

Univerzita Pardubice

Fakulta zdravotnických studií

RADIAČNÍ ZÁTĚŽ VE ZDRAVOTNICTVÍ

Lenka Berná

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lenka Berná**
Osobní číslo: **Z12045**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Zdravotnický záchranář**
Název tématu: **Radiační zátěž ve zdravotnictví**
Zadávací katedra: **Katedra klinických oborů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Studium literatury, sběr informací a popis současného stavu řešené problematiky.
2. Stanovení cílů a metodiky práce.
3. Příprava a realizace výzkumného šetření dle stanovené metodiky.
4. Analýza a interpretace získaných dat.
5. Zhodnocení výsledků práce.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. ČESKO. Zákon č. 263/2016 ze dne 14. července 2016 Atomový zákon. In: Sbíрка zákonů České republiky. 2016, částka 102, s. 3938-4060. Dostupné také z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/263-2016.pdf>.
2. BENEŠ, Jiří, Jaroslava KYMPLOVÁ a František VÍTEK. Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi. 1. vyd. Praha: Grada, 2015, 228 s. ISBN 978-80-247-4712-5.
3. HUŠÁK, Václav. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.
4. NEKULA, Josef. Klinická radiologie: skriptum. 1. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2014, 263 s. ISBN 978-80-7464-564-8.
5. ULLMAN, Vojtěch. Jaderná a radiační fyzika. 1. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita, 2009, 173 s. ISBN 978-80-7368-669-7.

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Lenka Zárybnická, Ph.D.

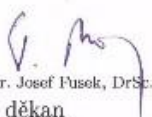
Univerzita obrany Hradec Králové

Datum zadání bakalářské práce:

1. prosince 2015

Termín odevzdání bakalářské práce:

9. května 2017


prof. MUDr. Josef Fusek, DrSc.
děkan

L.S.


Mgr. Jan Pospíchal
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 16. března 2017

Prohlášení autora

Prohlašuji: Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 9. května 2017

Lenka Berná

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí bakalářské práce mjr. Mgr. Lence Zárybnické, Ph.D. za pozornost, trpělivost, cenné rady, ochotu a metodické vedení, které mé práci věnovala.

ANOTACE

Bakalářská práce zabývající se tématem radiační zátěže ve zdravotnictví je koncipována na dva hlavní celky.

První část je teoretická, zpracována převážně z historického hlediska od konce 19. století po současnost. Zabývá se počátky objevu radiace a využitím ionizujícího záření v praxi. S ohledem na biologické účinky ionizujícího záření na člověka se tato práce zabývá rozvojem radiační ochrany ve zdravotnictví, a to jak z pohledu zdravotnického personálu, tak běžného obyvatelstva, tedy pacientů.

Druhá část je výzkumná a přináší výsledky dotazníkového šetření, které bylo zaměřeno na všeobecné znalosti týkající se radiace a ionizujícího záření ve zdravotnictví. Respondenty tohoto výzkumu tvořila široká veřejnost.

KLÍČOVÁ SLOVA

radiační zátěž, radiační ochrana, dávkové limity, ionizující záření

TITLE

Radiation burden in health care system

ANNOTATION

Bachelor thesis is focusing on the burden of radiation in health care system. It is divided into two main parts.

First theoretical part maps the understanding of radiation since the end of the 19th century to present time. It describes the discovery of radiation and utilization of ionizing radiation in practice. With respect to biological effects of ionizing radiation on a human body, this thesis focuses on a development of radiation protection within health care system from the perspective of medical personal as well as ordinary citizen (e.g. patient).

Second research part comprises of results of the survey, which was focused on overall knowledge concerning radiation and ionizing radiation within health care system. Subjects of this research were selected randomly from general public.

KEYWORDS

burden of radiation, protection of radiation, dose limits, ionizing radiation

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	10
SEZNAM ZKRATEK	12
ÚVOD.....	13
CÍL PRÁCE	14
I. TEORETICKÁ ČÁST.....	15
1. VÝZNAMNÉ OBJEVY A OSOBNOSTI.....	15
1.1 Objev elektronu a rentgenového záření	15
1.2 Objev radioaktivity	17
2. ROZVOJ VYUŽITÍ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ VE ZDRAVOTNICTVÍ.....	20
3. METODY VYUŽÍVANÉ VE ZDRAVOTNICTVÍ.....	22
3.1 Historicky využívané metody	22
3.2 Metody používané v současnosti	23
3.2.1. Radiodiagnostické metody.....	23
3.2.2 Radioterapeutické metody používané v dnešní době.....	25
4. ZDRAVOTNÍ RIZIKA IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ	26
4.1 Biologické účinky ionizujícího záření	28
4.2 Historicky doložené případy výskytu zdravotních komplikací v souvislosti s cíleným využíváním IZ.....	28
5. RADIAČNÍ OCHRANA	30
5.1 Historie radiační ochrany ve světě.....	30
5.2 Historie radiační ochrany v ČR	32
5.3 Cíl radiační ochrany.....	32
6. RADIAČNÍ ZÁTĚŽ VE ZDRAVOTNICTVÍ	33
6.1 Radiační zátěž ve zdravotnictví od roku 1986.....	34
6.2 Efektivní dávky ve zdravotnictví.....	35
7. OCHRANNÉ POSTUPY	38
7.1 Základní principy radiační ochrany	38
7.2 Omezování ozáření ve zvláštním případě	42
7.3 Radiační ochrana pacientů	42
7.4 Radiační ochrana při profesním ozáření	43
8. LEGISLATIVA ZABÝVAJÍCÍ SE RADIAČNÍ OCHRANOU	44
8.1 Směrnice a doporučení EU zabývající se radiační ochranou.....	46

8.2 Atomový zákon.....	46
II. PRAKTICKÁ ČÁST.....	48
9. VÝZKUMNÉ OTÁZKY	48
10. METODIKA	49
11. VÝSLEDKY VÝZKUMU	50
12. DISKUZE	68
ZÁVĚR.....	72
LITERATURA	73
PŘÍLOHY	77

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Graf 1 Relativní podíl ozáření v roce 1986.....	34
Graf 3 Rozdělení dávek obyvatelstva ČR dnes	35
Graf 4 Průměrná efektivní dávka v jednotlivých sektorech	36
Graf 5 Porovnání průměrných ročních efektivních dávek lékařů všech souborů.....	36
Graf 6 Porovnání průměrných ročních efektivních dávek ostatních nelékařských pracovníků	37
Graf 7 Otázka č.1	50
Graf 8 Otázka č. 2.1	51
Graf 9 Otázka č. 2.2	51
Graf 10 Otázka č. 2.3	52
Graf 11 Otázka č. 2.4	52
Graf 12 Otázka č. 3	53
Graf 13 Závislost otázky č. 3 na otázce č. 21.3	53
Graf 14 Otázka č. 4	54
Graf 15 Otázka č. 5	54
Graf 16 Otázka č. 6	55
Graf 17 Otázka č. 7	56
Graf 18 Otázka č.8	56
Graf 19 Otázka č. 9	57
Graf 20 Otázka č. 10	58
Graf 21 Otázka č. 11	59
Graf 22 Otázka č. 12	59
Graf 23 Otázka č. 13	60
Graf 24 Otázka č. 14	61
Graf 25 Otázka č. 15	62
Graf 26 Otázka č. 16	62
Graf 27 Otázka č. 17	63
Graf 28 Otázka č. 18	63
Graf 29 Otázka č. 19	64
Graf 30 Otázka č. 20	65
Graf 31 Otázka č. 21.1	66

Graf 32 Otázka č. 21.2	66
Graf 33 Otázka č. 21.3	67
Graf 34 Otázka č. 21.4	67
Graf 35 Výzkumná otázka č.1	69
Graf 36 Výzkumná otázka č. 2	70
Graf 37 Výzkumná otázka č.3	71
Obrázek 1 Vyjádření pravděpodobnosti stochastických účinků v závislosti na obdržené dávce	26
Obrázek 2 Účinky IZ	27
Obrázek 3 Grafické vyjádření polohy limitů, které znázorňuje vyloučení deterministických účinků (A) a omezení pravděpodobnosti stochastických účinků (B) na přijatelnou úroveň....	33
Obrázek 4 Schématický náčrt rentgenky se stacionární anodou	82
Tabulka 1 Přehled zdrojů IZ	21
Tabulka 2 Porovnání radiační zátěže diagnostických metod.....	38
Tabulka 3 Limity pracovníků a žáků	40
Tabulka 4 Hraniční hodnoty pro poškození tkáně	58
Tabulka 5 Správné x špatné odpovědi na otázku č. 19	64
Tabulka 6 Veličiny a jednotky používané v radiační ochraně.....	80
Tabulka 7 Veličiny dozimetrie ionizujícího záření.....	80
Tabulka 8 Veličiny a jednotky charakterizující zdroj záření.....	81

SEZNAM ZKRATEK

ALARA	As Low As Reasonably Achievable
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
CT	Výpočetní tomografie
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
EUROATOM	The European Atomic Energy Community
CHZ	Centra hygieny záření
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IZ	Ionizující záření
KHS	Krajské hygienicko-epidemiologické stanice
MAAE (IAEA)	International Atomic Energy Agency
NMR	Nukleární magnetická rezonance
PET	Pozitronová emisní tomografie
RMH	Radiační mimořádná havárie
RTG	Rentgen
SPECT	Jednofotonová emisní výpočetní tomografie (Single-Photon Emission Computed Tomography)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚJCHBO	Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany
UZ	Ultrazvuk

ÚVOD

Průlomové vědecké objevy rentgenového záření a radioaktivity na konci 19. století, přinesly velké množství nových poznatků, kterých současná civilizace využívá v mnoha oborech. Tyto objevy a vynálezy na ně navazující velmi výrazně ovlivňují naši společnost pozitivním, ale i negativním způsobem doposud.

Radiační zátěži je každý člověk vystavován prakticky neustále po celou dobu života z přírodních zdrojů. Do této skupiny řadíme záření ze vzduchu, potravin, kosmické záření a záření ze zemské kůry, kde se vyskytují nezanedbatelné koncentrace radioaktivních prvků (např. uran, thorium, radium).

Mezi umělé zdroje ionizujícího záření a oblasti využívající radiaci patří zejména průmysl, energetika a zdravotnictví, kde se získané znalosti uplatňují v diagnostice i terapii pacientů a jsou nepostradatelnou součástí soudobého zdravotnického systému. Od prvotních objevů však bylo využívání ionizujícího záření spojeno s poměrně velkými riziky pro jednotlivce i společnost jako celek. Na základě důkladného výzkumu a zdokonalování metod využívajících ionizující záření byly postupně nastolovány účinné principy a pravidla radiační ochrany, jejichž cílem je zamezení neodůvodněné radiační zátěže zdravotnického personálu i pacientů. Tato pravidla vychází z aktuálního vědění lidstva a z tohoto důvodu jsou neustále průběžně aktualizována.

CÍL PRÁCE

Cílem teoretické části bakalářské práce je zpracování historických objevů radiace a ionizujícího záření, jejich využití ve zdravotnictví a vysvětlení negativních biologických účinků spojených s radiační zátěží. Dalším cílem práce je historicky zdokumentovat radiační zátěž u zdravotnického personálu a pacientů a s tím spojené zavádění pravidel radiační ochrany ve zdravotnictví s ohledem na legislativu České republiky (ČR) a Evropské Unie (EU).

Cílem praktické části bakalářské práce je zjistit všeobecnou informovanost o radiaci a ionizujícím záření mezi respondenty z široké veřejnosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. VÝZNAMNÉ OBJEVY A OSOBNOSTI

Základem využití ionizujícího záření (IZ) v praxi je porozumění jeho fyzikální a chemické podstatě, na jehož základě je lidstvo schopno IZ samo vytvářet a usměrňovat jeho velikost a směr šíření. Vědecké objevy, které daly základ dnešnímu poznání v této oblasti, se datují na přelom 19. a 20. století.

1.1 Objev elektronu a rentgenového záření

Elektron je subatomární částice se záporným elementárním nábojem ($e = -1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$), spolu s dalšími elektrony vytváří kolem jádra atomu elektronový obal.

Objev elektronu se odvíjel od pokusů **J. H. W. Geißlera**¹ a **W. Crookese**² se skleněnou katodovou trubicí s na elektrodách připojeným napětím (vyšším než 1000 V), kteří vypožorovali záření plynu v důsledku jeho zředění v trubici. Crookes předpokládal, že katoda emituje katodové paprsky (katodové záření). Postupně zjistil, že snížením tlaku začne světélkovat kromě plynu také stěna baňky v částech ležících naproti katodě. Dalšími experimenty prokázal přenos energie katodovým zářením, elektrický náboj, a aniž by to cíleně sledoval, zjistil výskyt šmouh na neexponované fotografické desce. (Janeček, Kalus, Hrivňák, 2006, k. 1.3.1), (Ullmann, 2017, k. 3.2)

¹ **Johan Heinrich Wilhelm Geisler** (26. května 1814-24. ledna 1879) byl německý fyzik a vynálezce. Vytvořil skleněnou Geisslerovu (katodovou) trubicí se zatavenými elektrodami (Janeček, Kalus, Hrivňák, 2006, k. 1.3.1)

² **William Crookes** (17. června 1832–4. dubna 1919) byl britský chemik a fyzik, objevil prvek thalium. Vynalezl Crookesův mlýnek – přístroj poháněný jen světelnými paprsky (Janeček, Kalus, Hrivňák, 2006, k. 1.3.1)

V roce 1895 **J. J. Thomson**³ využil všech znalostí a jako první odhalil korpuskulární (částicovou) podstatu katodových paprsků. Zjistil, že tyto paprsky jsou tvořeny velmi lehkými záporně nabitými částicemi neboli elektrony s nábojem, který odpovídá elementárnímu elektrickému náboji. (Janeček, Kalus, Hrivňák, 2006, k. 1.3.1), (Ullmann, 2017, k. 3.2)

Další pokusy s katodovými trubicemi již vedly k objevení rentgenového záření.

