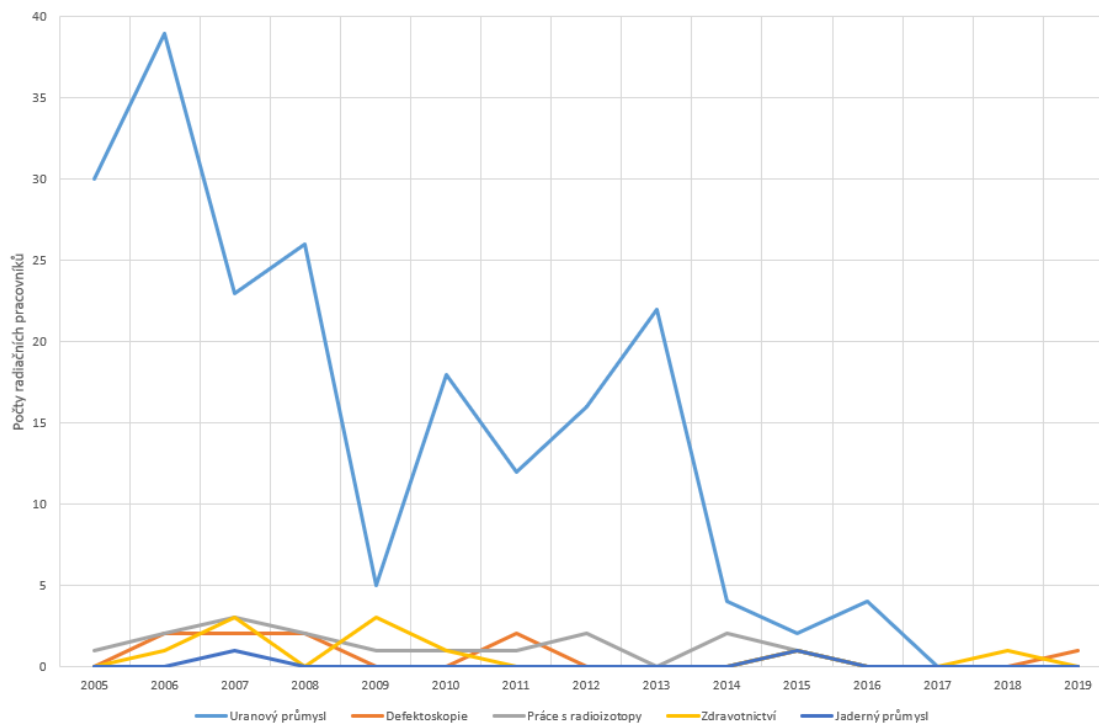
Obrázek č. 4 sleduje dávkovou distribuci v letech 2005-2019 pro limitní i nadlimitní dávky nad 20 mSv pro radiační pracovníky. Jsou zde počty radiačních pracovníků rozdělené do jednotlivých sektorů podle jejich obdržené dávky a to, jak se toto rozložení měnilo v letech. Na tomto obrázku (obr. 4) můžeme pozorovat, jak dochází k nárůstu počtu radiačních pracovníků v oblastech nízkých dávek a naopak u dávek nad 15 mSv k ubývání počtu radiačních pracovníků, což svědčí o zvyšující se radiační ochraně. Většina radiačních pracovníků v každém zkoumaném roce nepřekročila dávkové limity. Ale jsou i radiační pracovníci, kteří tyto limity osobních dávek nad 20 mSv překročili. Na tyto radiační pracovníky poukazuje následující obrázek (obrázek č. 5)



Obrázek č. 5 Počet pracovníků s nadlimitní osobní dávkou 20 mSv v letech 2005-2019.

Zdroj: vlastní výzkum

Obrázek č. 5 zobrazuje počet radiačních pracovníků, kteří překročili dávkový limit pro radiačního pracovníka 20 mSv, mezi lety 2005-2019. Na tomto obrázku (obr. 5) můžeme vidět klesající trend počtu radiačních pracovníků, jejichž osobní dávka přesáhne limit 20 mSv.

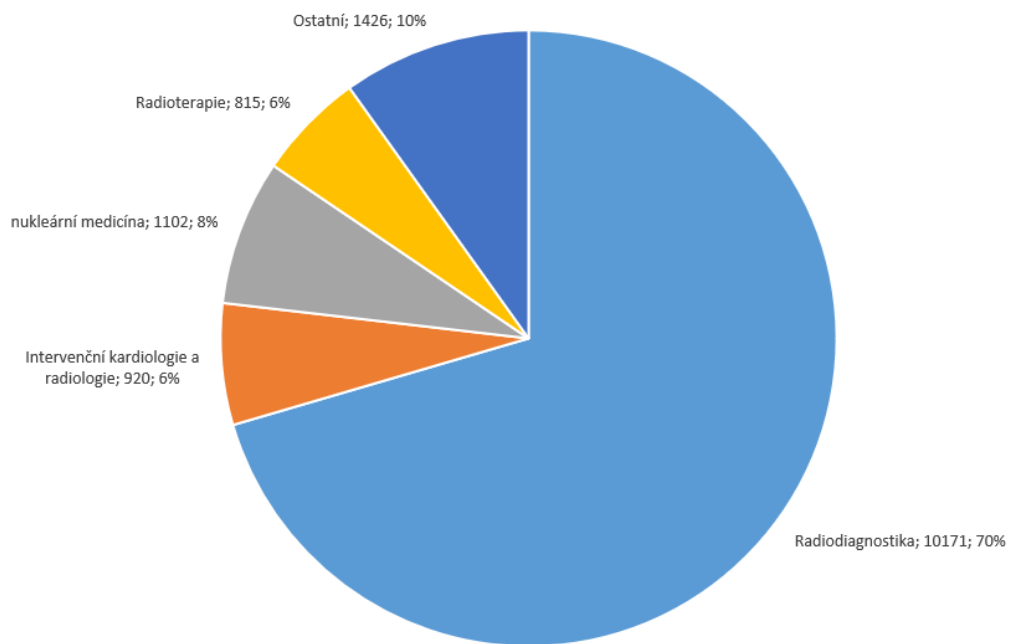


Obrázek č. 6 Počet pracovníků s nadlimitní dávkou 20 mSv v letech 2005-2019 pro jednotlivé profese

Zdroj: vlastní výzkum

Obrázek č. 6 detailněji zobrazuje data z předchozího obrázku (obr. 5), na kterém je patrné, že největší počet radiačních pracovníků přesahující limit je v uranovém průmyslu. Ostatní profese jsou zde zastoupeny pouze minimálně. Toto je způsobeno tím, že pracovníci v uranovém průmyslu, kteří pracují v podzemních uranových dolech, jsou vystaveni velkému vnějšímu i vnitřnímu ozáření.

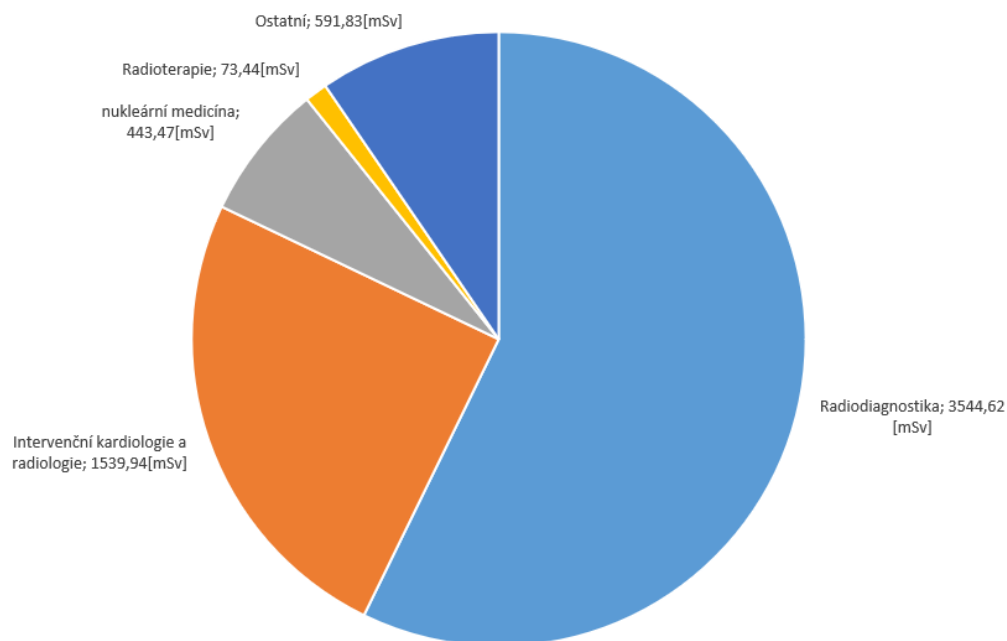
V obrázcích uvedených výše, jsem se zaměřil na všechny profese, které jsou vedeny v CRPO, ze kterého čerpám. Jelikož oblast zdravotnictví je tou nejpočetnější, je dobré se jí zabývat podrobně a rozčlenit ji na jednotlivé zdravotnické obory.



Obrázek č. 7 Procentuální zastoupení radiačních pracovníků ve zdravotnictví v roce 2019.

Zdroj: vlastní výzkum

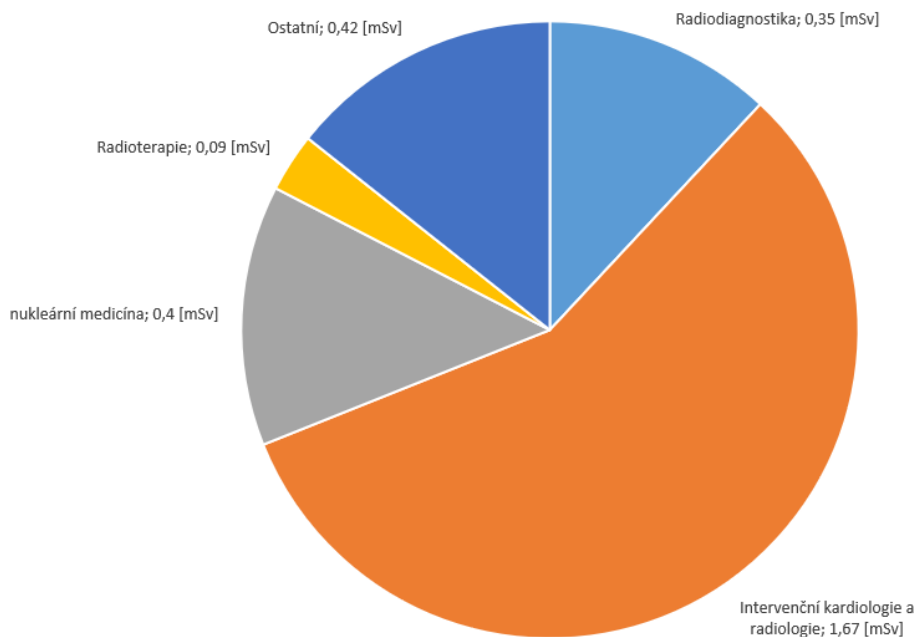
Na obrázku č. 7 je vidět rozdělení radiačních pracovníků podle zdravotnických profesí. Do těchto profesí patří radiodiagnostika, radioterapie, nukleární medicína a ostatní. Dále je zde ukázána i podoblast radiodiagnostiky, a to intervenční radiologie a kardiologie. Toto rozdělení vychází z Registru CRPO pro rok 2019. Největší zastoupení radiačních pracovníků je v oboru radiodiagnostiky, celých 70 %.



Obrázek č. 8 Kolektivní dávky radiačních pracovníků ve zdravotnictví v roce 2019.

Zdroj: vlastní výzkum

Na obrázku č. 8 jsou vidět kolektivní efektivní dávky radiačních pracovníků v jednotlivých zdravotnických profesích za rok 2019. Kolektivní dávky za rok 2019 byly podle dat z obrázku (obr. 8) nejvyšší v oboru radiodiagnostiky, ale obor intervenční kardiologie a radiologie má druhé nejvyšší kolektivní dávky přesto, že na obrázku výše (obr. 7) měl druhé nejvyšší zastoupení počtu radiačních pracovníků ze zkoumaných profesí, což poukazuje na vysokou radiační zátěž těchto pracovníků.

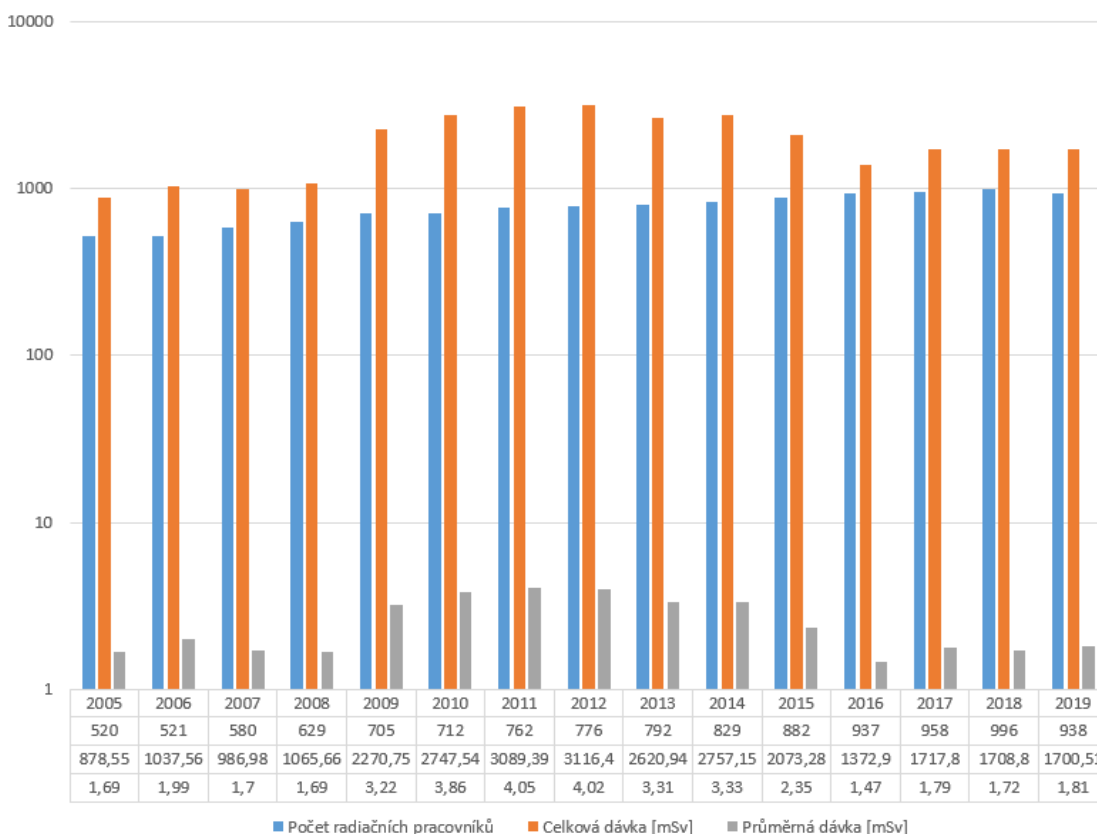


Obrázek č. 9 Průměrné dávky radiačních pracovníků ve zdravotnictví v roce 2019.

Zdroj: vlastní výzkum

Obrázek č. 9 zobrazuje pro každou zdravotnickou profesi průměrnou efektivní dávku na radiačního pracovníka za rok 2019. V roce 2019 byly nejvíce zatíženy z hlediska průměrných efektivních dávek na jednoho radiačního pracovníka profese intervenční kardiologie a radiologie, což potvrzuje i obrázek č. 8.

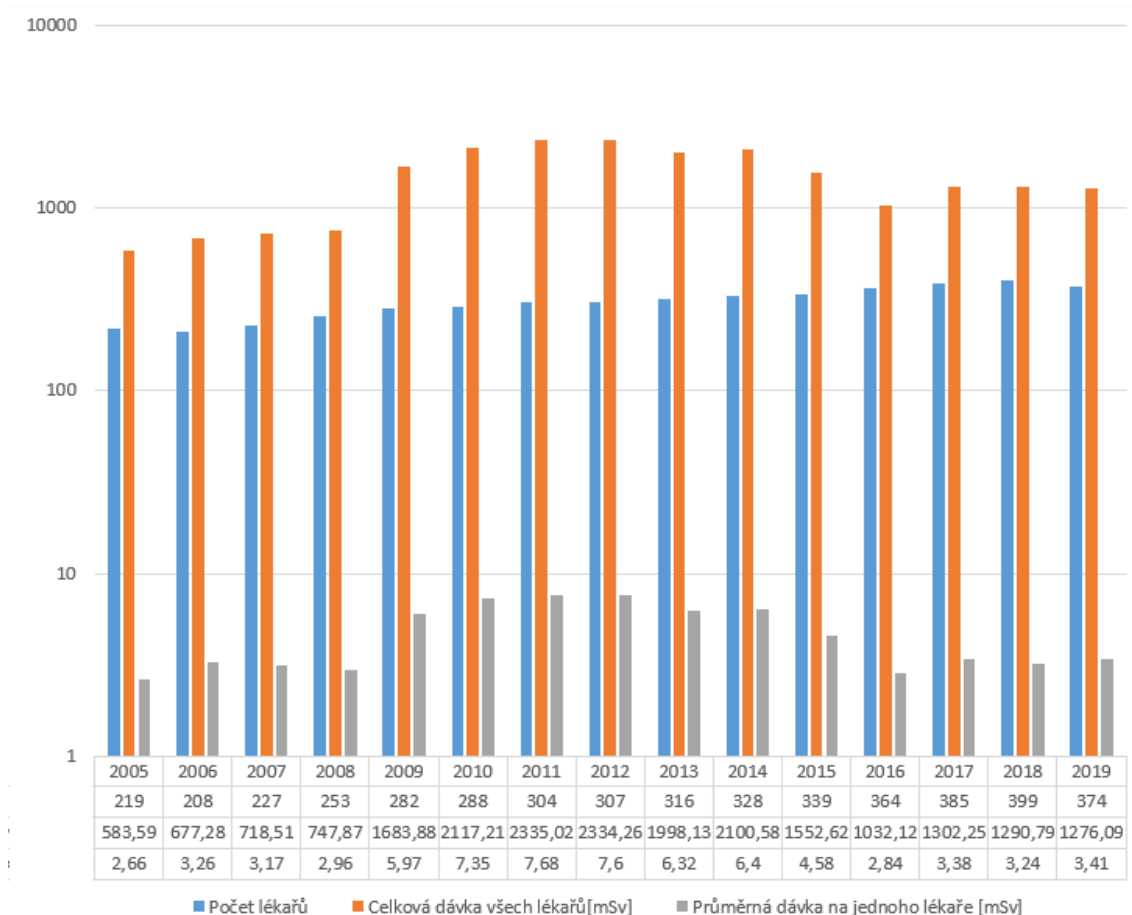
Vzhledem k tomu, že nejvyšší průměrné efektivní dávky na radiačního pracovníka jsou dosahovány v oborech intervenční radiologie a kardiologie, zaměřím se tedy na dalších obrázcích právě na ně.



Obrázek č. 10 Počet radiačních pracovníků v oboru intervenční radiologie a kardiologie, jejich kolektivní a průměrné dávky bez přešetření v letech 2005-2019.

Zdroj: vlastní výzkum

Obrázek č. 10 ukazuje počty radiačních pracovníků v profesích intervenční radiologie a kardiologie mezi lety 2005-2019 a jejich kolektivní a průměrné efektivní dávky, a to bez jejich případného přepočítání vlivu stínící zástěry po překročení limitu 20 mSv. Dále je na obrázku (obr. 10) vidět každoroční nárůst počtu radiačních pracovníků v oblasti intervenční radiologie a kardiologie. Na obrázku (obr. 10) je možné pozorovat postupný nárůst průměrné efektivní dávky radiačních pracovníků mezi lety 2005-2014, což může být způsobeno zvyšujícím se počtem pracovníků v této profesi a tím i zvyšující se počet intervenčních zákroků. V následujících letech se průměrná efektivní dávka radiačních pracovníků snižuje, což naopak může ukazovat na postupně se zvyšující úroveň radiační ochrany.