Rentgenové záření je elektromagnetické vlnění s vlnovou délkou od $8 \cdot 10^{-8}$ m až do 10^{-12} m. Ve zdravotnictví je vytvářeno uměle pomocí rentgenky nebo lineárního urychlovače. Zde se uplatňuje složka brzdného záření, která vzniká průchodem nabitých částic elektrostatickým polem od okolních atomových jader. V tomto poli dojde k zabrzdění nabité částice (elektronu) a tím k přeměně kinetické (pohybové) energie na energii tepelnou z 99 % a 1 % energii elektromagnetického brzdného záření (odpovídá rentgenovému záření). (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 50)

Objev rentgenového záření se odvíjel od roku 1887, kdy začal **Nikola Tesla**⁴ experimentovat s Crookesovými trubicemi a vytvořil trubici jen s jednou elektrodou. Roku 1892 pozoroval děj, který označil jako zářivou energii. Jednalo se o rychle letící elektrony, které se při dopadu na anodu prudce zbrzdily a jejichž kinetická energie se přeměnila na energii fotonů elektromagnetického záření. Výsledky však nikde nezveřejnil. Dnes je známo, že pozorovaným dějem bylo brzdné záření. (Fyzmatik, 2009)

Následně **Hermann von Helmholtz**⁵ formuloval matematický popis rentgenového záření. (Fyzmatik, 2009)

³ **Sir Joseph John Thomson** (18. prosince 1856–30. srpna 1940) byl anglický experimentální fyzik, za objev elektronu obdržel v roce 1906 Nobelovu cenu za fyziku. (Nobelprize, 2017)

⁴ **Nikola Tesla** (10. července 1856–7. ledna 1943) byl americký vynálezce srbského původu, fyzik a konstruktér elektrických strojů. (ČEZ, 2017)

⁵ **Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz** (31. srpen 1821–8. září 1894) německý fyziolog, lékař, matematik, fyzik, meteorolog a filozof. Práci zasáhl do mnoha oborů přírodních věd, byl nazýván „Říšským kancléřem vědy“. (Kubínek, Kolářová, Holubová, 2009, s. 101)

Od roku 1895 **W. C. Röntgen**⁶ začal provádět a zaznamenávat experimenty s rentgenovým zářením ve vakuové trubici. Napsal předběžnou zprávu „*O novém druhu paprsků*“, se kterou obeznámil Würzburgskou lékařskou společnost. Byl tak prvním, kdo označil rentgenové záření jako "paprsky X". Písmeno X značilo doposud neznámé záření. V mnoha jazycích, např. v češtině, dánštině či němčině se používá označení po Röntgenovi, jenž za své objevy obdržel první Nobelovu cenu za fyziku. (ČEZ, 2017)

1.2 Objev radioaktivity

Radioaktivita je přeměna jader nestabilních nuklidů, ke které dochází samovolně bez dodání energie, v jádra jiná. V případě změny počtu protonů v jádře atomu, dochází i ke změně jednoho prvku v prvek jiný. Při tomto ději vzniká energie, která se uvolňuje do prostředí v podobě elektromagnetického vlnění (rentgenové záření, gama záření apod.) nebo jako proud částic (alfa, beta apod.). (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 10)

Ve zdravotnictví využíváme tzv. umělé radioaktivity vyvolané vnějším zapříčiněním. Dochází k ní u uměle vyrobených radionuklidů, které vznikají ozařováním stabilních nuklidů prostřednictvím neutronů nebo nabitých částic v lineárních urychlovačích. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 10)

K objevení radioaktivity přispěla následující zjištění **H. Becquerela**⁷, když se zabýval výzkumem nerostů, které světélkovaly po osvětlení slunečním světlem. Náhodou ho napadlo ověřit, jestli tyto látky také vyzařují rentgenové paprsky. Položil proto různé vzorky nerostů na fotografické desky zabalené do neprůsvitného tmavého papíru a nechal je několik hodin na slunci. Následně desky vyvolal a hledal, jestli paprsky někde pronikly papírem. Shodou náhod uložil pár neúplně exponovaných vzorků i s deskou do zásuvky s tím, že je před začátkem nového pokusu vyvolá, aby nezakreslil výsledky. Když desky vyndal, pozoroval výrazné zašednutí, způsobené nějakým neviditelným zářením, které proniklo i přes světlotěsný obal

⁶ **Wilhelm Conrad Röntgen** (27. března 1845–10. února 1923) byl německý fyzik. Objevil rentgenové záření, za které dostal jako první v roce 1901 Nobelovu cenu za fyziku. (ČEZ, 2017)

⁷ **Antoine Henri Becquerel** (15. prosince 1852–25. srpna 1908) byl francouzský fyzik, nositel Nobelovy ceny za fyziku v roce 1903 za objev přirozené radioaktivity. (ČEZ, 2017)

fotografických desek. Podařilo se mu tak dokázat, že sloučeniny uranu září i bez aktivování slunečním nebo jiným světlem. Záření označil jako "uranové paprsky". Objev byl vnímán spíše jako vědecká kuriozita, protože jeho prokázání vyžadovalo specifickou surovinu a náročné chemicko-technologické postupy na rozdíl od rentgenových paprsků, lehce potvrditelných standardním středoškolským vybavením. (Ullmann, 2017, k. 1.2)

Na jaře roku 1896 na výzkum navázali manželé **Pierre⁸ a Marie⁹ Curie**, kteří zjistili, že intenzita rentgenového záření je úměrná množství uranu ve zkoumaných vzorcích. Výskyt podobných paprsků objevili i u sloučenin Th¹⁰. Tuto vlastnost prvků pojmenovala Marie Curie jako radioaktivita. (Corpusomne, 2015)

Roku 1898 manželé informovali pařížskou akademii, že z uranové rudy smolince, izolovali silně radioaktivní látku (400krát aktivnější než uran) a nazvali ji Po¹¹. Poté Pierre požádal uranové továrny v Jáchymově o vzorky, které vznikají při výrobě uranových barev. Ve vzorcích objevili výskyt radioaktivního prvku (900krát aktivnějšího než uran), jež nazvali Ra¹². Později bylo zjištěno, že radioaktivní prvky při vysílání záření mění chemickou povahu přeměnou jader atomů jednoho prvku na jiný. (Corpusomne, 2015)

V roce 1899 se uranovým zářením začal zabývat i **E. Rutherford¹³**, který v záření objevil 2 rozdílné složky: **měkkou** – záření alfa s doletem několika cm, kterou zachytí i list papíru a **tvrdší** – záření beta, jež projde i tenkým hliníkovým plechem a je 100krát pronikavější.

⁸ **Pierre Curie** (15. května 1859–19. dubna 1906, Paříž) byl francouzský fyzik a chemik. Roku 1903 obdržel společně se svojí ženou a Henri Becquerelem Nobelovu cenu za fyziku za výzkum přirozené radioaktivity. (ČEZ, 2017)

⁹ **Marie Curie-Sklodovská**, rozená *Maria Salomea Skłodowska* (7. listopadu 1867–4. července 1934) byla významná francouzská vědkyně polského původu. Většinu života strávila ve Francii. Prováděla výzkumy v oblasti fyziky a chemie. (ČEZ, 2017)

¹⁰ **Thorium** je radioaktivní kovový prvek.

¹¹ **Polonium** je nestabilní radioaktivní prvek, patřící mezi kovy.

¹² **Radium** je stříbrobílý radioaktivní kov, rozpadá se na radon (plyn) a vysílá záření alfa a gama, jeho poločas je 1600 let.

¹³ **Ernest Rutherford 1. baron Rutherford z Nelsonu** (30. srpna 1871–19. října 1937) byl novozélandský jaderný vědec, chemik, fyzik a profesor. Zkoumal radioaktivní rozpad chemických prvků, navrhl koncept poločasu rozpadu, rozdělil záření na α , β a γ . (ČEZ, 2017)

Manželé Curieovi a A. Becquerel později zjistili, že paprsky beta mají záporný elektrický náboj. **W. Kaufmann**¹⁴ tento poznatek dále upřesnil tvrzením, že se jedná o proud elektronů. (Ullmann, 2017, k. 1.2)

Roku 1900 **P. Villard**¹⁵ zjistil, že Ra emituje mnohem pronikavější záření, prostupující desítkami cm betonu, charakteru elektromagnetického záření s velmi krátkou vlnovou délkou, které označil jako záření gama. (Ullmann, 2017, k. 1.2)

V období 1903-1908 zkoumal **E. Rutherford** průchod radioaktivního záření v poli silných magnetů. Zjistil, že záření alfa je proud heliových jader a záření gama se v magnetickém poli neodklání. Spolu se spolupracovníky pomocí spektroskopie¹⁶ objevil, že se v uzavřené trubičce se vzorkem Ra (chloridu RaCl_2), objevily dva nové plyny, které tam dříve nebyly. Jednalo se o He ¹⁷ a neznámý plyn, jež byl pojmenován radiová emanace, dnes Rn ¹⁸. Ukázalo se tak, že radioaktivita je samovolný rozpad atomového jádra, při němž se výchozí prvek mění v jiný neboli dochází k transmutaci prvku. (Ullmann, 2017, k. 1.2)

1.3 Významné české osobnosti

Mezi významné české osobnosti v oblasti fyziky zabývající se radioaktivním zářením patřili fyzik **Bohumil Kučera** (1874-1921) a jeho spolupracovník, fyzik a astronom **Bohumil Mašek** (1868-1955), kteří zkoumali např. průchod alfa částic kovovými fóliemi, měřením radioaktivity pražské pitné vody, zářeními beta nebo gama. (Corpusomne, 2015)

¹⁴ **Walter Kaufmann** (5. června 1871–1. ledna 1947) byl německý fyzik. (Ullmann, 2017, k. 1.2)

¹⁵ **Paul Ulrich Villard** (28. září 1860–13. ledna 1934) byl francouzský fyzik. (Ullmann, 2017, k. 1.2)

¹⁶ **Spektroskopie** je metoda založená na interakci elektromagnetického záření se vzorkem.

¹⁷ **Helium** je plyný chemický prvek, patří mezi vzácné plyny a tvořící druhou nejvíce zastoupenou složku vesmírné hmoty.

¹⁸ **Radon** je nejtěžší přirozeně se vyskytující chemický prvek ze skupiny vzácných plynů, je radioaktivní.

Kučera publikoval práce o radioaktivitě, mezi významné patří např.: „Paprsky Röntgenovy a radioaktivita“, „Radioaktivní vlastnosti vody z pražského vodovodu“ nebo článek „O původu radioaktivity“, jež vyšel v přírodovědném časopise Živa roku 1903. (Corpusomne, 2015)

7.ledna 1896 byla zveřejněna první zpráva o rentgenových paprscích. Články pocházely z Národních listů, Národní politiky a z německé Bohemie. Brzy na to proběhl ověřovací výzkum na všech 4 pražských vysokých školách. Výzkum byl proveden na Fyzikálním ústavu české univerzity profesorem **Čeňkem Strouhalem** s asistenty fyzikem **Vladimírem Novákem** a fyzikálním chemikem **Otakarem Šulcem**, na české technice profesorem elektrotechniky **Karlem Domalípem** a soukromým docentem technické chemie **Karlem Kruisem**. Na německých vysokých školách se zářením experimentovali fyzikové **Josef Geitler** a **Ivan Puluj**. (Corpusomne, 2015)

Do vysokoškolských osnov byla radioaktivita začleněna dokonce o 6 let dříve než rentgenové paprsky. Roku 1908 začal o radioaktivitě přednášet **Viktor Rothmund** (1870-1927) na filozofické fakultě německé Karlo-Ferdinandově univerzitě, na české filozofické fakultě až roku 1911 **Bohumil Kučera**. Přednášky o rentgenových paprscích zařadil roku 1914 **František Závíška** (1879-1945). (Corpusomne, 2015)

2. ROZVOJ VYUŽITÍ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ VE ZDRAVOTNICTVÍ

Ionizující záření je takové záření (přenos energie), které při interakci s látkou vyvolává ionizaci v atomech této látky. V důsledku ionizace vznikají uvolněním elektronů z elektronového obalu kladně nabitě ionty.

Druh záření	Korpuskulární (částicové)	Elektromagnetické (vlnové)
Přímo ionizující	Elektrony	
	Protony	
	Částice alfa	
	Těžké ionty	
	Deuterony	
Nepřímo ionizující	Neutrony	Fotony rentgenového záření Fotony záření gama

Tabulka 1 Přehled zdrojů IZ (Hušák, 2009, s. 13)

Následující řádky zachycují historicky významné mezníky, které stály na počátku a přispěly k rozvoji diagnostiky a terapie ve zdravotnictví.

1895 - profesor **W. C. Röntgen** objevil neznámé paprsky X

1896 - zkoumání biologických účinků rentgenového záření a snaha o léčbu zhoubných nádorů **Leopold Freund** (1868-1943), sekundární lékař ve Vídeňské všeobecné nemocnici použil jako první rentgenové paprsky pro terapeutické účely

1897 - vznikl první průmyslově vyráběný rentgen a bylo provedeno první vyšetření srdce

1899 - švédský rentgenolog **Tage Sjögren** uvedl Lékařské společnosti ve Stockholmu první případ pacientky s vyléčeným nádorem na nosu

1901 - objevena radioaktivita **H. Becquerem** a Ra manžely **Curieovými**, což přineslo možnost použití těchto paprsků pro terapeutické účely. (ČEZ, 2017), (Kolektiv autorů, 1994, s. 49), (Svobodný, Hlaváčková, 2014)

20. století v ozařovací léčbě přineslo hojné využívání Ra v oblastech chirurgie, dermatologie i gynekologie. Bohužel nebyla v takové míře známá škodlivost záření, což vedlo k poruchám kůže, amputacím končetin i leukémii. (ČEZ, 2017)

1902 - američtí lékaři **Nicholas Senn** a **William A. Pusey** docílili u pacientů nemocných leukémií za použití rentgenového záření výrazné zlepšení krevního obrazu

1905 - **Robert Abbé** uveřejnil úspěšný případ léčby rakoviny dělohy za pomoci radiového záření

1913 - byla vyrobena vakuová rentgenka s wolframovým žhavicím vláknem

1913 - **R. Jedlička** uveřejnil zprávu týkající se radioterapie u více než 150 pacientů s mozkovými nádory. (ČEZ, 2017), (Svobodný, Hlaváčková, 2014)

V 50. letech 20. století **Kuhl** a **Edwards** přišli s myšlenkou pozitronové emisní tomografie, která byla použita v praxi až po zdokonalení výpočetní techniky v 90. letech (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Vilasová, Zárybnická, 2013, s. 91).

3. METODY VYUŽÍVANÉ VE ZDRAVOTNICTVÍ

Od objevení rentgenového záření a radioaktivity došlo k velkému rozvoji a využívání těchto zdrojů ve zdravotnictví. Některé způsoby přetrvaly a využívají se i v dnešním zdravotnickém provozu.

Úzkou souvislost se zdravotnictvím má i oblast lázeňství, která se na počátku 20. století začala významně rozvíjet, když byl v roce 1906 v Jáchymově otevřen první provoz radonových lázní z iniciativy okresního lékaře Leopolda Gottlieba. Roku 1910 zde byl otevřen lázeňský ústav pro léčbu radiem. Léčba probíhala pomocí koupelí v radioaktivní vodě, popíjením radioaktivní vody a ozařování radiem. Obliba lázní a počet pacientů stále rostl a značnou oblibu mají i dnes. (Hloušek, 2017)

3.1 Historicky využívané metody

V roce 1951 se v Kanadě začaly používat kobaltové ozařovače. V Československu se poprvé začaly využívat od roku 1956 ve Výzkumném ústavu zdravotnické techniky v Praze. Radioaktivní kobalt ^{60}Co , který se získává neutronovou aktivací ze stabilního kobaltu ^{59}Co , se na našem území doposud používá pouze u vybraných nádorových onemocnění, zejména v paliativní léčbě. Postupně dochází k jeho vyřazování z provozu. (Zámečník, 1990)

Snaha o napodobení kontaktní terapie Ra, pomocí které došlo k prvnímu úspěšnému vyléčení rakoviny, dopomohlo ke vzniku kontaktní rentgenové terapie. Pro nádory uložené na povrchu se začala využívat povrchová rentgenová terapie, pro nádory hlouběji uložené, hloubková rentgenová terapie. Pro nádory ležící ve střední hloubce, se začal využívat středovoltážní

způsob ozařování, který byl postupně nahrazen radioizotopovými ozařovači. V dnešní době se k léčbě využívají urychlené elektrony.

Rentgenová terapie byla dříve nejdostupnější a velmi rozšířená metoda, která se používala k léčbě nádorových onemocnění. V dnešní době je nejpoužívanější vysokoenergetické záření, hlavně lineární urychlovače (patří mezi základní a nejrozšířenější přístroje pro zevní radioterapii). (Zámečník, 1990)

3.2 Metody používané v současnosti

Lékařský obor, který využívá rentgenové záření nebo ionizující záření z uzavřených zářičů (do této skupiny patří dále metody využívající neionizující záření – sonografie a magnetická rezonance) se nazývá **Radiologie**.

Lékařský obor **Nukleární medicína** používá radioaktivní látky k léčbě i diagnostice. Jedná se o otevřené zářiče v podobě radiofarmak. Radiofarmaka jsou chemické sloučeniny, které mají jako účinnou složku umělý radionuklid, který je zdrojem ionizujícího záření. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Vilasová, Zárýbnická, 2013, s. 66 a 75)

3.2.1. Radiodiagnostické metody

Mezi nejrozšířenější způsoby diagnostiky využívající ionizujícího záření, patří zobrazovací metody založené na rentgenovém záření. Jedná se zejména o následující metody:

Skiografie, která slouží k zobrazení lidských tkání a je založena na rozdílném pohlcování rentgenového svazku různými tkáněmi. Využívá se na snímkování kostí a zubů nebo pro odhalení karcinomů prsu (mamografickou metodou), výsledná podoba se zaznamená na filmový materiál nebo v podobě digitalizovaného elektronického obrazu. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Vilasová, Zárýbnická, 2013, s. 76)

Skioskopie, lišící se od předešlé vyšší radiační zátěží způsobenou tím, že se výsledný obraz nezaznamenává, což ale umožní pozorování pohybů orgánů, jejich funkce nebo postup kontrastních látek (nejčastěji používané jsou baryum a jód) sledovaným. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Vilasová, Zárýbnická, 2013, s. 75-76)

Výpočetní tomografie (CT, computer tomography) je metoda, která rekonstruuje obraz pomocí matematických výpočtů, tak že rentgenové projekce získané z různých úhlů složí dohromady v jeden ucelený trojrozměrný obraz. Oproti skiografii umožňuje zobrazit i měkké tkáně, které jsou málo kontrastní. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Vilasová, Zárybnická, 2013, s. 77-78)

Diagnostické metody využívající otevřené zářiče gama rozdělujeme dle aplikace radiofarmaka na *in vivo* a *in vitro* vyšetření.

Při *in vivo* vyšetření dochází k aplikaci radiofarmaka intravenózní cestou, které se následně zobrazuje pomocí Scintilačních kamer. Planární typy kamer neumožňují zobrazení třetího rozměru, proto se dnes pro prostorové zobrazení orgánů využívají následující metody:

Radionuklidová emisní tomografie typu SPECT (jednofotonová emisní výpočetní tomografie) používající zářič gama ^{99m}Tc , ^{67}Ga , ^{111}In nebo ^{201}Tl . Někdy se tato metoda pro větší přesnost zobrazení kombinuje s CT, jedná se tedy o hybridní SPECT/CT přístroje. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Vilasová, Zárybnická, 2013, s. 90-91)

Pozitronová emisní tomografie (PET) je založena na detekci fotonů, které vzniknou přeměnou v těle pacienta prostřednictvím anihilace¹⁹ pozitronů, uvolněných β^+ radiofarmaky s elektronem. Pacientovi je podáno radiofarmakum s velmi krátkým poločasem rozpadu jako je např. ^{11}C ($T_{1/2} \sim 20$ min), ^{13}N (~ 10 min), ^{15}O (~ 2 min). (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Vilasová, Zárybnická, 2013, s. 91-92)

Při *in vitro* vyšetření neboli radiosaturační analýza, také radioimunoanalýza. Jsou vyšetření, při kterých se používají radioaktivní látky aplikované pouze do vzorku krve ke stanovení koncentrace hormonů nebo protilátek v krvi. Detekce probíhá pomocí nezobrazovacích přístrojů (scintilačních detektorů). Nejpoužívanějším radionuklidem u tohoto typu vyšetření je zářič gama ^{125}I , který emituje fotony gama a charakteristického rentgenového záření. (Ullmann, 2017, k. 3.5)

¹⁹ **Anihilace** znamená přeměnu částice a její antičástice. (SÚRO, 2017)

3.2.2 Radioterapeutické metody používané v dnešní době

Radioterapie patří mezi nejúčinnější metody používané v radiační onkologii pro léčbu onkologických onemocnění. Metoda je založena na poznatku o dělení buněk, kdy bylo zjištěno, že nádorové buňky mají vysokou schopnost dělit se. Tato vlastnost je zároveň činí citlivějšími k záření než buňky nenádorové. Radioterapii se dělí na dva typy:

- **Teleradioterapii**, odvozenou z řeckého *tele* neboli z *dálky*. Tento typ používá zdroj záření umístěný nejméně 5 cm od povrchu těla pacienta. Dnes se k tomuto typu léčby používají lineární urychlovače, kde vzniká vysokoenergetické brzdné rentgenové záření, urychlené elektrony nebo radionuklidové zdroje (^{60}Co a ^{137}Cs). Mezi přístroje pro teleterapii patří:

Robotický nůž je ozařovací přístroj určený pro aplikaci velmi vysokých dávek rentgenového záření (zdrojem je odlehčený lineární urychlovač na pohyblivém rameni), které s přesností milimetru umísťuje do lidského těla. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Vilasová, Zárybnická, 2013, s. 81-82)

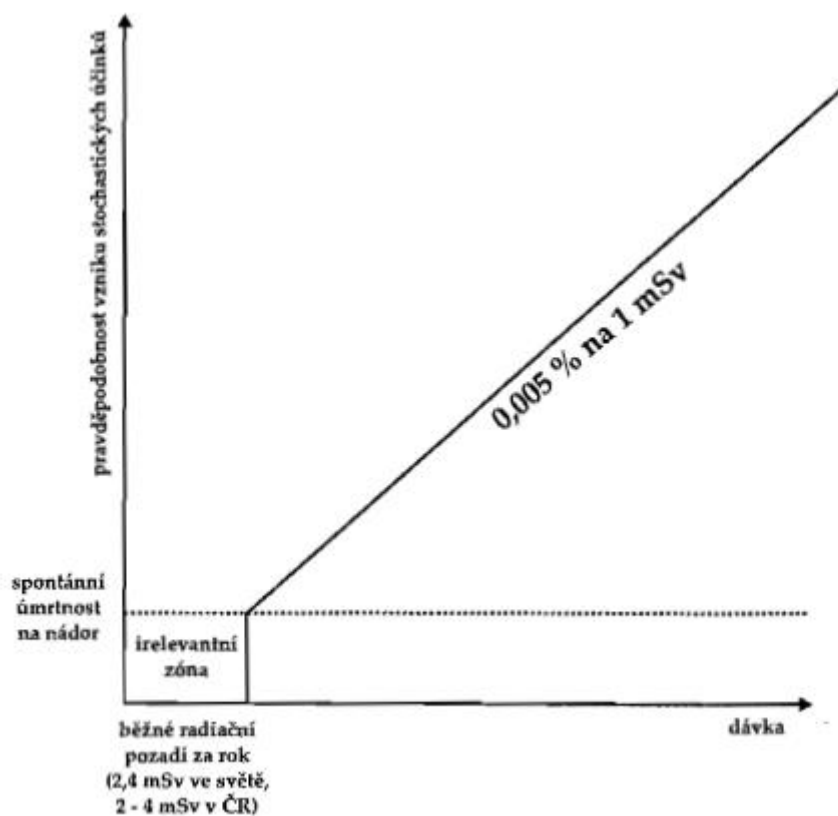
Leksellův gama nůž je neinvazivní onkologická metoda. Využívá se v radiochirurgii při ozařování lézí v mozku. Využívá záření gama v podobě zdrojů ^{60}Co , které jsou přesně zacíleny z polokulové plochy na 1 konkrétní místo v mozku. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Vilasová, Zárybnická, 2013, s. 80-81)

- **Brachyterapii**, odvozenou z řeckého *brachys* neboli *krátký*, při které je zářič zaveden přímo do ložiska nádoru. Zdrojem záření jsou gama zářiče (cesium (^{137}Cs), iridium (^{192}Ir), kobalt (^{60}Co), beta zářiče (stroncium (^{90}Sr)) nebo neutronové zářiče (kalifornium (^{252}Cf)). (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Vilasová, Zárybnická, 2013, s. 82), (Ullmann, 2017, k. 1.4)

4. ZDRAVOTNÍ RIZIKA IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Biologické účinky IZ lze rozdělit na základě změn, které v organismu vyvolávají, na tzv. stochastické a deterministické.

Stochastické neboli pravděpodobnostní účinky IZ jsou takové, které nelze předpokládat. Jedná se o bezprahové účinky²⁰ projevující se s určitým časovým odstupem. Platí zde pravidlo, že se stoupající dávkou neroste závažnost poškození organismu, ale roste pravděpodobnost výskytu poškození. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 58-60)



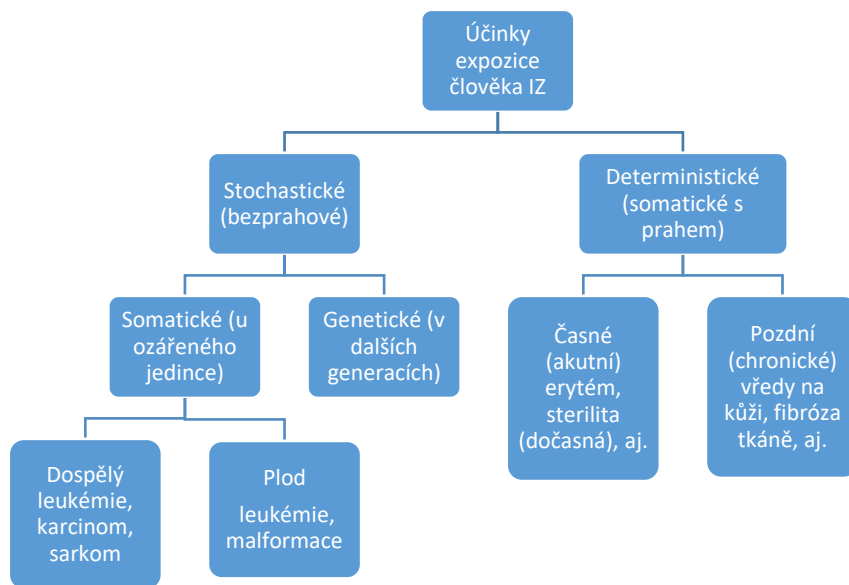
Obrázek 1 Vyjádření pravděpodobnosti stochastických účinků v závislosti na obdržené dávce (Hušák, 2009, s. 40)

²⁰ **Bezprahové účinky** znamenají, že jakákoli dávka zvyšuje riziko těchto účinků

Rizika závisí na:

- **typu buňky**, velký podíl mají zejména aktivně se dělící buňky (pohlavní a krvetvorné) než buňky dále nedělitelné (svalové, nervové)
- **věku**, zde platí, že čím mladší je jedinec, tím větší riziko vzniku stochastických účinků má. U dětí je riziko větší, protože probíhá intenzivní buněčné dělení a je kratší doba mezi změnou DNA buňky a projevem nádorového onemocnění
- **dávce obdrženého IZ**, platí, že čím delší je působení IZ, tím větší je pravděpodobnost výskytu a kratší doba mezi změnou DNA a projevem nádorového onemocnění (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 60)

Deterministické účinky IZ jsou takové, které lze předvídat. Odvíjí se od překročení dávkového prahu pro daný efekt. Platí, že čím vyšší je dávka nad tento práh, tím vyšší je závažnost poškození. Mezi tyto účinky patří akutní nemoc z ozáření (vzniká po celotělovém, jednorázovém ozáření gama paprsky), nenádorové pozdní poškození, poškození plodu v děloze matky nebo akutní lokální poškození. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 60)



Obrázek 2 Účinky IZ (Hušák, 2009, s. 35)

Diagram na obrázku 2 uvádí příklady stochastických a deterministických účinků IZ na člověka.

4.1 Biologické účinky ionizujícího záření

Způsobem působení IZ na živé organismy se zabývá věda radiobiologie. Z hlediska působení IZ se vyčleňují následující úrovně:

- **Molekulární** – dochází k poškozování atomů a molekul, z nichž z hlediska zdravotních důsledků je nejzávažnější poškození molekuly DNA v jádře buňky.
- **Buněčná** – v důsledku poškození molekuly DNA dochází ke smrti buňky nebo ke změně genetické informace v podobě mutace buňky (tato buňka má zachovanou dělicí schopnost).
- **Tkáňová** – dochází k poškození buněk určitého typu tkáně. Není-li organismus schopen ztrátu nahradit novou populací buněk v dostatečné míře, dochází ke snížení fyziologické funkce tkáně nebo tkáň přestane fungovat jako celek.
- **Úroveň organismu** se projeví genetickými (vztahují se na zárodečné žlázy a projevují se změnami ve vývoji lidského plodu) nebo somatickými změnami (jsou příčinou nádorových transformací). (Hušák, 2009, s. 35)

4.2 Historicky doložené případy výskytu zdravotních komplikací v souvislosti s cíleným využíváním IZ

Již v roce 1896 se vyskytly první zdravotní obtíže, které souvisely s ionizujícím zářením. První badatelé v oblasti radioaktivity měli běžně zářením lehce **popálené prsty až radiační nekrózy**. Příčinou smrti většiny z nich byly různé druhy **leukémie a rakoviny**. (Corpusomne, 2015), (Fyzmatik, 2009)

Mezi jednu z prvních obětí patřil **Clarence Madison Dally**, foukač skla u T. A. Edisona²¹, který si způsobil **rakovinu svých rukou**, když na nich často zkoušel fluoroskop²², v té době běžně používaný přístroj. (Corpusomne, 2015), (Fyzmatik, 2009)

V roce 1897 bylo zaznamenáno **23 případů** vážného onemocnění pracovníků s rentgenovým zářením. Téhož roku, zanedlouho po prvních lékařských aplikacích informoval fyzikální

²¹ **Thomas Alva Edison** (11. února 1847–18. října 1931) byl americký vynálezce a podnikatel. Na jeho jméno je vedeno 1692 patentů. (ČEZ, 2017)

²² **Fluoroskop** byl přístroj využívající rentgenové záření ke zjištění velikosti bot. (Oko, 2017)

chemik **Otakar Šulc** odbornou i laickou veřejnost o **zdravotních rizicích rentgenových paprsků** na tkáň. Článek byl **publikován** v časopise Živa a upozornil na zhoubné změny, které záření způsobilo. (Corpusomne, 2015), (Fyzmatik, 2009)

Roku 1900 účinky zpozoroval i německý chemik **Giesel**, který nosil 2 hodiny na ruce špetku **radiové soli**, jejímž působením došlo k zánětu a sloupení kůže. **Marie Curie** tentýž pokus zopakovala, když nosila **sůl radia** 10 hodin na ruce. Během tří týdnů se jí vytvořila hluboká hnisavá rána, která se hojila další dva měsíce. (SÚRO, 2016, k. Radiační ochrana)