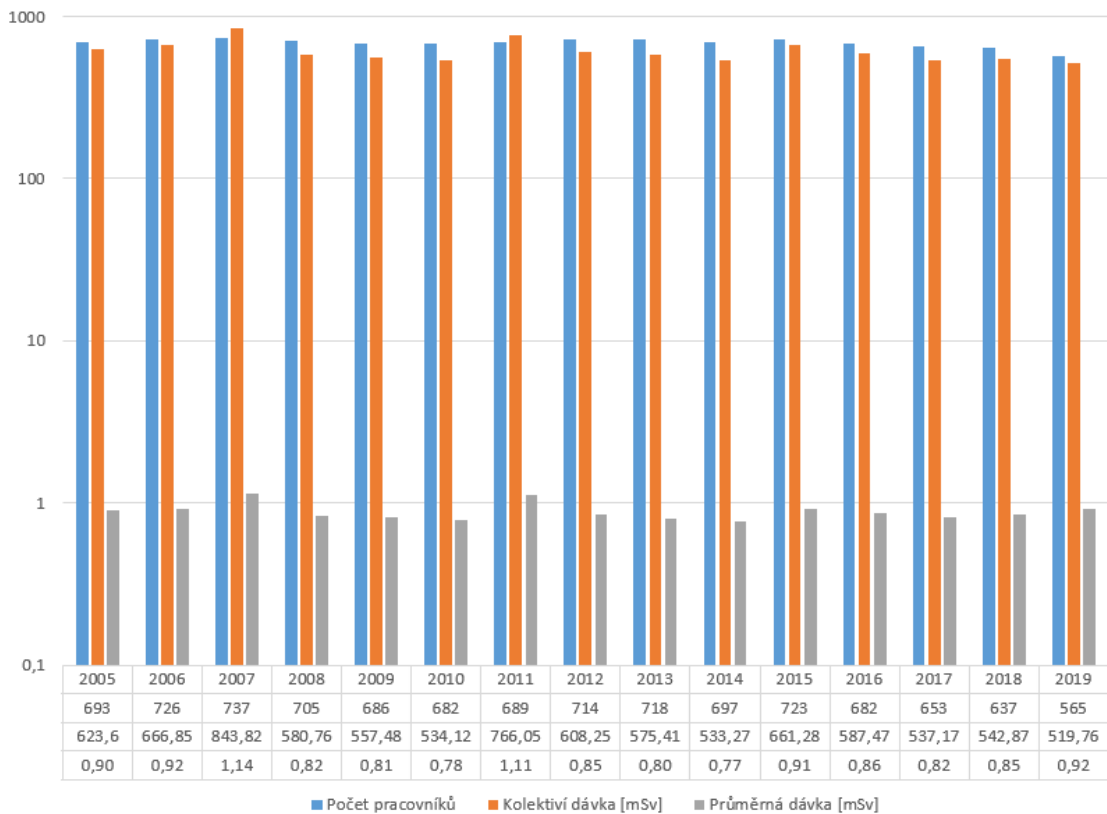
Obrázek č. 11 Počet lékařů v intervenční radiologii a kardiologii, jejich kolektivní dávky a průměrné dávky bez přešetření v letech 2005-2019.

Zdroj: vlastní výzkum

Na obrázku č. 11 je vidět počet lékařů v intervenční kardiologii a radiologii, jejich kolektivní a průměrnou efektivní dávku v letech 2005-2019, a to bez jejich případného přepočítání vlivu stínící zástěry po překročení limitu 20 mSv. Tento obrázek (obr. 11) dále ukazuje pozvolný nárůst počtu lékařů v intervenční radiologii a kardiologii. Trend průměrných osobních dávek lékařů kopíruje trend všech pracovníků v oboru intervenční radiologie a kardiologie zobrazený na obrázku č. 10. Jelikož zde (obr. 11.) jsou průměrné efektivní dávky vyšší, je zřejmé, že nejvyšší dávky obdrží právě lékaři, provádějící tyto zákroky a od nich se odvíjí průměrné dávky všech radiačních pracovníků v tomto oboru.

Dalším odvětvím mimo zdravotnictví, na které se tato bakalářská práce zaměřuje, je průmysl, který je také v Registru CRPO dělen na více profesí. Tyto profese jsou např. defektoskopie, karotáž, práce s radioizotopy, uranový průmysl a jaderný průmysl, jak již bylo ukázáno na obrázcích výše (obr.1). Detailní pozornost si však zasluhují oblasti

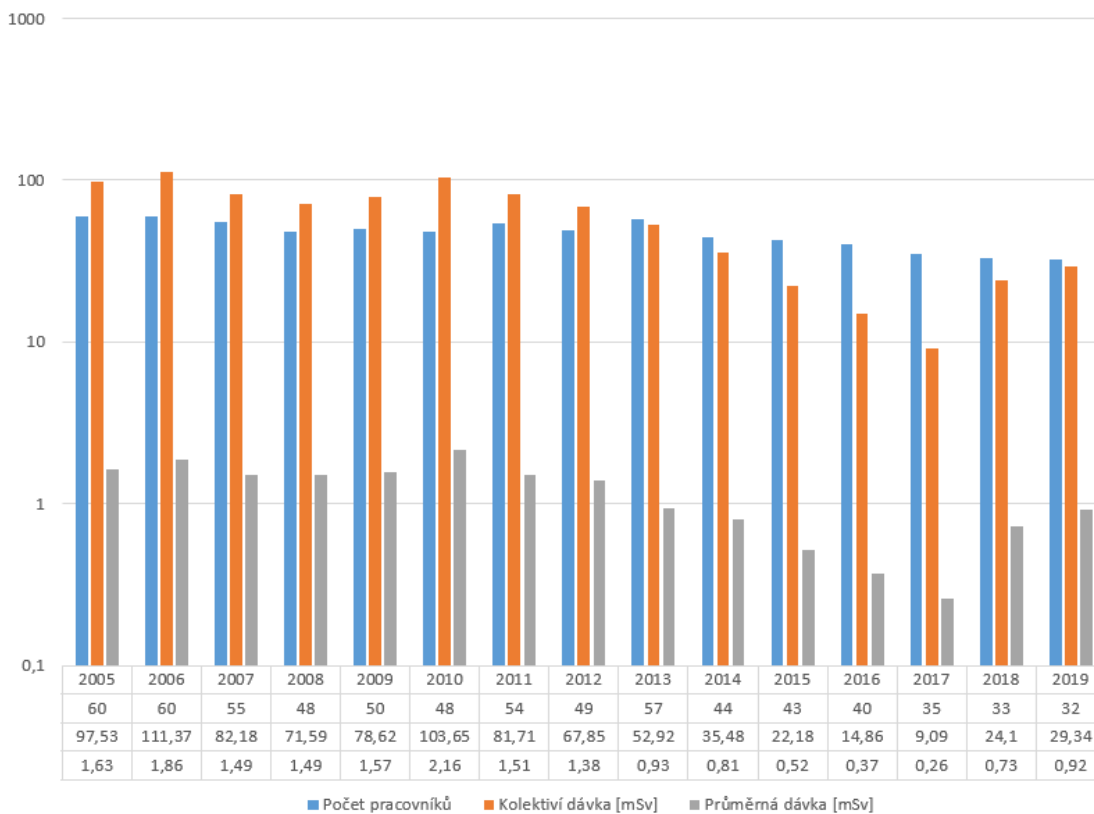
s nejvyššími průměrnými efektivními dávkami, jako jsou defektoskopie, karotáž a uranový průmysl.



Obrázek č. 12 Přehled počtu radiačních pracovníků v defektoskopii v letech 2005-2019 a jejich kolektivní a průměrné dávky.

Zdroj: vlastní výzkum

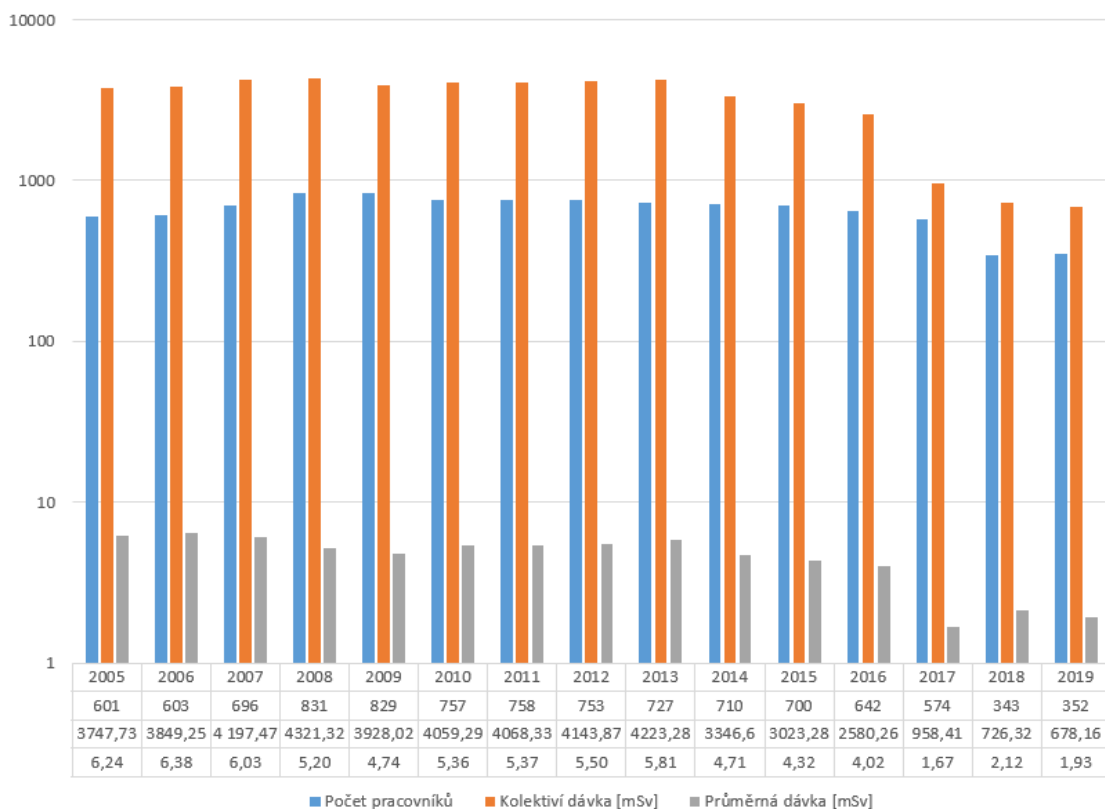
Obrázek č. 12 ukazuje počet radiačních pracovníků v defektoskopii, jejich kolektivní a průměrné efektivní dávky mezi lety 2005-2019. Na tomto obrázku (obr. 12) můžeme pozorovat víceméně konstantní úroveň vývoje počtu pracovníků v letech. Dále obrázek (obr.12) zobrazuje vývoj kolektivní a průměrné dávky radiačních pracovníků v letech, který je také víceméně neměnný, což může poukazovat na konstantní úroveň radiační ochrany.



Obrázek č. 13 Přehled počtu radiačních pracovníků provádějících karotáž v letech 2005-2019 a jejich kolektivní a průměrné dávky.

Zdroj: vlastní výzkum

Na obrázku č. 13 sledujeme vývoj počtu radiačních pracovníků, jejich kolektivní a průměrné efektivní dávky mezi lety 2005-2019. Na obrázku (obr. 13) můžeme pozorovat, že během zkoumaných let počet radiačních pracovníků provádějících karotáž klesl na polovinu, a průměrná dávka se od roku 2010 snižuje, až na poslední dva roky, kdy se opět mírně zvýšila. Což opět značí konstantní úroveň radiační ochrany.



Obrázek č. 14 Přehled počtu radiačních pracovníků v uranovém průmyslu mezi lety 2005-2019 a jejich kolektivní a průměrné dávky.

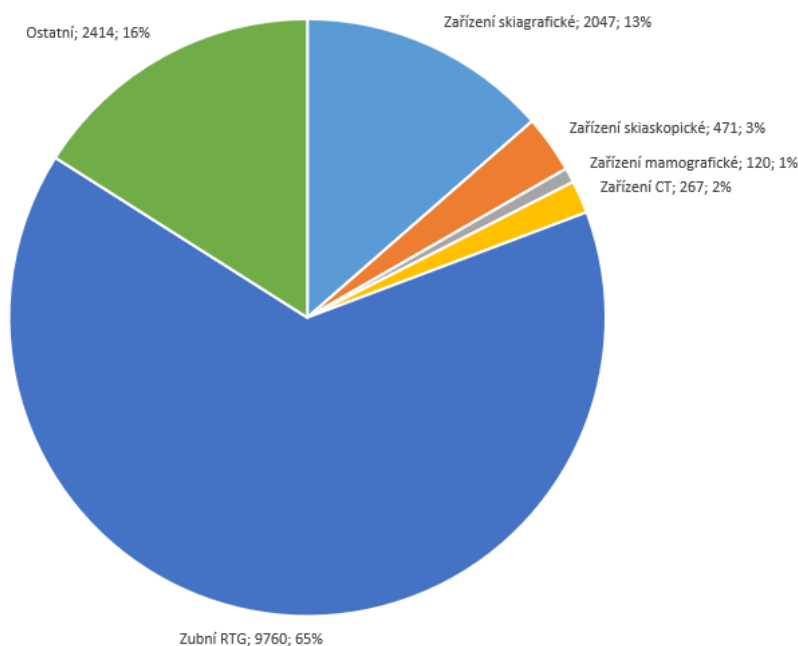
Zdroj: vlastní výzkum

Obrázek č. 14 zobrazuje počet radiačních pracovníků v uranovém průmyslu a jejich kolektivní a průměrné efektivní dávky v letech 2005-2019. Tento obrázek (obr. 14) nám ukazuje, že počet radiačních pracovníků v uranovém průmyslu po roce 2017 prudce klesl z důvodu uzavření podpovrchového uranového dolu Dolní Rožná. Jelikož právě tato skupina radiačních pracovníků byla tou nejexponovanější, došlo zároveň i ke skokovému poklesu průměrné efektivní dávky a v současnosti se dávky radiačních pracovníků pohybují na úrovni 2 mSv.

4.2 Výstupy z Registru zdrojů a ÚZIS ČR

Výstupy týkající se zdrojů ionizujícího záření byly vypracovávány z dat obsažených v RZ a z dat ÚZIS ČR, kdy data v RZ jsou rozdělena podle jednotlivých zdrojů ionizujícího záření na uzavřené zdroje záření (dále jen URZ), otevřené zdroje záření, generátory a zařízení s URZ (ať už obsahujících či neobsahujících zářič). Registr zdrojů obsahuje informace jak o průmyslových, tak zdravotnických zdrojích. Veškeré zdroje ionizujícího záření z Registru zdrojů SÚJB, kterými se v práci zabývám, mají status aktivně používaných zdrojů. Nejedná se tedy o zdroje, které nejsou používány, např. jsou skladovány, nebo jsou určeny k likvidaci. Data z ÚZIS se týkají pouze zdrojů ionizujícího záření používaných ve zdravotnictví. Toto rozdělení zdrojů je odlišné od Registru zdrojů SÚJB.

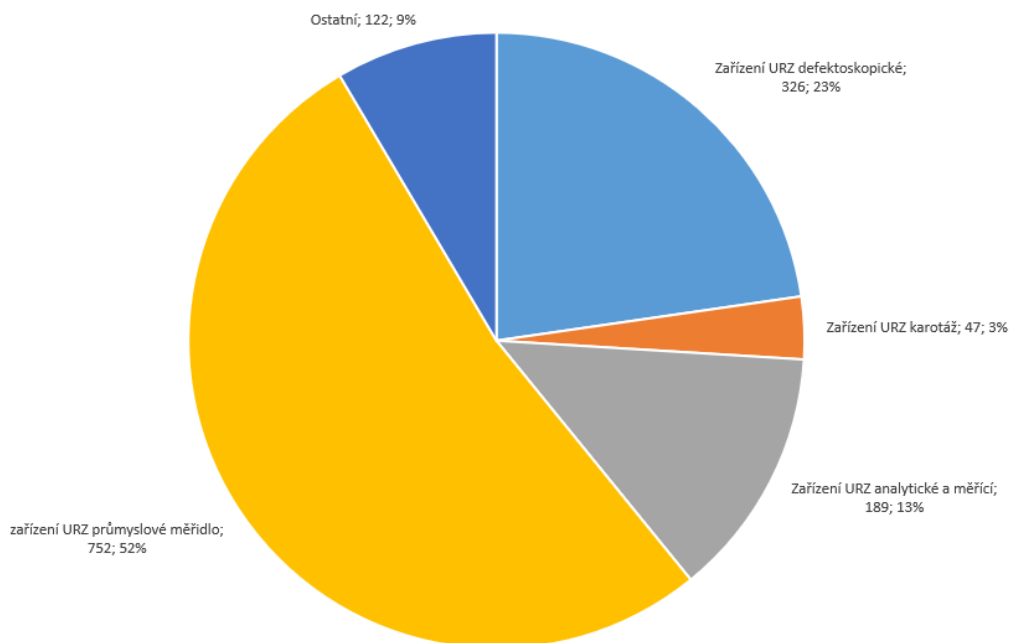
Následující tři obrázky (obr. 15, obr. 16 a obr. 17) charakterizují rozdělení zdrojů ionizujícího záření v Registru zdrojů.



Obrázek č. 15 Přehled počtu generátorů ionizujícího záření ve zdravotnictví za rok **2019.**

Zdroj: vlastní výzkum

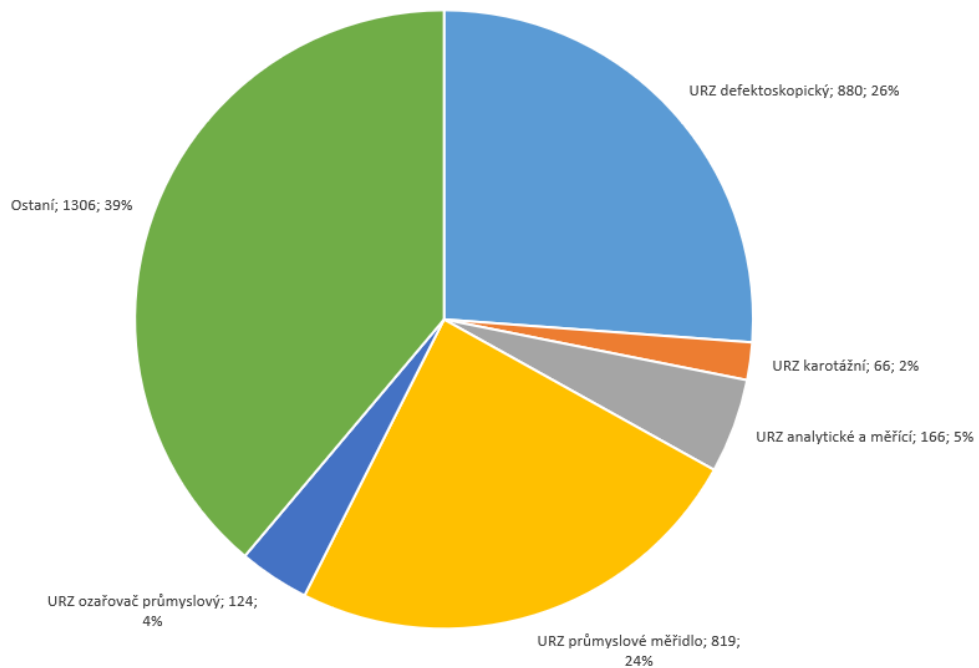
Obrázek č. 15 ukazuje počty generátorů ionizujícího záření používaných ve zdravotnictví v roce 2019 vedených v RZ. Na tomto obrázku (obr. 15) je jasně vidět, že největší zastoupení v počtu generátorů mají zubní RTG, celkem 65 %, což je zapříčiněno nutností registrace zubního lékaře pouze se zubním rentgenem. Dalším generátorem, který stojí za zmínku na obrázku (obr. 15) je skiagrafický rentgen, kterých je 13 %. Skiaskopických rentgenů jsou pak 3 % z celkového počtu.