Podobný je i případ **popálenin Henry Becquerela** z roku 1901, který nechtěně nosil 2 dny v kapse u vesty trubičku se solí radia s aktivitou 160× vyšší než před tím Marie Curie na ruce. Za týden se mu objevila červená skvrna, která se pak zanítila. V místě kontaktu mu začala odumírat tkáň, která mu byla následně chirurgicky odstraněna. Celé léčení trvalo 7 týdnů a až poté se rána začala pomalu zavírat. (SÚRO, 2016, k. Radiační ochrana)

V roce 1902 byl v Hamburku uveřejněn první případ rakoviny z ozáření. Za období 1911-1914 bylo zjištěno **198 nádorových onemocnění zejména u radiologů**, z toho jich 54 zemřelo. (SÚRO, 2016, k. Radiační ochrana)

Ve 20. letech minulého století vypukla v USA **aféra Radium girls**. Jednalo se o skupinu žen, pracujících u společnosti U. S. Radium v New Jersey, které barvily ciferníky hodinek barvami obsahujícími Ra. Již v té době se vědělo, že zvýšená radioaktivita je pro lidský organismus nebezpečná, proto byli výzkumníci a techničtí pracovníci chráněni. Dělnicím, které nanášely hotovou barvu, bylo sděleno, že Ra je naprosto bezpečné, proto se na ně žádná ochrana již nevztahovala. Ženy si barvou malovaly nehty, zuby, a dokonce olizovaly špičky štětců, aby byla malba přesnější, malé množství barvy často spolky. Po onemocnění většiny dělnic, vzniklo podezření, že za problémy jako jsou **nekróza čelistí, vypadávání vlasů, zlomeniny, poruchy krvetvorby** je dlouhodobý kontakt s radioaktivní barvou. Společnost nechala zaměstnankyně vyšetřit, zjistilo se, že snímky čelistí některých dělnic se na rentgenologickém filmu zobrazovaly i bez použití rentgenového záření, což vypovídalo o vysoké dávce radioaktivity, výsledek jim však zamlčela. Roku 1920 se **Grace Fryer**, bývalá zaměstnankyně, dostavila ke svému stomatologovi s **bolestmi a vypadáváním zubů**. Ten zjistil těžké poškození kostní tkáň a tvrdil, že se s něčím takových ještě nesetkal. Až o 3 roky později našla zubaře, který si její případ spojil s ostatními z U. S. Radium. Žena se s bývalým zaměstnavatelem chtěla soudit,

k její žalobě se přidaly i 4 další. Všech 5 se stalo známými jako Radium Girls. I přes snahu dalších společností, které se snažily firmě pomoci zamezit zveřejnění lékařských záznamů, ženy nakonec soud vyhrály a případ se stal precedents. (Heneberg, 2017)

Jako **kontrastní látka** byl ve 30. letech 20. století používán **25 % oxid thoričitý** v koloidní úpravě. Látka se používala pod názvem Thorotrast a byla velmi dobře tolerována. Bohužel se zjistilo, že její radioaktivita a schopnost kumulace ve tkáních vede k maligním onemocněním, především tumoru hepatobiliárního systému. **Zákaz používání** byl uzákoněn až v 50. letech 20. století. (Svoboda, 1964)

5. RADIAČNÍ OCHRANA

Jak již bylo uvedeno, jakékoli vystavování se zdrojům IZ představuje určité riziko, před kterým je třeba se chránit. Je dobré si uvědomit, že zdroje IZ se nenacházejí pouze ve zdravotnickém prostředí. Mnoho se jich rovněž vyskytuje přirozeně v našem okolí. Jedná se např. o radon (vznikající postupnou přeměnou uranu), který se uvolňuje z hornin a z povrchu země se dostává do atmosféry nebo vstupuje do objektů. Radon je přírodní radioaktivní plyn přeměňující se na další radioaktivní prvky (izotopy polonia, olova a bismutu), jež se vdechováním zachycují v dýchacích cestách a ozařují je. Mezi nejvýznamnější přírodní biogenní radionuklidy patří draslík ^{40}K , obsažený téměř ve všech potravinách i v našem těle. (SÚRO, 2017), (ČEZ, 2017)

5.1 Historie radiační ochrany ve světě

Obor radiační ochrana zaměřený na ochranu před nežádoucími účinky ionizujícího záření na živé organismy, vznikl krátce po objevu rentgenových a uranových paprsků. Primitivní opatření se rozvinula v první polovině 20. století při užívání rentgenové diagnostiky, radioterapie, radonových koupelí, inhalací apod. Zakládala se na přesvědčení, že malé dávky jsou stimulační nebo neškodné a velké dávky zhoubné. Nebyly tudíž stanoveny žádné limity pro zpřesnění hranice prospěšnosti a škodlivosti. (SÚRO, 2016, k. Radiační ochrana), (Hušák, 2009, s. 108-109)

Ve 20. letech 20. století vznikl návrh na zavedení tzv. *profesionální toleranční dávky* vycházející z erytémové dávky založené na biologickém účinku zarudnutí kůže. (SÚRO, 2016, k. Radiační ochrana), (Hušák, 2009, s. 47)

V roce 1921 British X and Radium Protection Committee přijala pravidla radiační ochrany týkající se omezování ozáření při práci. Roku 1928 na II. Mezinárodním radiologickém kongresu byla ustanovena Mezinárodní komise ochrany před zářením (International Commission on Radiological Protection, ICRP), která měla za úkol sledovat a vydávat doporučení a odborné podklady členským zemím. Podle počtu expozic, kterým byli pracovníci vystaveni, docházelo k omezování jejich dávek. (SÚRO, 2016, k. Radiační ochrana)

V roce 1934 ICRP přijala první limity cca **2 mGy/den**. (SÚRO, 2016, k. Radiační ochrana)

Do roku 1940 bylo zjištěno velké množství radiačních poškození kůže u pacientů i rentgenologů. Vzniklo tak první doporučení, stanovující omezující množství ozáření na **0,1 μ g ²²⁶Ra** jako bezpečné a dávku cca **6 mGy/týden** na kost a dřev jako limitní ozáření. (SÚRO, 2016, k. Radiační ochrana)

Po druhé světové válce se v důsledku bombardování v Hirošimě a Nagasaki se hojně rozvinuly epidemiologické studie účinků ozáření. Výsledky studií byly využity pro výpočet koeficientu rizika pravděpodobnosti smrti pro fatální nádory. Roku 1950 bylo zavedeno doporučení limitů pro pracovníky se zářením na **3 mGy/týden** (odpovídající asi **600 mSv/rok**). (SÚRO, 2016, k. Radiační ochrana)

Mezi lety 1956–1958 byly ICRP stanoveny dávkové limity pro celé tělo, gonády a kostní dřev na **50 mSv/rok**, pro ostatní orgány **150–750 mSv/rok**. A došlo k zavedení tzv. *akumulačního vzorce* sloužícího pro výpočet dávky, $D = 5 \times (\text{věk} - 18)$. (SÚRO, 2016, k. Radiační ochrana)

Až v 70. a 80. letech minulého století došlo k objasnění deterministických a stochastických účinků ionizačního záření. (SÚRO, 2016, k. Radiační ochrana)

5.2 Historie radiační ochrany v ČR

V roce 1918 vznikl v Praze Státní ústav radiologický, který roku 1947 převzal správu nad radiační hygienou na pracovištích s ionizujícím zářením. V rámci ministerstva zdravotnictví vznikaly ústavy pracovního lékařství. (BOZP, 2017)

Od roku 1952 byl v Praze zřízen Ústav hygieny práce a chorob z povolání, při krajských národních výborech vznikaly Krajské hygienicko-epidemiologické stanice (KHS). (BOZP, 2017)

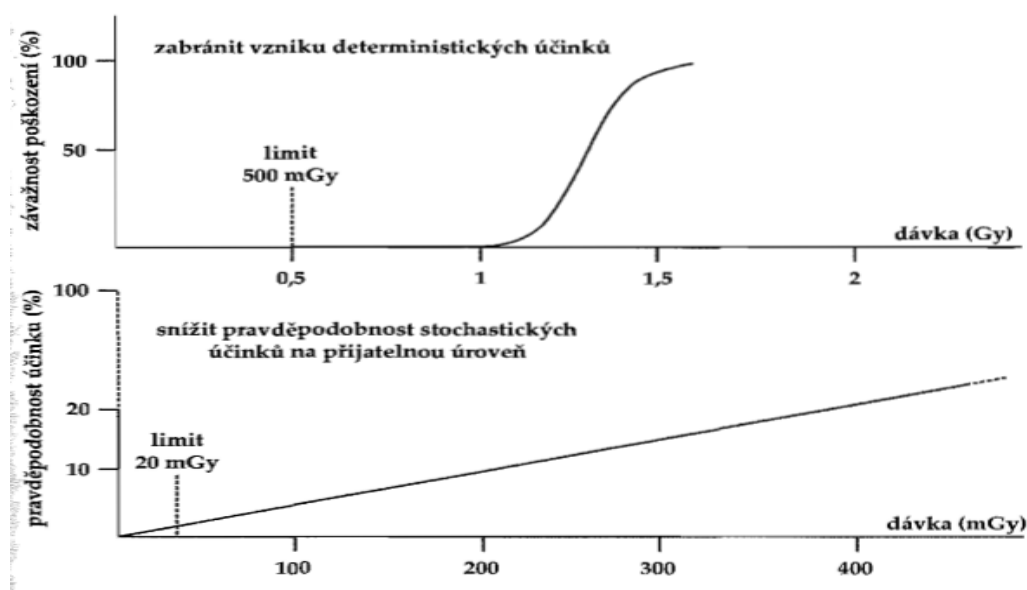
Roku 1965 vznikl Výzkumný ústav hygieny záření (1971 došlo k jeho začlenění do Institutu hygieny záření jako Centra hygieny záření CHZ) a Ústav hygieny práce v uranovém průmyslu v Příbrami. (BOZP, 2017)

Celý systém přetrval do roku 1995, poté vláda ČR spojila radiační ochranu a jadernou bezpečnost do Státního úřadu jaderné bezpečnosti (SÚJB). Z útvarů radiační hygieny při KHS vznikly Regionální centra SÚJB a na podkladě CHZ vznikl Státní ústav radiační ochrany (SÚRO). (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 44)

5.3 Cíl radiační ochrany

Cílem radiační ochrany je zajištění dostatečného stupně ochrany zdraví, přičemž je umožněno používání zdrojů záření a jaderné energie. Podstatou je koncepce, která musí být ve shodě s aktuálními poznatky biologických účinků IZ, obecnými přístupy společnosti k ochraně zdraví obyvatel a životního prostředí a s moderními požadavky na technologický rozvoj. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 48)

Hlavním cílem je zcela zabránit vzniku deterministických účinků a současně omezit na přijatelnou úroveň riziku rozvoje stochastických účinků. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 48)



Obrázek 3 Grafické vyjádření polohy limitů, které znázorňuje vyloučení deterministických účinků (A) a omezení pravděpodobnosti stochastických účinků (B) na přijatelnou úroveň (Hušák, 2009, s. 41)

6. RADIAČNÍ ZÁTĚŽ VE ZDRAVOTNICTVÍ

K radiační zátěži ve zdravotnictví dochází v důsledku využívání umělých zdrojů IZ pro diagnostické a terapeutické účely. Radiační zátěž se týká nejen pacientů, kteří jsou IZ cíleně vystavováni, ale také zdravotnického lékařského i nelékařského personálu, který se zdroji IZ a s pacienty přichází do kontaktu.

- **Lékařské ozáření** nastává u osob, které byly vystaveny ionizujícímu záření v souvislosti s vyšetřením nebo léčbou, v případě dobrovolné účasti na lékařském ověřování nezavedené metody spojené s ozářením, nebo při poskytování pomoci osobě, která podstupuje ozáření (např. asistence dítěte). Tímto typem ozáření se podrobně zabývá díl 8 Sb. zákonů č. 422/2016.

V rámci **optimalizace lékařského ozáření** při zdravotních výkonech v radiodiagnostice, intervenční radiologii a při diagnostických zdravotních výkonech v nukleární medicíně musí být používány tzv. **diagnostické referenční úrovně**, které stanoví úroveň dávky pro typická

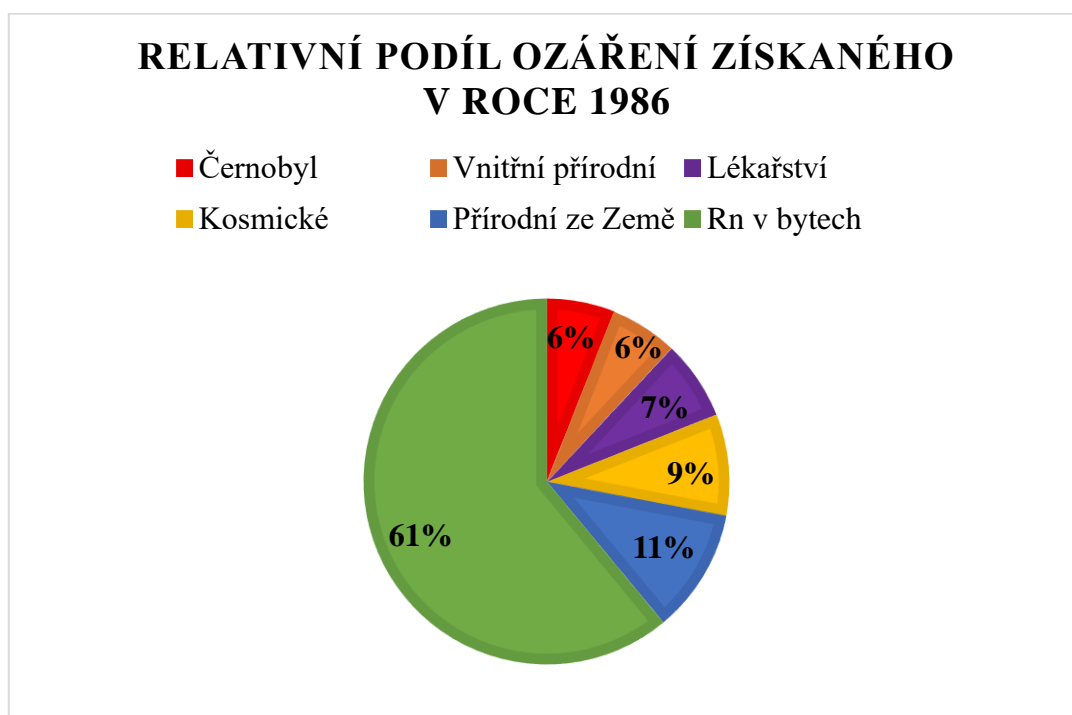
vyšetření standardních pacientů a obecně určené typy vybavení (Zákon č. 263/2016 §2 odst. 3 c, §60 odst. 2 d, §84)

Národní diagnostické referenční úrovně stanoví příloha č. 22 vyhlášky č. 422 /2016. Na konkrétním zdravotnickém pracovišti musí být stanoveny **místní diagnostické referenční úrovně**.