Obrázek č. 16 Přehled počtu zařízení s URZ v průmyslu za rok 2019.

Zdroj: vlastní výzkum

Na obrázku č. 16 vidíme počet zdrojů ionizujícího záření za rok 2019 kategorizovaných v RZ jako zařízení s URZ používaných v průmyslu. Největší zastoupení na obrázku (obr. 16) mají průmyslová měřidla, kterých je celkem 52 % z celého počtu. Dalším významným zařízením s URZ jsou defektoskopy, kterých je 23 %.

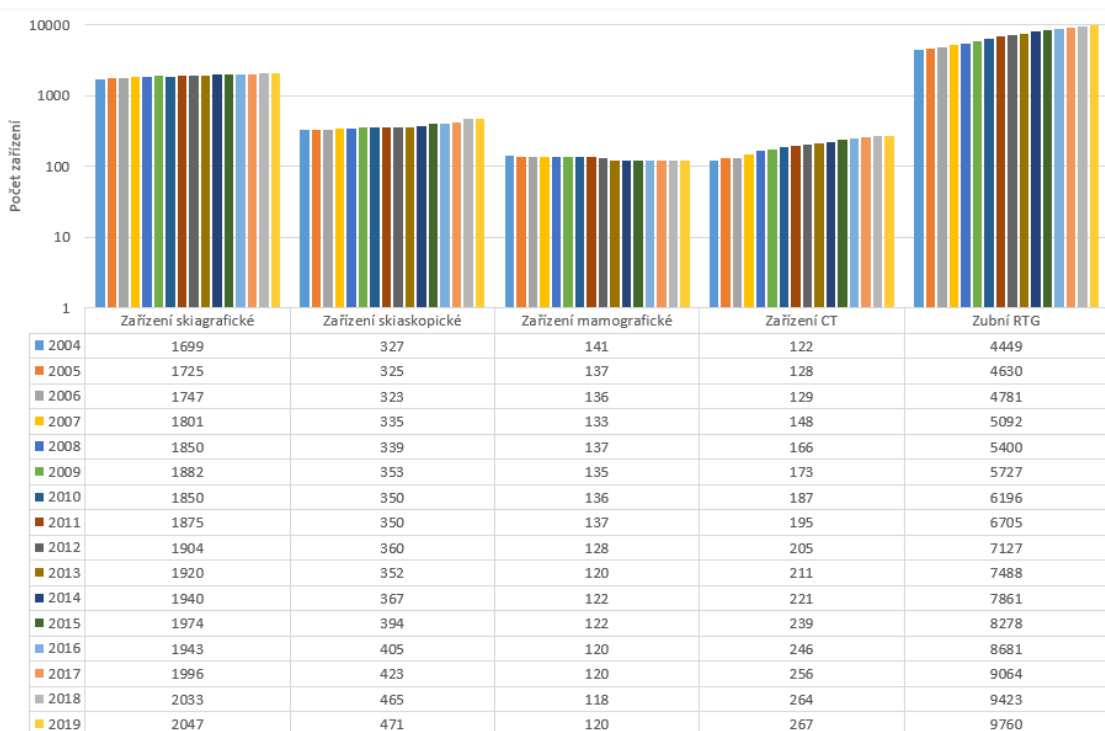


Obrázek č. 17 Přehled počtu URZ v průmyslu za rok 2019.

Zdroj: vlastní výzkum

Obrázek č. 17 ukazuje počet zdrojů ionizujícího záření za rok 2019 v průmyslu vedených v RZ a kategorizovaných jako URZ. Největší zastoupení v obrázku (obr. 17) mimo ostatní URZ, jsou URZ defektoskopické, kterých je 26 %. Dalšími hojně zastoupenými URZ jsou průmyslová měřidla, kterých je 24 %. Třetím nejvíce početně zastoupenými URZ jsou analytická a měřicí URZ, kterých je 5 %.

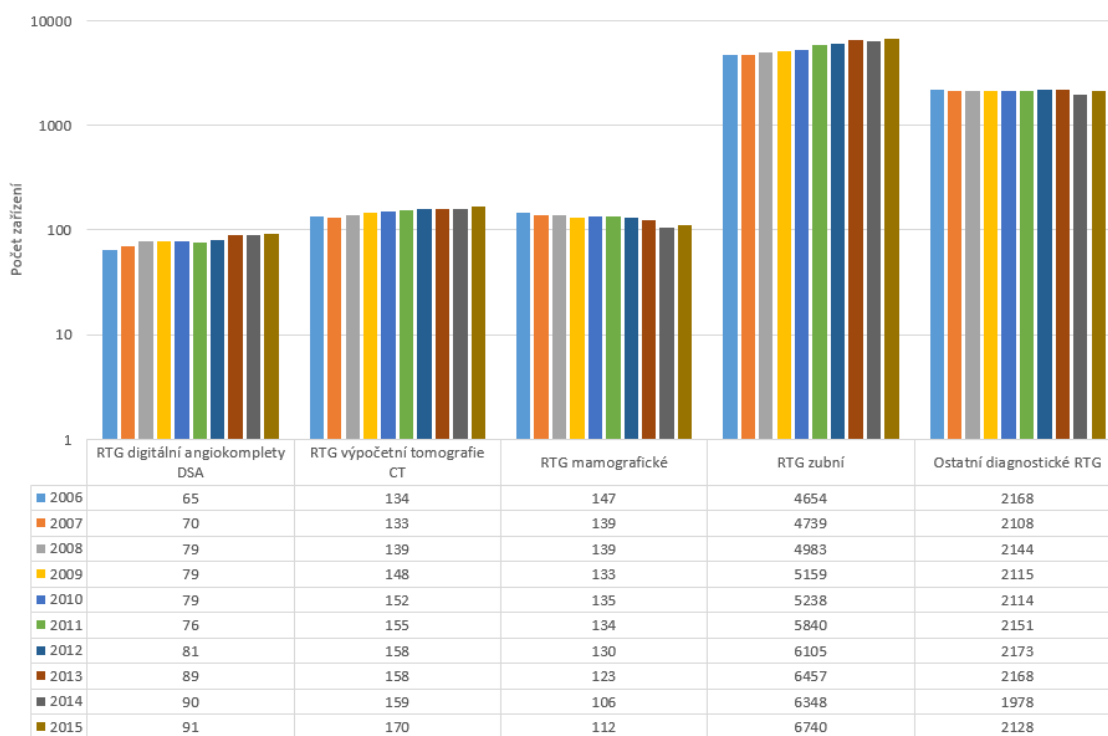
Dalším prvkem, který jsem zkoumal u dat týkajících se zdrojů ionizujícího záření získaných z RZ je jejich vývoj v čase. Zde mám zobrazen vývoj počtu generátorů ve zdravotnictví v letech 2004-2019. Obrázek dále (obr. 18) obsahuje data z ÚZIS ČR, tento obrázek (obr. 18) slouží k případnému srovnání časového vývoje generátorů mezi lety 2006-2015.



Obrázek č. 18 Vývoj generátorů ve zdravotnictví v letech 2004-2019

Zdroj: vlastní výzkum

Obrázek č. 18 zobrazuje vývoj počtu zdrojů ionizujícího záření kategorizovaných podle RZ jako generátor. Do této kategorie spadají zdroje jako RTG zařízení skiagrafické, skiaskopické, mamografické, CT a zubní RTG. Kromě mamografického rentgenu, u kterého je pozorovatelný klesající trend do roku 2012, a od roku 2013 se jejich počet stabilizoval, u zbylých generátorů je vidět pozvolný rostoucí trend vývoje v čase. Největší nárůst je pozorovatelný u zubních RTG, kdy za posledních 15 let se jejich počet více než zdvojnásobil. To samé je patrné i u CT zařízení, kdy je v posledních 15 letech zřejmý jejich strmý nárůst. U skiagrafických a skiaskopických rentgenů je jejich nárůst pozvolnější.