- **Nelékařské ozáření** je ozáření, jehož cílem není přínos pro zdraví ozářené fyzické osoby. Provádí se za účelem např. hodnocení fyzického vývoje dětí a mladistvých ke sportovní kariéře, vyšetření k určení věku, ke zjištění skrytých věcí v těle. (Zákon č. 263/2016 § 2 odst. 3 h, § 83)
- **Profesní ozáření** nastává u osob, které byly vystaveny ionizujícímu záření v souvislosti s výkonem práce při radiačních činnostech.

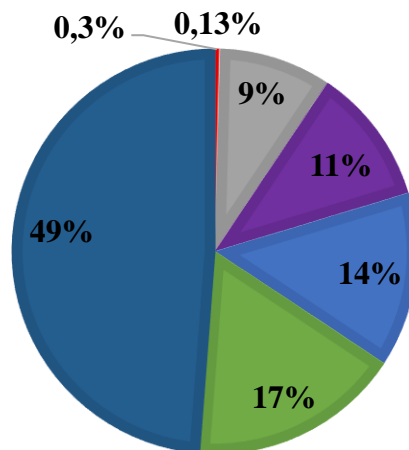
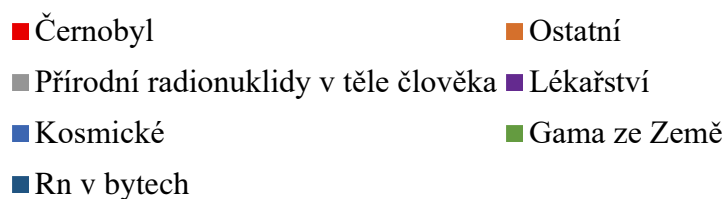
6.1 Radiační zátěž ve zdravotnictví od roku 1986

V následujících grafech jsou znázorněny relativní podíly ozáření získané za jednotlivá sledovaná období.



Graf 1 Relativní podíl ozáření v roce 1986 (Hůlka, Malátová, 2017)

ROZDĚLENÍ DÁVEK OBYVATELSTVA ČR DNES



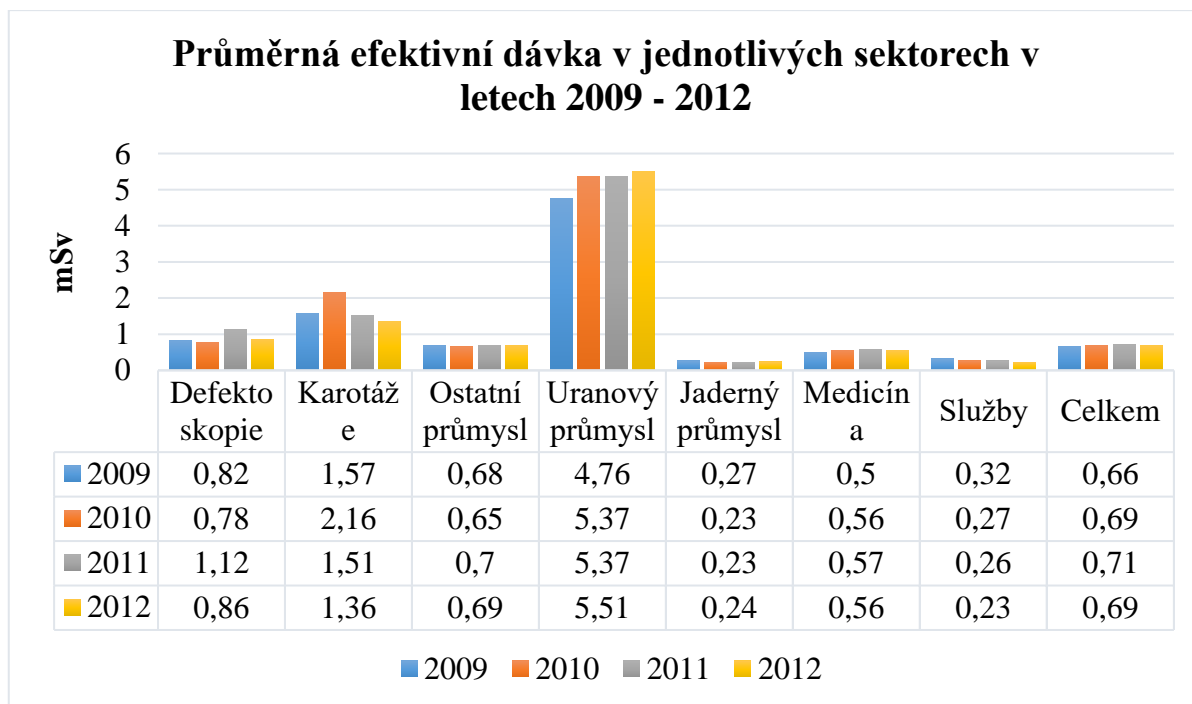
Graf 2 Rozdělení dávek obyvatelstva ČR dnes (SÚRO, 2017)

Vliv zdravotnictví je u každého člověka individuální, závisí na počtu podstupených terapií a vyšetření. Dnes se přibližně uvádí podíl zastoupení 10 %, z čehož vyplývá nárůst radiační zátěže ze zdravotnictví za období 30 let o celá 3 %. Na tomto faktu se může podílet i zavádění častějších preventivních vyšetření, jejichž cílem je podchytit případné onemocnění v brzkém stadiu a omezit tak na minimum případnou zátěž léčby na pacienta.

6.2 Efektivní dávky ve zdravotnictví

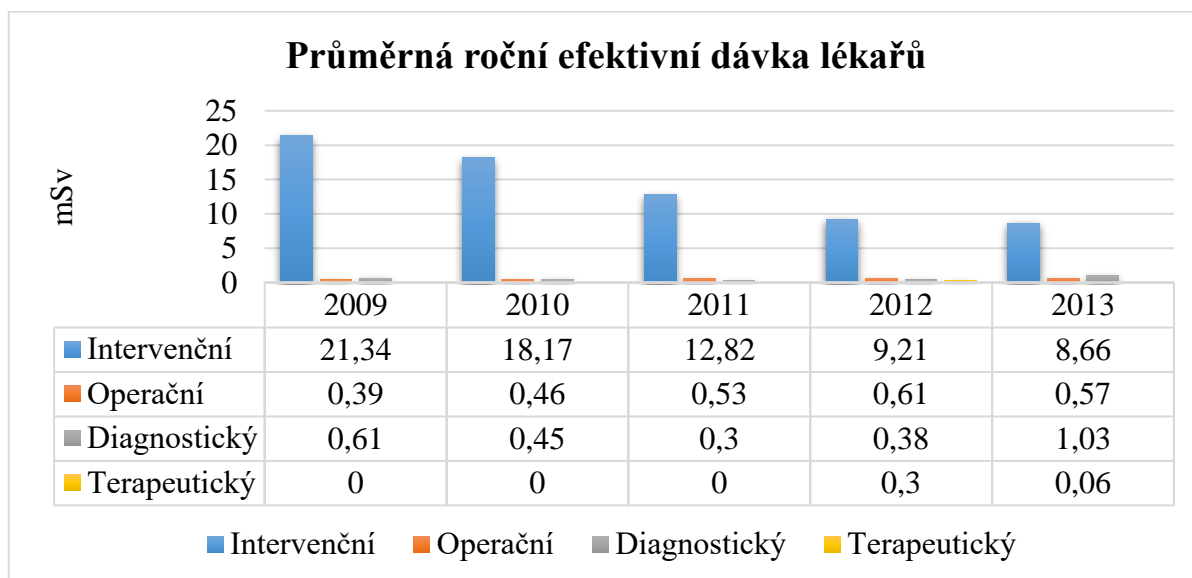
Za účelem kontroly a dodržování platné legislativy probíhá v nemocnicích sledování obdržených dávek IZ zdravotnickým personálem. Graf 4 porovnává hodnoty efektivních²³ dávek radiačních pracovníků ve zdravotnictví (medicína) s efektivními dávkami radiačních pracovníků z jiných pracovních oblastí.

²³ **Efektivní dávka Z** je součet ekvivalentních dávek v jednotlivých tkáních či orgánech vážených **tkáňovým váhovým faktorem** w_T , jež vyjadřuje rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání z hlediska pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků (zhoubných nádorů a genetických změn). (Skalická Freitinger, Halaška, Havránková, 2017, k. 1.5)



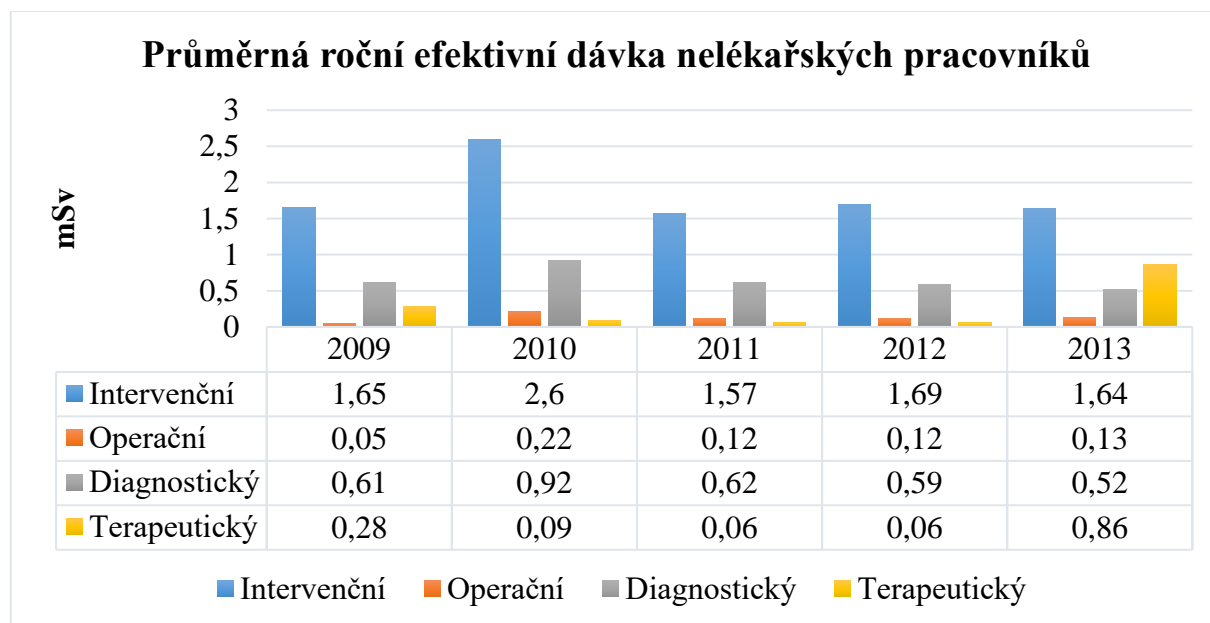
Graf 3 Průměrná efektivní dávka v jednotlivých sektorech (Petrová, 2017)

Na základě výzkumu, který se uskutečnil v roce 2014 ve Fakultní nemocnici v Plzni, byly porovnány efektivní u lékařských a nelékařských radiačních pracovníků (Graf 5) s ohledem na typ činnosti, kterou vykonávají. Nejvyšší dávku obdrželi lékaři působící v oboru intervenční radiobiologie, a to jak v porovnání s lékaři působícími v ostatních sledovaných oborech, tak nelékařskými pracovníky intervenční radiobiologie.



Graf 4 Porovnání průměrných ročních efektivních dávek lékařů všech souborů (Ulčová, 2014, s. 56)

Z hlediska zajištění radiační ochrany je významná skutečnost, že za období 2009–2013 došlo u lékařů oboru intervenční radiobiologie k poklesu efektivní dávky přibližně na polovinu. Tato skutečnost je dokladem zkvalitnění ochranných opatření, ke kterým v nemocnici došlo.



Graf 5 Porovnání průměrných ročních efektivních dávek ostatních nelékařských pracovníků (Ulčová, 2014, s. 56)

Z grafu plyne, že největší efektivní dávku za období 2009-2013 získali intervenční nelékařští pracovníci.

Tabulka 2 uvádí rozmezí efektivních dávek radiačních pracovníků ve zdravotnictví typická pro diagnostická vyšetření uskutečňovaná prostřednictvím metody skiografie, skiaskopie a CT vyšetření.

Zobrazovací metoda	Druh vyšetření	Typické efektivní dávky (mSV)
Skiografie	Lebka	0,01-0,02
	Hrudník	0,01-0,02
	Břicho	0,3-0,5
	Pánev	0,3-0,5
Skioskopie	Kontrastní žaludek	1-3
	Kontrastní střevo	2-5
CT	Hlava	1,2-1,7
	Hrudník	5-7
	Břicho	3-7
	Břicho a pánev	5-8
	Hrudník, břicho a pánev	7-12

Tabulka 2 Porovnání radiační zátěže diagnostických metod (Hušák, 2009, s. 79)

7. OCHRANNÉ POSTUPY

Při snaze redukovat absorbované záření lze využít fyzikálních poznatků o IZ.

- **Ochrana časem** – uplatňujeme znalost, že účinky záření jsou úměrné obdržené dávce a čím menší dobu budeme vystaveni záření, tím menší dávku obdržíme
- **Ochrana vzdáleností** – uplatňujeme u bodových zdrojů ionizujícího záření. Platí zde pravidlo, že obdržená dávka je přímo úměrná čtverci vzdálenosti.
- **Ochrana stíněním** – vychází z výpočtu koeficientu zeslabení, který získáme poměrem hodnot požadované a naměřené intenzity záření. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 47-48)

7.1 Základní principy radiační ochrany

1. Princip odůvodnění činností a zdrojů

Obecně znamená vhodně zhodnotit celou činnost, veškerá pozitiva a negativa vznikající touto činností. U lékařského ozáření to znamená, zdali výhody vystavení pacienta zdroji IZ překonají nevýhody v podobě zdravotních rizik, jež souvisí s obdrženou dávkou IZ. V případě, že používání IZ nemá žádný kladný přínos, hodnotí se jako nepřipustné a dostává se do rozporu

s legislativou. Vždy platí, že přínosy musí být větší než případná rizika. (Hušák, 2009, 81), (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 49)

2. Princip optimalizace ochrany před zářením

Stanovuje, jaké ozáření je v daných podmínkách snesitelné, zároveň musí odpovídat oblastem dávek pod obecnými limity dávek individuálních. (Hušák, 2009, s. 63), (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 49)

Někdy se princip optimalizace radiační ochrany označuje jako **ALARA** (As Low As Reasonably Achievable). Začal se uplatňovat po zjištění, že i ozáření pod úrovní limitů, přináší určité riziko poškození (zhoubného bujení a dědičných poškození). Proto vznikl požadavek zajistit co nejnižší dávku, které lze dosáhnout. Vychází z následujících poznatků:

- Příliš vysoká dávka zbytečně zatěžuje pacienta.
- Princip dostačující dávky znamená minimální zatížení pro pacienta a zároveň dosažení diagnostického nebo terapeutického cíle.
- Nedostatečná dávka při výkonu je problém, protože se musí výkon znovu opakovat a celkový součet pak převyšuje dávku dostatečnou. (Hušák, 2009, s. 63), (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 49)

3. Dávkové limity ozáření

Jsou stanoveny dle vyhlášky č. 422/ 2016 Sb. (Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje) v § 63 (Limity ozáření), § 64 (Omezení ozáření ve zvláštním případě), § 65 (Výjimečné ozáření) a zákonem č. 263 / 2016 Sb. (Atomový zákon).

	Limity		
	Obecné	Pro radiační pracovníky	Pro učně a studenty
Efektivní dávka za rok (mSv)	1	50 (20)	6
Efektivní dávka za 5 za sebou následujících let (mSv)	5	100	-
Ekvivalentní dávka v oční čočce za rok (mSv)	15	50	15
Průměrná ekvivalentní dávka v 1 cm ² kůže za rok (mSv)	50	500	150
Ekvivalentní dávka na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky za rok (mSv)	-	500	150

Tabulka 3 Limity pracovníků a žáků (Zákon č. 263/2016 Sb., 2016, s. 3975-3976), (Vyhláška č. 422/ 2016 Sb., 2016, s. 6619-6620)

Obecné limity pro obyvatele jsou stanoveny v § 63 odst. 2a zákona č. 263/2016 a § 3 vyhlášky č. 422/ 2016 Sb. Obecné limity platí pro ozáření ze všech povolených nebo registrovaných činností za jeden kalendářní rok. Nezapočítává se sem medicínské ozáření, havarijní ozáření a přírodní pozadí. (Zákon č. 263/2016 Sb., 2016, s. 3975), (Vyhláška č. 422/2016, 2016, s. 6619)

Limity pro žáka a studenta jsou stanoveny v § 5 vyhlášky č. 422/ 2016 Sb. Platí pro žáky a studenty ve věku od 16 do 18 let pracujícího s IZ během studia za jeden kalendářní rok. Limity pro žáky a studenty mladšího než 16 let pracující s IZ během studia jsou totožné s obecnými limity pro obyvatele. Limity pro žáka a studenta staršího než 18 let, kteří pracujícího během studia s IZ jsou stejné jako limity pro radiačního pracovníka. (Vyhláška č. 422/2016, 2016, s. 6620)

Limity pro radiační pracovníky podrobněji vysvětluje kapitola 7.4.

Odvozené limity lze rozdělit dle § 6 vyhlášky č. 422/ 2016 Sb.:

Odvozené limity pro zevní ozáření:

- a) pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07 mm hodnota **500 mSv** za kalendářní rok
 - b) pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 3 mm hodnota **20 mSv** za kalendářní rok
 - c) pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm hodnota **20 mSv** za kalendářní rok.
- (Vyhláška č. 422/2016, 2016, s. 6620-6621)

Sledování zevního ozáření se uskutečňuje pomocí osobních dozimetrů z ukazatele na monitoru konkrétního pracoviště.

Odvozené limity pro vnitřní ozáření:

- a) v případě požití aktivita – limitem je hodnota podílu **20 mSv/h_{mg}**. H_{mg} označuje konverzní faktor pro roční limit příjmu radionuklidu ingescí.
- b) v případě vdechnutí aktivita – limitem je hodnota podílu **20 mSv/h_{mh}**. H_{mh} je konverzní faktor pro roční limit radionuklidu inhalací. (Vyhláška č. 422/2016, 2016, s. 6620-6621)

Zjistit vnitřní ozáření lze změřením koncentrace radionuklidů ve vydechovaném vzduchu, měřením aktivity radionuklidů v těle (pomocí celotělového detektoru), měřením aktivity exkretů. (Vyhláška č. 422/2016, 2016, s. 6620-6621), (Skalická Freitinger, Halaška, Havránková, 2017, k. 7.6.2).

4. Zabezpečení zdrojů IZ

Je stanoveno ve vyhlášce č. 422/ 2016 Sb. (Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje). § 17 této vyhlášky vymezuje dělení zdrojů IZ do 5. kategorií a § 111 popisuje postupy pro zabezpečení jednotlivých kategorií radionuklidových zdrojů. V § 112 jsou popsány prvky systému zabezpečení, § 113 Plán zabezpečení. (Vyhláška č. 422/2016, 2016, s. 6618-6672)

7.2 Omezování ozáření ve zvláštním případě

Vychází z § 64 zákona č. 263/2016 Sb. Týká se osob pečujících o pacienty vystavené lékařskému ozáření z důvodu diagnostického nebo léčebného a dále osob, jež tyto pacienty navštěvují nebo žijí v jedné domácnosti. V těchto případech nesmí součet ozáření za kalendářní rok nepřesáhnout **1 mSv/rok** u osob mladších 18 let a **5 mSv/rok** efektivní dávky u ostatních osob (Zákon č. 263/2016, 2016, s. 3975).

Dále zahrnuje a přesně vymezuje dobrovolníky pomáhající osobě podrobené lékařskému ozáření, kde nesmí být přesaženo **5 mSv** efektivní dávky za rok. (Zákon č. 263/2016, 2016, s. 3975)

Ozáření plodu u těhotných žen, které pracují na pracovištích se zdroji IZ. Ihned po oznámení těhotenství zaměstnavateli, musí dojít k úpravě podmínek její práce tak, aby efektivní dávka ze zevního i vnitřního ozáření plodu po zbytek těhotenství nepřesáhla **1 mSv/rok**. (Zákon č. 263/2016, 2016, s.3975)

Ozáření kojence prostřednictvím radionuklidu z kontaminovaného mateřského mléka. Ihned co žena působící na pracovišti s IZ, oznámí zaměstnavateli, že kojí dítě, pak musí dojít k jejímu přesunutí z kontrolovaného pásma²⁴ pracoviště s otevřenými radionuklidovými zříci. (Zákon č. 263/2016, 2016, s. 3975)

7.3 Radiční ochrana pacientů

K ochraně pacientů významně přispívají § 84 Optimalizace lékařského ozáření, § 85 Sledování dávek z lékařského ozáření, § 86 Vybavení pracoviště a domácí péče, které jsou součástí zákona č. 263/2016 (Atomový zákon). § 78 Léčebná a diagnostická aplikace radionuklidu, § 79 Diagnostické referenční úrovně, § 80 Chybné ozáření pacienta, které jsou součástí zákona č. 422/2016 (Vyhláška o radiční ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje)

²⁴ **Kontrolované pásmo** je dle § 73 zákona č.263/2016 Sb. pracoviště s IZ, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávka za rok vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny. (Zákon č. 263/2016, 2016, s. 3980-3981)

Při lékařském ozáření dochází záměrně k vystavení se ionizujícímu záření z důvodu vyšetření, léčby. Neplatí zde žádné dávkové limity. Lékař se musí řídit 2 principy: optimalizace a zdůvodnění. (Skalická Freitinger, Halaška, Havránková, 2017, k. 7.3.3)

Řídí se také dle následujících pravidel:

- Při volbě zobrazovací metody u radiodiagnostického vyšetření volí co nejmenší dávku, ale zároveň co nejlepší kvalita výsledků vyšetření.
- Stejný princip aplikace co nejmenší dávky radioaktivní látky se uplatňujeme i při nukleárně – medicínských vyšetření.
- Při radioterapeutických výkonech platí, že ozáření okolních tkání musí být co nejnižší a zároveň místo ozáření musí mít co největší léčebný efekt.
- Vždy je nutné zdůvodnit potřebu vyšetření či terapie, čas postačující k provedení, popřípadě jinou alternativu dosahující téhož výsledku.
- Mezi zásady správné klinické praxe patří zjištění dříve podstoupených vyšetření pacienta (zamezí se tak zbytečnému opakování). (Skalická Freitinger, Halaška, Havránková, 2017, k. 7.3.3)

7.4 Radiační ochrana při profesním ozáření

Do profesního ozáření zařazujeme jakékoli ozáření získané při výkonu povolání. Nezařazujeme sem ozáření z přírodního prostředí, ozáření pacientů nebo působení, která nemají s vykonávanou prací žádnou souvislost.

Radiační ochranou pracovníků²⁵ se zabývá § 78 Radiační pracovníci, § 79 Externí pracovníci, § 80 Pracovnělékařské služby poskytované radiačním pracovníkům ze zákona č. 263 / 2016 Sb. Ochrana pracovníků přispívá dodržování limitů pro radiační pracovníky dle § 4 Limity pro radiačního pracovníka vyhlášky č. 422/2016 (viz. kap. 7.1., tabulka 3) a § 63 Limity ozáření ze zákona č. 263/2016 Sb. Dávkové limity, které jsou stanoveny, zde neplatí v případě nehod, havárií nebo katastrof.

²⁵ **Radiační pracovník** je dělen na 2 kategorie A a B viz. § 20 vyhlášky č. 422/2016.

Dle § 65 zákona č. 263/2016 Sb. rozlišujeme tzv. **Výjimečné ozáření**. Jedná se o plánovanou činnost, při které může dojít k překročení limitů platných pro radiační pracovníky. Výjimečné ozáření se vymezuje tak, aby efektivní dávka při opakovaných výjimečných ozáření nepřekročila **500 mSv za 5 za sebou jdoucích kalendářních let**. Výjimečné ozáření platí pouze pro pracovníka kategorie A²⁶, a to dobrovolně po předchozím prokazatelném poučení o rizicích toho obnášejících. (Zákon č. 263/2016, 2016, s. 3795-3796)

V případě **havarijního ozáření**, tedy neplánovaného ozáření v důsledku nehodové expoziční situace, limity stanovit nelze. Cílem radiační ochrany v tomto případě je nastavit pravidla tak, aby k nehodové expoziční situaci nedošlo a v případě, že nehodová expoziční situace nastane, aby nastavená pravidla zajistila, že nebudou překročeny referenční úrovně ozáření, v ideálním případě dávka 100 mSv (pro součet efektivní dávky ze zevního ozáření a úvazku efektivní dávky z vnitřního ozáření). (§ 108, § 109 vyhlášky 422/2016, 2016)

Platí pravidlo, že zachránci, kteří se podílejí na vyprošťovacích a obnovných pracích se v pozdější fázi nehody počítají mezi profesionálně ozařované pracovníky, z toho vyplývá, že jsou chráněni dle zásad radiační ochrany radiačních pracovníků. Pracovník se v případě podobné události musí do pomoci zapojit dobrovolně a před vstupem do nebezpečného prostředí musí být o celé situaci a možných rizicích informován. (Česko, 2016), (Skalická Freitinger, Halaška, Havránková, 2017, k. 7.7.1)

8. LEGISLATIVA ZABÝVAJÍCÍ SE RADIAČNÍ OCHRANOU

Využívání zdrojů ionizujícího záření je velkým přínosem v mnoha odvětvích lidské činnosti, zároveň je spojeno s negativním působením na živou tkáň, což vede ke snaze minimalizovat riziko ozáření osob na minimum. K tomu slouží legislativou ČR přesně definovaná pravidla a principy radiační ochrany, které jsou chráněny a kontrolovány úřady k tomu zřízenými.

²⁶ **Pracovník kategorie A** je dle § 20 Sb. Zákonů č. 422/2016 definován jako radiační pracovník, který může obdržet efektivní dávku více než 6 mSv/ rok, ekvivalentní dávku na oční čočku větší než 15 mSv a ekvivalentní dávku větší než 3/10 limitu pro ozáření kůže a končetin.

Všechna platná legislativa je zároveň v souladu s legislativou Evropské unie, kterou zaštiťují mezinárodní organizace:

- **Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu** (ICRP; International Commission on Radiological Protection). Založena roku 1928 za účelem vytvoření doporučení pro ochranu před ionizujícím zářením v lékařství. (Skalická Freitinger, Halaška, Havránková, 2017, k. 7.8.1)
- **Mezinárodní agentura pro atomovou energii** (MAAE = IAEA; International Atomic Energy Agency). Založena roku 1957 pro podpoření mírového využití jaderné energie. (Skalická Freitinger, Halaška, Havránková, 2017, k. 7.8.1)
- **Evropské společenství pro atomovou energii** (EUROATOM; The European Atomic Energy Community). Funkční od roku 1958, přispívá k vytvoření podmínek nezbytných pro rychlé vybudování a růst jaderného průmyslu a nastavení mechanismů pro kontrolu případného zneužití jaderných materiálů. Jeho součástí jsou členské země Evropské unie. (Skalická Freitinger, Halaška, Havránková, 2017, k. 7.8.1)

Partnerem EU zabývající radiační ochranou a jadernou bezpečností je v České republice **Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB)**. Sídli v Praze 1 na Senovážném náměstí 9, regionální centra má v Praze, Brně, Českých Budějovicích, Plzni, Hradci Králové, Ústí nad Labem, Ostravě a Kamenné u Příbrami a lokální pracoviště v jaderných elektrárnách Temelín a Dukovany. Jeho působnost je dána Atomovým zákonem. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 44), (SÚJB, 2017)

- **Státní ústav radiační ochrany (SÚRO)** se sídlem v Praze je výzkumnou institucí ČR působící v ochraně obyvatelstva před ionizujícím zářením a v oblasti monitorace radiační situace v ČR. Ve své činnosti je řízen a podléhá SÚJB.
- **Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany (SUJCHBO)** je veřejnou výzkumnou institucí sídlící v Příbrami – Kamenné, která je řízena SÚJB. (Pejchal, Šinkorová, Tichý, Vávrová, Zárybnická, 2013, s. 44), (SÚJB, 2017)

8.1 Směrnice a doporučení EU zabývající se radiační ochranu:

- **Základní principy radiační ochrany** řeší směrnice Rady 2013/59/Euratom ze dne 5. prosince 2013, kterou se stanovují základní bezpečnostní standardy ochrany před nebezpečím vystavení se ionizujícímu záření. (Zákon č. 263/2016, 2016, s. 3938)
- **Lékařské ozáření** řeší směrnice Rady 2013/59/Euratom ze dne 5. prosince. (Zákon č. 263/2016, 2016, s. 3938)
- **Radiační ochrana pracovníků** se zdroji IZ řeší směrnice Rady 2013/59/Euratom ze dne 5. prosince. (Zákon č. 263/2016, 2016, s. 3938)
- **Kontrolu uzavřených zářičů a opuštěných zdrojů** řeší směrnice Rady 2013/59/Euratom ze dne 5. prosince. (Zákon č. 263/2016, 2016, s. 3938)
- **Převahu radioaktivních odpadů a radioaktivních látek** řeší zákon č. 263/2016 Sb. ze dne 14. července 2016, atomový zákon (Zákon č. 263/2016, 2016, s. 3938).

8.2 Atomový zákon

Je **zákon č. 263/2016 Sb. ze dne 14. července 2016, atomový zákon**. § 1 zpracovává příslušné předpisy Evropského společenství pro atomovou energii a Evropské unie a vymezuje další úpravy. Zákon vyšel v platnost 1.1.2017.