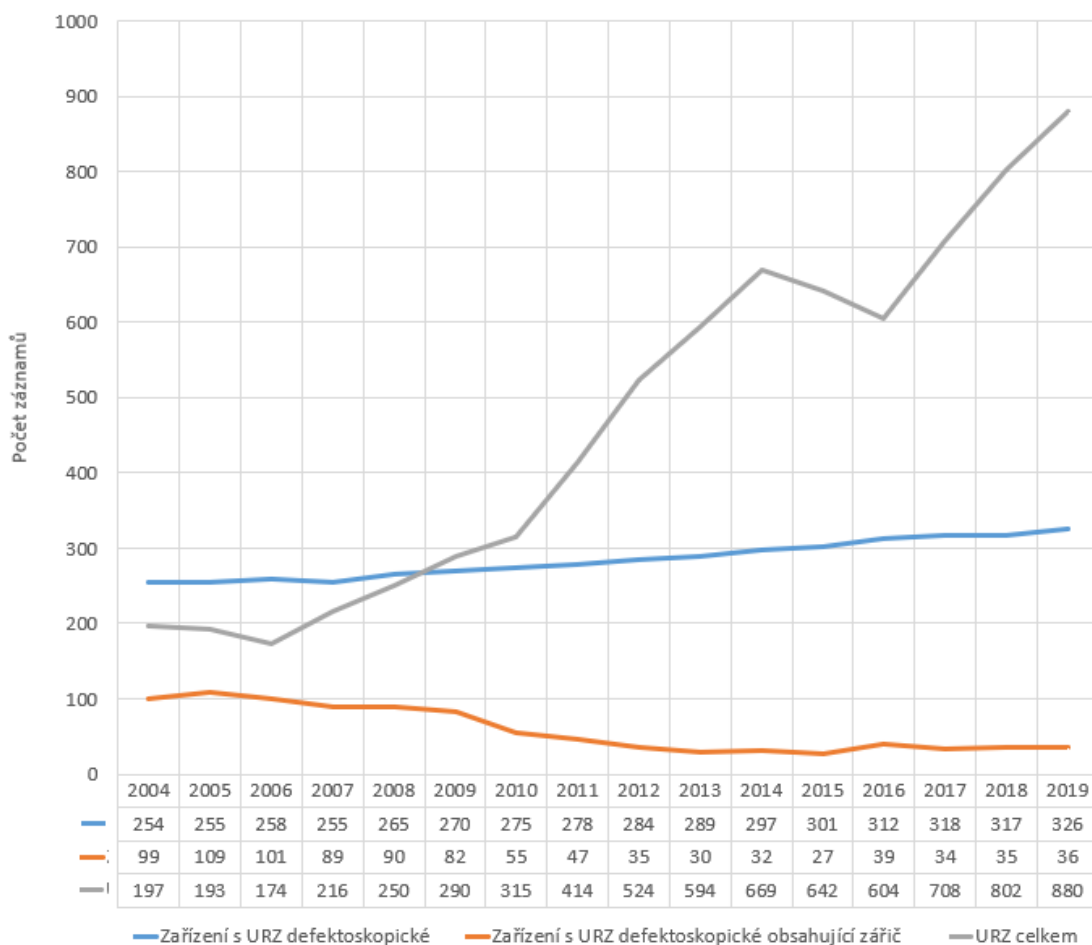


Obrázek č. 19 Vývoj generátorů ve zdravotnictví podle dat ÚZIS ČR v letech 2006-2015

Zdroj: vlastní výzkum

Obrázek č. 19 ukazuje rozdělení zdrojů ionizujícího záření, které se využívají ve zdravotnictví, podle dat ÚZIS ČR, a jejich vývoj mezi lety 2006-2015. Pokud chceme data z tohoto obrázku (obr. 19) porovnávat s daty z obrázku výše (obr. 18) zjistíme, že porovnatelné skupiny generátorů jsou RTG zubní, RTG mamografické a CT zařízení. Za předpokladu, že ostatní diagnostické RTG jsou RTG zařízení skiografické spolu se skiaskopickými, je možné porovnat i tuto skupinu. V přímém porovnání však zjistíme, že počty zdrojů se mírně liší. Tyto drobné početní rozdíly lze přisuzovat odlišnému způsobu sběru dat. Registr zdrojů také může mít neaktuální informace o statusu zdroje, zejména pokud není daný zdroj používán a tuto informaci držitel zdroje nepředá neprodleně SÚJB, může být v RZ nesprávně veden. Příčin rozdílu může být daleko více, ale tyto rozdíly jsou v řádu procent. Trendy nárůstu či ubytku zdrojů jsou však stejné.

Dále se v této práci zaměřím na zdroje používané v průmyslu, konkrétně defektoskopických a karotážních zdrojů, a průmyslových měřidel. Následující obrázky (obr. 20 a obr. 21) se zabývají vybranými zařízeními s URZ a samotných URZ, podle kategorizace RZ.

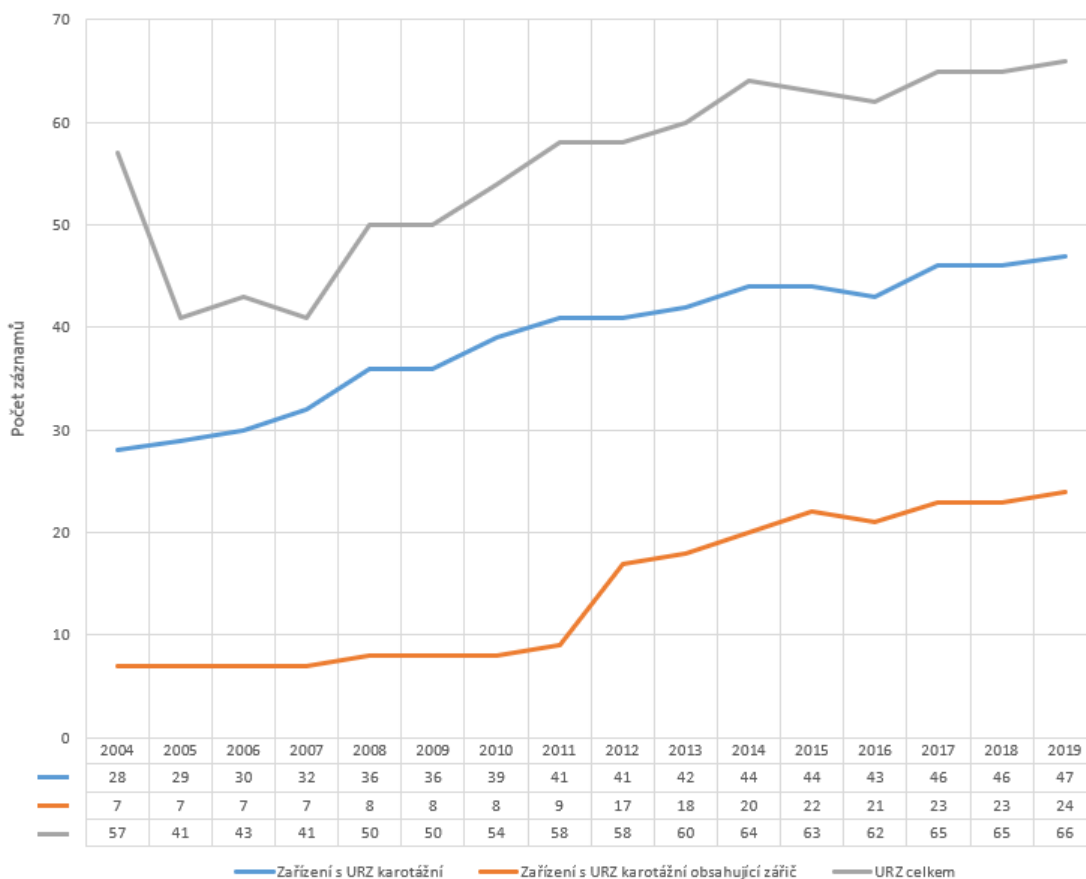


Obrázek č. 20 Vývoj defektoskopických URZ a zařízení s URZ v letech 2004-2019

Zdroj: vlastní výzkum

Na tomto obrázku (obr. 20) pozorujeme vývoj počtu zařízení s URZ, samotných URZ a zařízení obsahující aktivní URZ v čase používajících se v defektoskopii mezi lety 2004-2019. Tento obrázek (obr. 20) zobrazuje stoupající trend vývoje počtu defektoskopických zařízení celkem, ale klesající trend u defektoskopických zařízení obsahující zářič. Z toho je patrné, že defektoskopické zařízení bez URZ si subjekty zřejmě ponechávají a nelikvidují, neboť zařízení bez URZ není zdrojem ionizujícího záření a mohou jej skladovat bez omezení. Dále na obrázku (obr. 20) je vidět, že od roku 2010 nastal strmý růst celkového počtu defektoskopických URZ, který přestal v letech 2014-2016 a následně se tento strmý růst vrátil. Zarážející je propastný rozdíl mezi celkovým počtem URZ a těch, které jsou obsaženy v zařízeních. To je způsobeno zejména rychlým poločasem přeměny radionuklidů používaných v defektoskopii. Tyto zdroje se musí relativně rychle obměňovat a tato obměna nemusí být zaznamenána v reálném čase v RZ,

případně si daný zdroj mohou subjekty ponechávat až jeden rok, než jej předají k likvidaci (např. z důvodu ještě většího poklesu aktivity před likvidací). Tomu odpovídá i počet URZ, které mají aktivitu pod 1 Ci (37 GBq), což je aktivita, se kterou již není možné defektoskopii ve většině případů provádět. Těch v roce 2019 bylo 694 z celkového počtu 880.



Obrázek č. 21 Vývoj karotážních URZ a zařízení s URZ v letech 2004-2019

Zdroj: vlastní výzkum

Obrázek č. 21 zobrazuje vývoj počtu zdrojů ionizujícího záření kategorizovaných podle RZ jako zařízení s URZ karotážní, URZ samotné a URZ obsažené v těchto zařízeních. Na tomto obrázku (obr. 21) můžeme pozorovat stoupající trend u všech sledovaných křivek. Stoupá počet zařízení s URZ karotážní, zároveň stoupá počet URZ a počet zařízení, které obsahují zářič. Počet zařízení, které neobsahují zářič a jsou nepoužívané, je přibližně konstantní. To je zejména způsobeno jak malým počtem těchto zařízení, tak dlouhým poločasem rozpadu radionuklidu použitého v těchto zařízeních, kdy není nutná pravidelná obměna.

5 DISKUZE

Cílem mé bakalářské práce bylo na základě dozimetrických dat analyzovat skupiny radiačních pracovníků s nejvyššími dávkami a udělat časové trendy.