Ze Sbírký zákonů k němu patří i tyto prováděcí právní předpisy:

1. 379/2016 Sb. - Vyhláška o schválení typu některých výrobků v oblasti mírového využívání jaderné energie a ionizujícího záření a přepravě radioaktivní nebo štěpné látky
2. 378/2016 Sb. - Vyhláška o umístění jaderného zařízení
3. 377/2016 Sb. - Vyhláška o požadavcích na bezpečné nakládání s radioaktivním odpadem a o vyřazování z provozu jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie
4. 376/2016 Sb. - Vyhláška o položkách dvojího použití v jaderné oblasti

5. 375/2016 Sb. - Vyhláška o vybraných položkách v jaderné oblasti
6. 374/2016 Sb. - Vyhláška o evidenci a kontrole jaderných materiálů a oznamování údajů o nich
7. 362/2016 Sb. - Vyhláška o podmínkách poskytnutí dotace ze státního rozpočtu v některých existujících expozičních situacích
8. 361/2016 Sb. - Vyhláška o zabezpečení jaderného zařízení a jaderného materiálu
9. 360/2016 Sb. - Vyhláška o monitorování radiační situace
10. 359/2016 Sb. - Vyhláška o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události
11. 358/2016 Sb. - Vyhláška o požadavcích na zajišťování kvality a technické bezpečnosti a posouzení a prověřování shody vybraných zařízení
12. 347/2016 Sb. - Nařízení vlády o sazbách poplatků na odbornou činnost Státního úřadu pro jadernou bezpečnost
13. 408/2016 Sb. - Vyhláška o požadavcích na systém řízení
14. 409/2016 Sb. - Vyhláška o činnostech zvláště důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany, zvláštní odborné způsobilosti a přípravě osoby zajišťující radiační ochranu registranta
15. 422/2016 Sb. – Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje (SÚJB, 2017).

Ministerstvo zdravotnictví České republiky vydalo 26.1.2016 Věstník, který obsahuje standardy radiologické péče, týkající se výpočetní tomografie, radiační onkologie a nukleární medicíny. (SÚJB, 2017)

II. PRAKTICKÁ ČÁST

9. VÝZKUMNÉ OTÁZKY

- 1. Jaký je vztah mezi výší vzdělání a znalostmi týkajícími se ionizujícího záření?**
- 2. Existuje souvislost mezi věkem respondentů a získanými znalostmi o ionizujícím záření?**
- 3. Mají respondenti obavy podstupovat vyšetření nebo léčbu související s radiační zátěží?**

10. METODIKA

Bakalářská práce na téma „*Radiační zátěž ve zdravotnictví*“ je teoreticko-výzkumná práce využívající dotazníkové šetření.

DOTAZNÍK

Pro výzkumnou část bakalářské práce byl vytvořen anonymní dotazník vlastní výroby, týkající se všeobecných znalostí souvisejících s radiační zátěží.

VÝZKUM

Výzkum probíhal v období od ledna do března roku 2017.

VÝZKUMNÝ VZOREK

Výzkumný vzorek zahrnoval širokou veřejnost a byl distribuován respondentům v Pardubickém a Královehradeckém kraji.

VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH DAT

Pro vyhodnocení získaných dat byly použity programy MS Word a MS Excel.

11. VÝSLEDKY VÝZKUMU

Při dotazníkovém šetření bylo osloveno 99 respondentů. Na většinu otázek odpověděli všichni dotázaní. Výsledky výzkumu jsou zpracovány chronologicky v grafické podobě.

Otázka č. 1



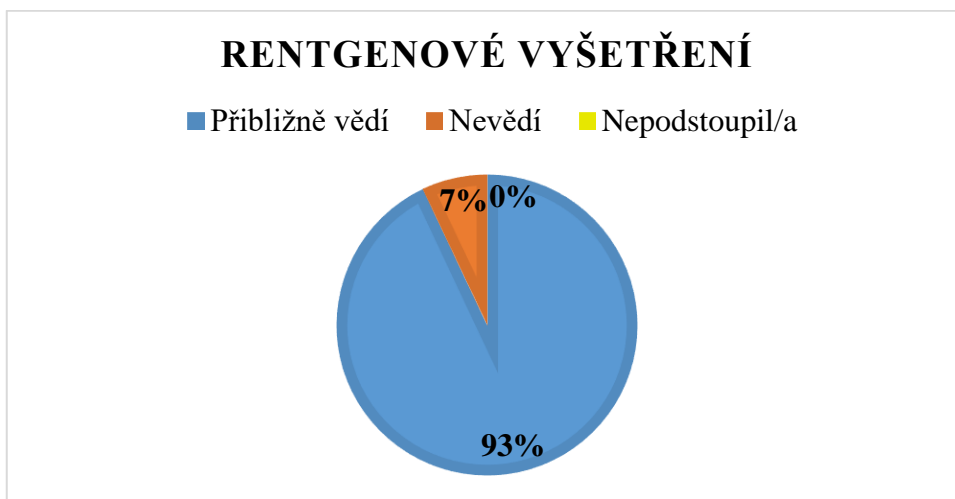
Graf 6 Otázka č.1²⁷

Odpovědělo 74 % předpokládanou možností ANO, zbylých 22 % uvedlo jako odpověď možnost NEVÍM a 4 % označilo odpověď NE. Z toho je možné usoudit, že pro téměř ¼ respondentů je pojem ionizující záření neznámý.

²⁷ Zdroj: vlastní

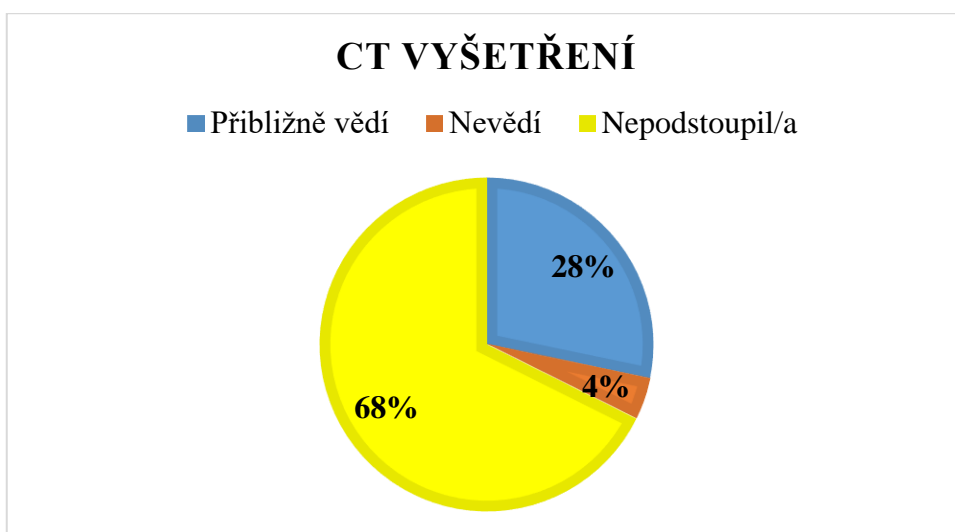
Otázka č. 2

Máte přibližnou představu o počtu vyšetření a léčbě, které jste v životě podstoupil (a)?



Graf 7 Otázka č. 2.1²⁸

93 % dotázaných mělo přibližnou představu, kolikrát se v nemocnici dostali do kontaktu s rentgenovým zářením (v mnoha případech uváděli i konkrétní počty).

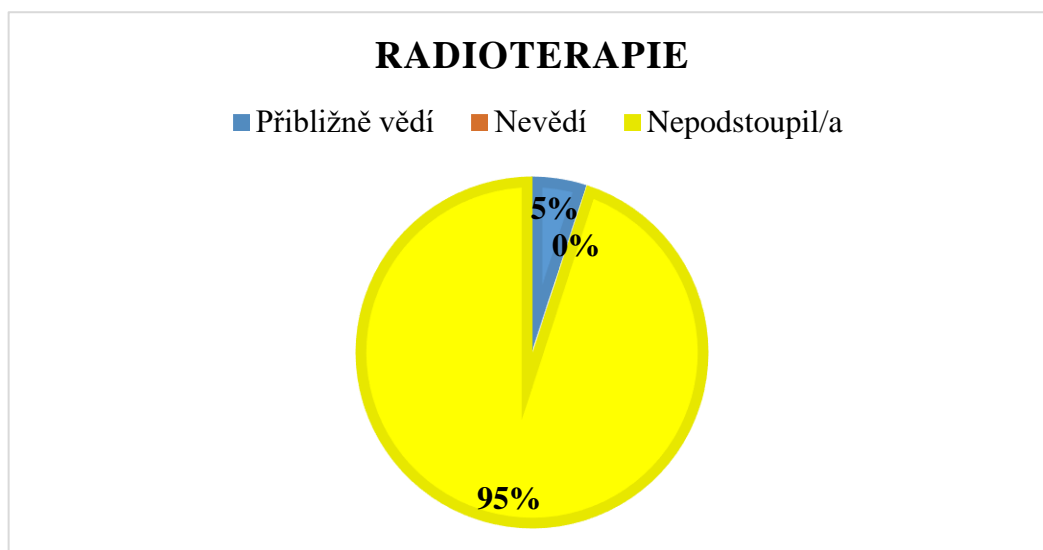


Graf 8 Otázka č. 2.2²⁹

V porovnání s rentgenovým vyšetřením, u kterého téměř všichni respondenti uvedli jeho absolvování, je v případě CT vyšetření zjištěn úplný opak, kdy 68 % uvedlo, že vyšetření nikdy nepodstoupilo.

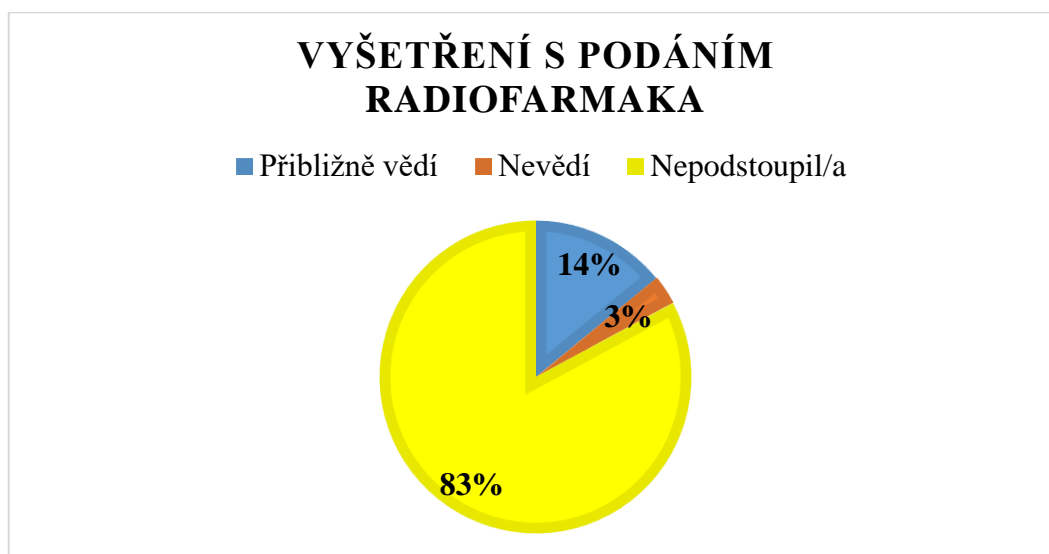
²⁸ Zdroj: vlastní

²⁹ Zdroj: vlastní



Graf 9 Otázka č. 2.3³⁰

Radioterapie je velmi účinná metoda používající se u vážně onkologicky nemocných pacientů, ve zkoumaném vzorku se s touto léčbou setkalo 5 % dotázaných.



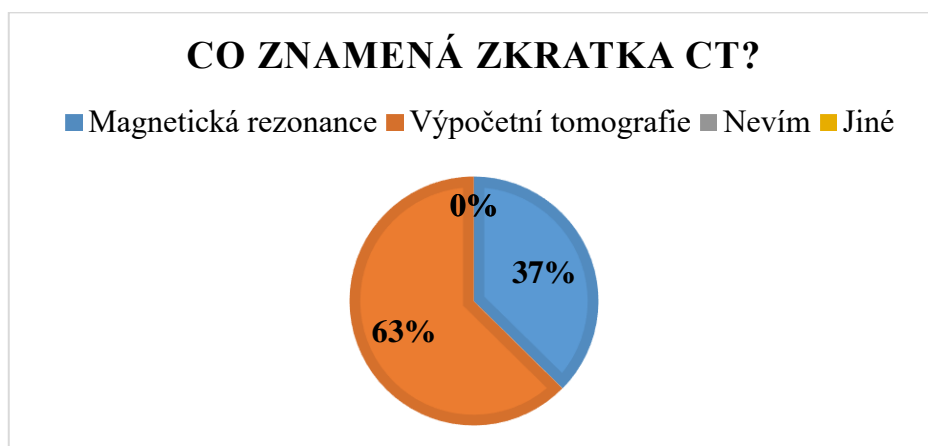
Graf 10 Otázka č. 2.4³¹

Očekávané bylo jen malé % respondentů (podobně jako u předcházející otázky), kteří se podrobili vyšetření s podáním radiofarmaka. Výsledek je nad očekávání vyšší.

³⁰ Zdroj: vlastní

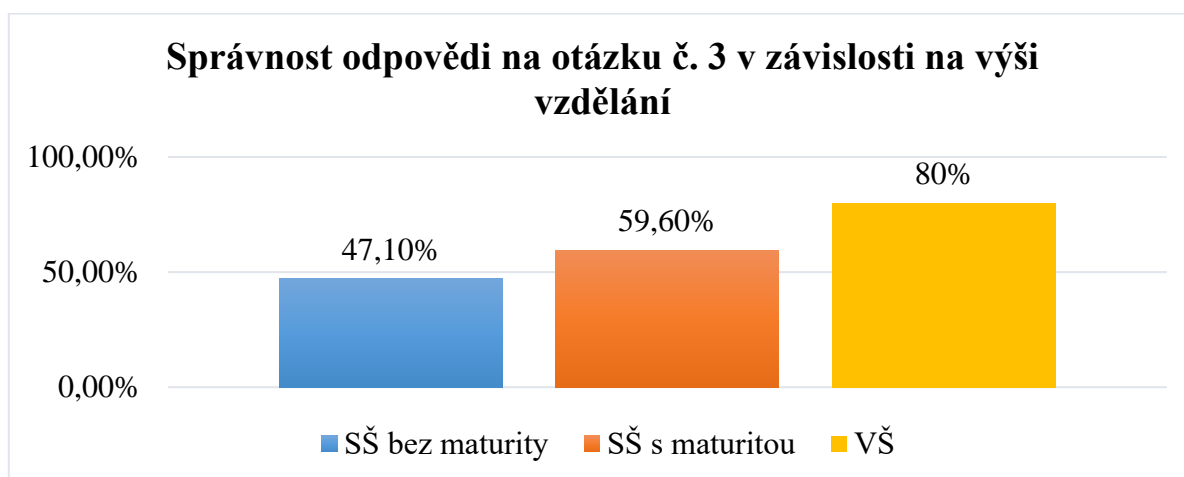
³¹ Zdroj: vlastní

Otázka č.3



Graf 11 Otázka č. 3³²

63 % respondentů správně vybralo odpověď 'Výpočetní tomografie'.