Dozimetrická data získaná z Centrálního registru profesionálních ozáření Státního úřadu pro jadernou bezpečnost jsou rozdělena do sedmi oborů. Těmito obory jsou defektoskopie, karotáž, práce s radioizotopy, uranový průmysl, jaderný průmysl, zdravotnictví a specializovaní pracovníci a ostatní. Pro tyto obory jsem vytvořil grafy (obr. 2 a obr. 3), které zobrazují vývoj počtu pracovníků a jejich průměrné efektivní dávky v letech 2005-2019. Z grafu ukazujícího počet radiačních pracovníků (obr. 2) je zřejmé, že počet pracovníků v profesích jako je defektoskopie, práce s radioizotopy a ostatní v letech mírně klesá. V profesích jako je karotáž a uranový průmysl se počet pracovníků snížil téměř na polovinu. Naopak obory, jako zdravotnictví a jaderný průmysl, mají vzrůstající trend v počtu pracovníků. Graf ukazující průměrné dávky (obr. 3) zobrazuje klesající průměrné efektivní dávky v čase v profesích, jako je karotáž, práce s radioizotopy, uranový průmysl, jaderný průmysl a ostatní. Ve zdravotnictví a defektoskopii se dávky v čase pohybují s občasnými výkyvy na konstantní úrovni. V žádné z těchto profesí není vzrůstající trend průměrné efektivní dávky v letech, což značí stále se zlepšující úroveň radiační ochrany. Z grafu dávkové distribuce v letech 2005-2019 (obr. 4) je patrné, že v oblasti nízkých dávek pod 0,1 mSv dochází ke zvyšujícímu se počtu radiačních pracovníků v letech. Toto značí, že stále více radiačních pracovníků má roční efektivní dávky pod úroveň 0,1 mSv. Naopak v oblasti vyšších dávek nad 10 mSv dochází postupně ke snižování počtu radiačních pracovníků, což opět značí zvyšující se úroveň radiační ochrany. Další graf (obr. 5) zobrazuje vývoj počtu radiačních pracovníků s nadlimitní osobní dávkou v letech 2005-2019. Zatímco v roce 2006 tento počet byl 44 radiačních pracovníků, v posledních třech letech to nebyl žádný nebo pouze jeden radiační pracovník. Na obrázku č. 6 je vidět, že téměř všichni tito pracovníci byli z uranového průmyslu, neboť dávky pracovníků pracujících v podpovrchovém uranovém dole jsou vysoké. Tento prudký pokles je jednak dán postupně se zvyšující úrovní radiační ochrany, a zároveň útlumem těžby v uranovém průmyslu, který vedl v roce 2017 k úplnému uzavření jediného podpovrchového uranového dolu v Čechách.

Dále jsem se detailněji zabýval jednotlivými obory ve zdravotnictví a průmyslu. Nejprve jsem se zaměřil na obory ve zdravotnictví, jako jsou radiodiagnostika, radioterapie,

nukleární medicína, intervenční radiologie a kardiologie a ostatní. Toto rozdělení je vidět na obrázku č. 7, ze kterého je zřejmé, že nejvíce radiačních pracovníků v roce 2019 bylo v oboru radiodiagnostika (70 %). Ve zbylých profesích je zastoupení pouze v jednotkách procent. Na dalším obrázku (obr. 8) jsou zobrazeny kolektivní efektivní dávky ve zmíněných zdravotnických profesích v roce 2019. Oborem s největší kolektivní efektivní dávkou pracovníků je radiodiagnostika, což odpovídá největšímu zastoupení počtu radiačních pracovníků tohoto oboru ve zdravotnictví. Dále je zde patrná vysoká kolektivní efektivní dávka pracovníků v oboru intervenční radiologie a kardiologie, který je ale početně zastoupen pouze 6 % pracovníků ve zdravotnictví. Z toho je zřejmé, což potvrzuje i obrázek č. 9, že tato profesní skupina bude mít nejvyšší průměrné efektivní dávky. Z obrázku č. 9 je dále vidět, že průměrná efektivní dávka v roce 2019 v oboru radiodiagnostika, nukleární medicína a ostatních nezařazených profesí se pohybuje okolo 0,4 mSv. Pouze obor radioterapie se pohybuje v průměrných dávkách pod 0,1 mSv. Jelikož nejvyšších průměrných efektivních dávek je dosahováno v oborech intervenční radiologie a kardiologie, zaměřil jsem se dále na radiační pracovníky v těchto profesích a konkrétně pak na lékaře praktikující intervenční zákroky. Z obrázku č. 10 vidíme, jak se měnil počet radiačních pracovníků a jejich dávky v letech 2005-2019. Je zřejmý postupný nárůst počtu radiačních pracovníků a tím i průměrných dávek. Ty však v posledních pěti letech výrazně klesly, a to z průměrné dávky 3,33 mSv v roce 2014 na průměrnou dávku 1,81 mSv v roce 2019. Tento pokles byl zaznamenán zejména mezi roky 2014-2016 a dále se pak ustálil na konstantní úrovni. To poukazuje na zlepšení radiační ochrany v posledních letech právě v této profesi. Jelikož nejvyšší osobní dávky obdrží lékaři provádějící intervenční výkony, zaměřil jsem se v obrázku č. 11 právě na ně. Z tohoto obrázku (obr. 11) je zřejmý zásadní vliv dávek lékařů na průměrné dávky všech pracovníků v tomto oboru. Trend průměrných dávek lékařů v jednotlivých letech je totožný s trendem průměrných dávek všech pracovníků. Z obrázku č. 11 je dále patrné, že průměrné dávky lékařů se pohybují v posledních letech okolo 3 mSv, ale nejsou výjimkou roky, kdy dávka přesahovala 7 mSv. Na obou těchto obrázcích (obr. 10 a obr. 11) jsou dávky zobrazeny bez případného přepočítání vlivu stínící zástěry po překročení limitu 20 mSv. Jak již bylo řečeno dříve, v průmyslu patří mezi oblasti s nejvyššími průměrnými dávkami defektoskopie, karotáž a uranový průmysl. Z obrázku č. 12 je zřejmé, že v oblasti defektoskopie nedochází k výraznějším změnám v počtu pracovníků či průměrných dávkách v letech 2005-2019. Z dalšího obrázku (obr. 13) již ale můžeme pozorovat pokles počtu radiačních pracovníků v oblasti karotáže a zároveň snížení

průměrných efektivních dávek v letech 2005-2019. Na obrázku č. 14 je vidět vysoký počet radiačních pracovníků (mezi 600 až 830 pracovníky) v letech 2005-2016. S tím koresponduje i průměrná efektivní dávka, pohybující se mezi 4 až 6,4 mSv. Jak již bylo zmíněno, z důvodu uzavření podpovrchového uranového dolu v roce 2017, došlo k úbytku radiačních pracovníků na hodnotu kolem 350 a průměrné dávky se snížily na hodnotu okolo 2 mSv.

Dalším cílem mé práce bylo podrobně analyzovat počty zdrojů ionizujícího záření v jednotlivých oblastech zdravotnictví a průmyslu v čase. Pro tyto potřeby mi posloužil Registr zdrojů Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a data dostupná z Ústavu zdravotnických informací a statistik ČR.

Přehled počtu generátorů, zařízení s URZ a jednotlivých URZ za rok 2019 ve zdravotnictví a v průmyslu vedených v Registru zdrojů, jsou zobrazeny na obrázcích č. 15., č. 16 a č. 17. Mezi nejpočetnější zdroje ionizujícího záření patří zubní RTG přístroje, průmyslová měřidla a defektoskopické zdroje. Vývoj počtu generátorů ve zdravotnictví pro jednotlivé obory v letech 2004-2019 je zobrazen na obrázku č. 18. Z něho je zřejmé, že mimo mamografických RTG došlo k postupnému nárůstu všech ostatních generátorů. Největší nárůst je u zubních RTG, kdy v roce 2004 bylo 4449 těchto generátorů a ke konci roku 2019 již 9760. To je způsobeno nutností registrace zubního lékaře pouze se zubním rentgenem. Počty těchto generátorů použitých ve zdravotnictví podle dat ÚZIS ČR mezi roky 2006-2015 jsem zobrazil v obrázku č. 19. Z něho je patrné i přes rozdílné členění totožný trend nárůstu počtu generátorů ve zdravotnictví, mimo mamografických RTG, jako na předchozím obrázku (obr. 18). Na tomto obrázku (obr. 19) je pouze stabilní počet ostatních diagnostických RTG, to ale nelze porovnat s výstupy z Registru zdrojů. Jelikož jedny z nejvyšších osobních dávek v průmyslu jsou v defektoskopii, zaměřil jsem se s v obrázku č. 20 na zdroje používané v tomto odvětví. Z tohoto obrázku (obr. 20) je vidět, jak zvyšující se počet URZ používaných v defektoskopii, tak zařízení, které jsou určeny pro defektoskopii, ale neobsahují zářič. Postupný pokles je však zřejmý u zařízení obsahující URZ mezi roky 2004-2015. Od roku 2016 je počet těchto zařízení obsahující URZ stabilní. Propastný rozdíl mezi počtem URZ a URZ, které jsou obsaženy v zařízeních je dán rychlým poločasem přeměny radionuklidů, a tím i rychlé obměny těchto zdrojů. Tato obměna nemusí být zaznamenána v reálném čase v Registru zdrojů, případně si daný zdroj můžou subjekty ponechávat až 1 rok, než jej předají k likvidaci. Dalším oborem s vysokými dávkami je karotáž, proto je na obrázku č. 21 zobrazen vývoj počtu URZ, zařízeních určených ke karotáži, které neobsahují zářič a zařízení s URZ. Na

tomto obrázku (obr. 21) je vidět zvyšující se počet zdrojů, a to jak URZ, tak zařízení s URZ. Tyto počty zařízení neobsahujících zářič je přibližně konstantní. To je způsobeno jak malým počtem těchto URZ, tak dlouhým poločasem rozpadu radionuklidů použitých v těchto zařízeních, a tím i dlouhé doby použitelnosti těchto URZ.

6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat skupiny radiačních pracovníků s nejvyššími dávkami. Vytvořit časové trendy dávek těchto radiačních pracovníků v letech 2005-2019. Dále vytvořit přehled počtu zdrojů ionizujícího záření v čase. Porovnat typy zdrojů v jednotlivých oblastech a jejich vývoj v čase.

Práce byla zpracována na základě dozimetrických dat Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Počet zdrojů ionizujícího záření byl čerpán z Registru zdrojů Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a z dat ÚZIS ČR. Grafy zobrazené v praktické části práce ukazují časové trendy ve vývoji počtu pracovníků v jednotlivých profesích, jejich průměrné a kolektivní efektivní dávky. Dále pak počet zdrojů v jednotlivých oblastech a jejich vývoj v čase.

První výzkumnou otázkou bylo, zda patří mezi nejvíce exponované oblasti stále průmyslová defektoskopie spolu s intervenční radiologií a kardiologií. Analýzou získaných dat jsem zjistil, že v posledních letech jsou průměrné dávky v defektoskopii přibližně srovnatelné nebo vyšší než v oblasti karotáže, což ale neplatilo před rokem 2014, kdy dávky pracovníků v oblasti karotáže byly ještě vyšší. Lze tedy říci, že dávky v oblasti průmyslové defektoskopie patří spolu s karotáží a uranovým průmyslem stále mezi nejvyšší v průmyslu. Co se týče intervenční radiologie a kardiologie, pak průměrné dávky v tomto oboru patří dlouhodobě mezi nejvyšší ve zdravotnictví. Průměrné dávky lékařů provádějících intervenční zákroky se běžně blíží hranice limitu radiačních pracovníků.

Druhá výzkumná otázka se týkala počtu zdrojů v jednotlivých oblastech. Za úkol bylo porovnat typy zdrojů a zjistit jejich vývoj v čase. Zaměřil jsem se a generátory používané ve zdravotnictví a zářiče používané v defektoskopii a karotáží. Z analyzovaných dat jsem zjistil, že počet generátorů ve zdravotnictví, až na mamografické RTG, roste. Nárůst je zaznamenán i v počtu zdrojů v defektoskopii a karotáží. V defektoskopii však tento nárůst je způsoben kumulováním zdrojů ionizujícího záření u jejich držitelů, případně v Registru zdrojů před jejich likvidací. Pokud bychom se zaměřili pouze na defektoskopická zařízení obsahující radionuklid, pak dochází v letech k jejich postupnému ubývání. Lze tedy obecně říci, že zdroje ionizujícího záření, ať už generátory, nebo URZ, postupně přibývají.

Vzhledem k těmto závěrům, kdy bylo ukázáno, že dochází jak ke zvyšování počtu zdrojů, tak k nárůstu radiačních pracovníků, a zároveň ke snižování průměrné efektivní dávky, lze konstatovat, že radiační ochrana má vzestupnou tendenci ve všech zkoumaných oblastech.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KUNA, P. a NAVRÁTIL, L. 2005. *Klinická radiobiologie*. Praha: Manus. 222 s. ISBN 80-86571-09-2.
- [2] MATOUŠEK, J., ÖSTERREICHER, J. a LINHART, P. 2007. *CBRN: jaderné zbraně a radiologické materiály*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. ISBN 978-80-7385-029-6.
- [3] SÚKUPOVÁ, L., 2018. *Radiační ochrana při rentgenových výkonech-to nejdůležitější pro praxi*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0709-4.
- [4] KLENER, V., 2000. *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Azin CZ. 627 s. ISBN 80-238-3703-6.
- [5] HAVRÁNKOVÁ, R., FREITINGER SKALICKÁ, Z., HAVRÁNEK, J., ZÖLZER, F., a KUNA, P. 2018. *Základy radiobiologie*. České Budějovice: ZSF JU. 77 s. ISBN 978-80-7394-696-8.
- [6] FREITINGER – SKALICKÁ, Z., HALAŠKA, J., HAVRÁNKOVÁ, R., KUBEŠ, J., NAVRÁTIL, L., NAVRÁTIL, V., SABOL, J., SIROVÝ, L., ZÖLZER F., 2010. *Radiobiologie* [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>
- [7] SÚJB, 2020a. *Úvod*, [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/o-sujb/uvod/>
- [8] SÚJB, 2020b *Informační systémy vedené na SÚJB*, [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/informacni-systemy-vedene-na-sujb/>
- [9] SÚRO, 2020. *Přírodní radioaktivita a problematika radonu*, [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz>
- [10] Fyzika v moderním lékařství, 2017. *Nepřímo ionizující záření* [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <http://cz7asm.wz.cz/fyz/index.php?page=nepioza>

- [11] Skupina ČEZ, ©2020. *Fyzikální principy* [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/k21.htm>
- [12] ULLMANN, V. 2002. *Základní způsoby ochrany před zářením: Radiační ochrana*. [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm#4>
- [13] Encyklopedie fyziky, ©2020. *Rentgenové záření* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/540-rentgenove-zareni>
- [14] ŠVEC, J., 2005. *Radioaktivita a ionizující záření*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. 36 s. ISBN 80-86634-62-0.
- [15] Atominfo, 2012. *Sievert, becquerel, rentgen....Jak měříme radioaktivitu* [online], 2012. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://atominfo.cz/2012/05/sievert-becquerel-rentgen-jak-merime-radioaktivitu/>
- [16] HÁLA, J., 1998. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*. Brno: Konvoj. 331 s. ISBN 80-856-1556-8.
- [17] HUŠÁK, V., 2009. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.
- [18] SINGER, J., 2005. *Dozimetrie ionizujícího záření*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta. ISBN 80-7040-752-2.
- [19] HEŘMANSKÁ, J., SINGER, J., 2004. *Principy radiační ochrany*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta. 111 s. ISBN 80-7040-708-5.
- [20] ROZLÍVKA, Z., *Radiační ochrana na pracovištích s diagnostickými rentgeny ve zdravotnictví*. Pardubice: Unit, 2005.
- [21] Doporučení SÚJB: 2007. *Požadavky radiační ochrany pro organizace provozující hornickou činnost, která může vést k ozáření pracovníků, obyvatel nebo životního prostředí*, Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/28-dozimetrie_zevni_2007.pdf

- [22] LEŠTINA, Š., 2007. *Dozimetrie ionizujícího záření* [online]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <http://www.lestinas.webzdarma.cz/dozimetrie.htm>
- [23] PEJCHAL, J., ŠINKOROVÁ, Z., TICHÝ, A., VÁVROVÁ, J. a ZÁRYBNICKÁ, L. 2013. *Biofyzika pro záchranáře 1.díl*. Brno: Univerzita obrany. ISBN 9788072313525.
- [24] PODGORSÁK, E.B., 2005. *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. Vienna: IAEA. 657 s. ISBN 92-0-107304-6.
- [25] KUPKA, K., et al., 2007. *Nukleární medicína: [učební text]*. Praha: P3K. ISBN 978-80-903584-9-2.
- [26] Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: Sbíрка zákonů České republiky, [online]. [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>
- [27] Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon. In: Sbíрка zákonů České republiky, částka 102, s. 3938–4060. ISSN 1211-1244. [online]. [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>
- [28] ICRP PUBLICATION 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann. ICRP 2007. [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_37_2-4
- [29] SEIDL, Z. 2012. *Radiologie pro studium i praxi*. 1. Praha: Grada. 368 s. ISBN 978-80-247-4108-6.
- [30] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes: *Sources and effects of ionizing radiation*. [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR_2000_Report_Vol.I.pdf

[31] Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR: Institute of Health Information and Statistics of the Czech Republic. *ÚZIS ČR* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.uzis.cz/index.php?pg=o-nas>

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1 Přehled počtu radiačních pracovníků, jejich kolektivní a průměrné osobní dávky za rok 2019.	35
Obrázek č. 2 Počty radiačních pracovníků v jednotlivých profesích v letech 2005-2019	36
Obrázek č. 3 Průměrná efektivní dávka pro jednotlivé profese v letech 2005-2019	37
Obrázek č. 4 Dávková distribuce v letech 2005-2019.....	38
Obrázek č. 5 Počet pracovníků s nadlimitní osobní dávkou 20 mSv v letech 2005-2019.	39
Obrázek č. 6 Počet pracovníků s nadlimitní dávkou 20 mSv v letech 2005-2019 pro jednotlivé profese	40
Obrázek č. 7 Procentuální zastoupení radiačních pracovníků ve zdravotnictví v roce 2019.	41
Obrázek č. 8 Kolektivní dávky radiačních pracovníků ve zdravotnictví v roce 2019. ...	42
Obrázek č. 9 Průměrné dávky radiačních pracovníků ve zdravotnictví v roce 2019.....	43
Obrázek č. 10 Počet radiačních pracovníků v oboru intervenční radiologie a kardiologie, jejich kolektivní a průměrné dávky bez přešetření v letech 2005-2019.....	44
Obrázek č. 11 Počet lékařů v intervenční radiologii a kardiologii, jejich kolektivní dávky a průměrné dávky bez přešetření v letech 2005-2019.....	45
Obrázek č. 12 Přehled počtu radiačních pracovníků v defektoskopii v letech 2005-2019 a jejich kolektivní a průměrné dávky.	46
Obrázek č. 13 Přehled počtu radiačních pracovníků provádějících karotáž v letech 2005-2019 a jejich kolektivní a průměrné dávky.....	47
Obrázek č. 14 Přehled počtu radiačních pracovníků v uranovém průmyslu mezi lety 2005-2019 a jejich kolektivní a průměrné dávky.....	48
Obrázek č. 15 Přehled počtu generátorů ionizujícího záření ve zdravotnictví za rok 2019.	49
Obrázek č. 16 Přehled počtu zařízení s URZ v průmyslu za rok 2019.	50
Obrázek č. 17 Přehled počtu URZ v průmyslu za rok 2019.....	51
Obrázek č. 18 Vývoj generátorů ve zdravotnictví v letech 2004-2019.....	52
Obrázek č. 19 Vývoj generátorů ve zdravotnictví podle dat ÚZIS ČR v letech 2006-2015	53
Obrázek č. 20 Vývoj defektoskopických URZ a zařízení s URZ v letech 2004-2019 ...	54

Obrázek č. 21 Vývoj karotážních URZ a zařízení s URZ v letech 2004-2019.....55

9 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Přehled radiačních pracovníků za rok 2019	34
---	----

10 SEZNAM ZKRATEK

SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

ÚZIS ČR - Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR

REA – Registr externích adres

CRPO – Centrální registr profesionálního ozáření

RZ – Registr zdrojů

RZH – Registr rozhodnutí

REK – Registr kontrol

RO – Radiační ochrana

TLD – Termoluminiscenční dozimetr

PLD – Fotoluminiscenční dozimetr

OSL – Opticky stimulovaná luminiscence

URZ – Uzavřený radionuklidový zdroj

RTG – Rentgen