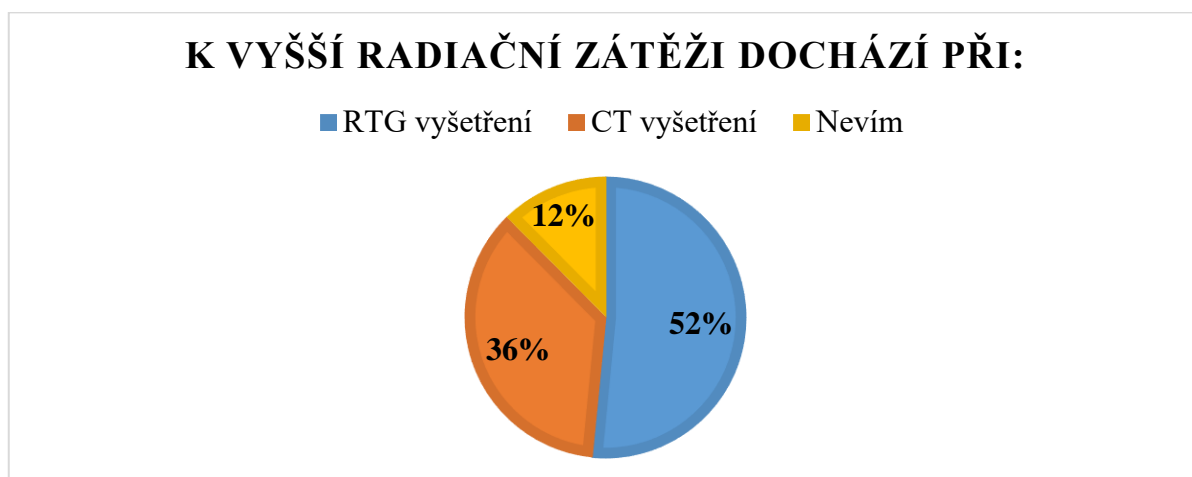


Graf 12 Závislost otázky č. 3 na otázce č. 21.3

Zkratka CT je velmi často slýchaný pojem v oblasti medicíny, přesto byl ve značné míře čítající 37 % zaměňován za pojem magnetická rezonance, který nemá s ionizujícím zářením nic společného. Z graf 13 vyplývá, že při výběru správné odpovědi na otázku č. 3 mělo velký vliv vzdělání, kdy se četnost výběru správné odpovědi zvyšovala s výší dosaženého vzdělání.

³² Zdroj: vlastní

Otázka č.4



Graf 13 Otázka č. 4³³

Celkem 36 % respondentů vybralo správnou odpověď (CT vyšetření). Z toho vyplývá, že 64 % dotázaných nemá dostatečné informace o zátěži, kterou daná vyšetření přinášejí. Tato skutečnost může být ovlivněna i tím, že se mnoho respondentů ještě nikdy CT vyšetření nepodrobilo, což byla velmi častá odpověď u otázky č.2.

Otázka č. 5



Graf 14 Otázka č. 5³⁴

Správnou odpověď, že k radiční zátěži v tomto případě nedochází, uvedlo 41 % respondentů.

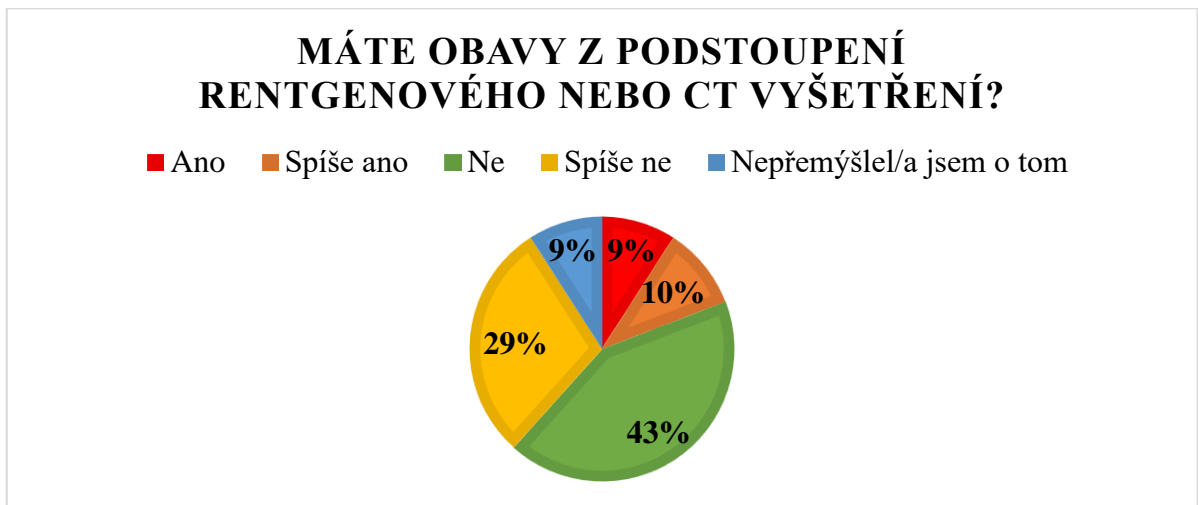
³³ Zdroj: vlastní

³⁴ Zdroj: vlastní

- Otázky 6-8 se zaměřují na **subjektivní obavy respondentů v souvislosti s podstoupením vyšetření či terapie využívající IZ.**

Z grafů je patrné, jak odlišně respondenti vnímají jednotlivé metody vyšetření a terapie. V případě RTG a CT vyšetření 72 % respondentů nemá nebo spíše nemá žádné obavy a 9 % o tom nikdy nepřemýšlelo. U aplikace radiofarmak 44 % respondentů má nebo spíše má obavy a 26 % o tom nikdy nepřemýšlelo. Z radioterapie má nebo spíše má obavy 53 % respondentů a 31 % o tom nikdy nepřemýšlelo.

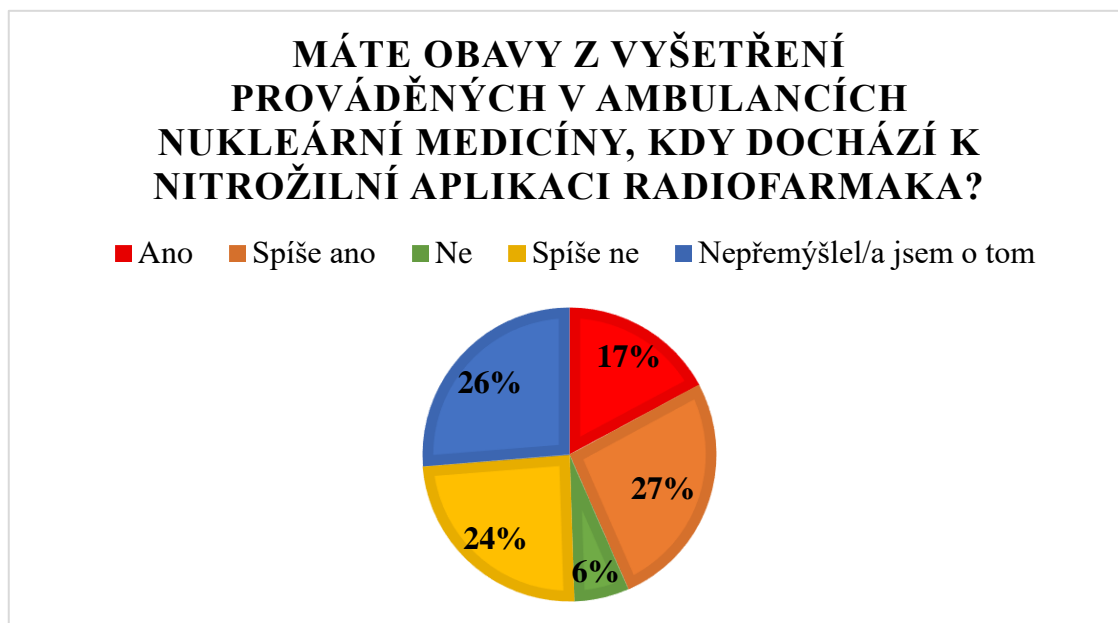
Otázka č. 6



Graf 15 Otázka č. 6³⁵

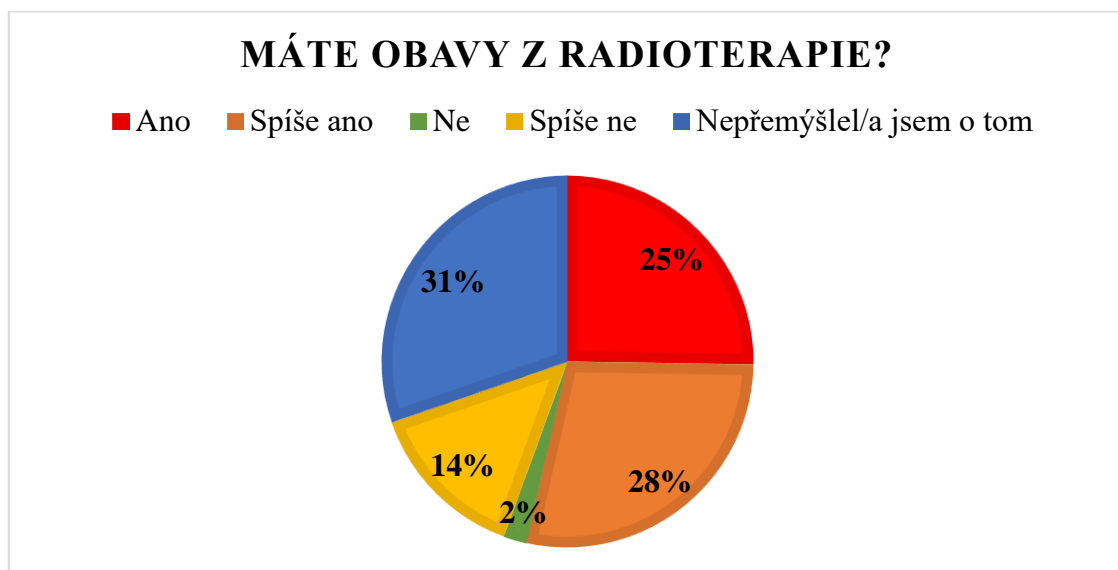
³⁵ Zdroj: vlastní

Otázka č. 7



Graf 16 Otázka č. 7³⁶

Otázka č. 8



Graf 17 Otázka č.8³⁷

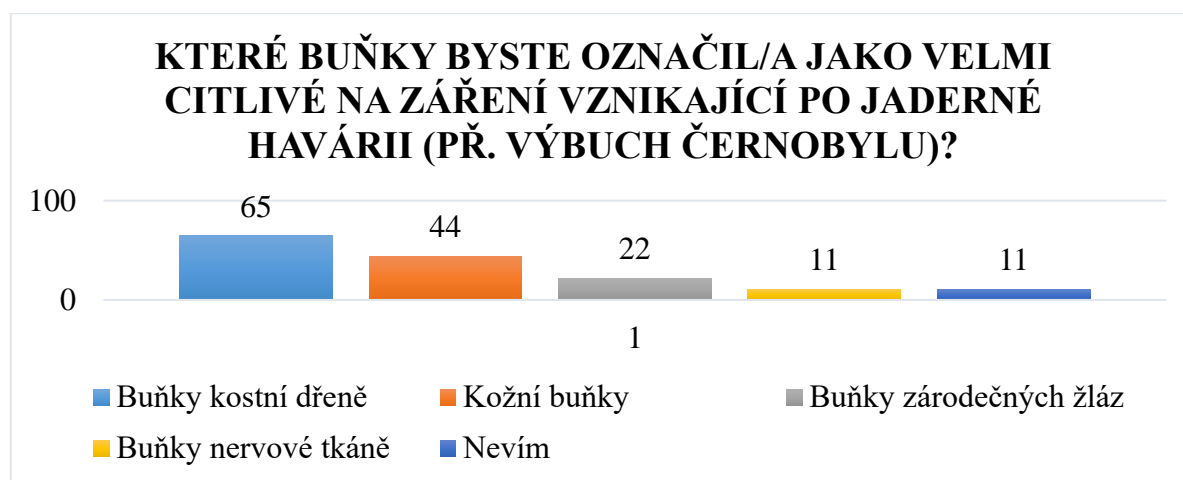
Z výsledků vyplývá, že nejméně mají respondenti obavy z diagnostických vyšetření (RTG a CT), při kterých je radiační zátěž nižší než při podání radiofarmak či při radioterapii. Tato skutečnost je pravděpodobně spojena se skutečností, že naprostá většina respondentů již byla

³⁶ Zdroj: vlastní

³⁷ Zdroj: vlastní

podrobena vyšetření RTG (95 %, viz. Graf 8) a je tedy předpoklad, že mají alespoň základní vědomosti o rizicích s tímto typem vyšetření spojených. Oproti tomu u vyšetření, která nepodstoupili, mohou být obavy spojeny s nedostatkem informací. Současně se jedná o metody, u kterých skutečně dochází k vyšší radiační zátěži. Dalším faktorem může být skutečnost, že radiofarmaka a radioterapie jsou metody spojené s horší zdravotní prognózou oproti CT či RTG vyšetření. Obavy tedy nemusí být spojeny s metodou, ale se zdravotním stavem, který je s tímto vyšetřením (terapií) spojen.

Otázka č. 9



Graf 18 Otázka č. 9³⁸

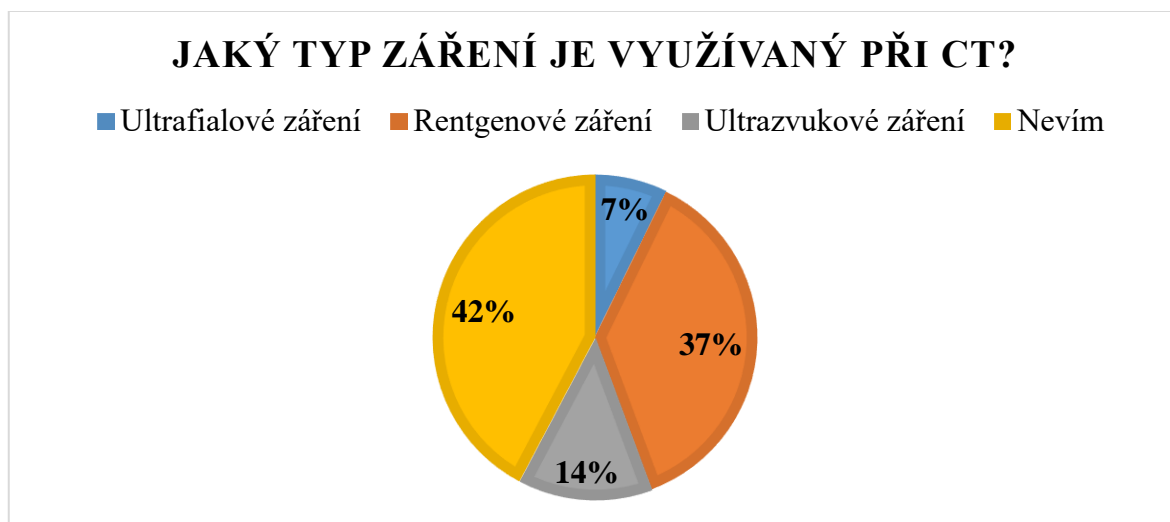
Tato otázka měla více správných odpovědí: buňky kostní dřeně, buňky kožní a buňky zárodečných žláz. Každá odpověď je hodnocena individuálně, nejčastěji 65krát byla vybrána odpověď buňky kostní dřeně. Níže jsou uvedeny hodnoty tkáňových váhových faktorů daných buněk sloužící pro zhodnocení rizika stochastických účinků, dále hraniční absorbované dávky pro vznik deterministických účinků. S ohledem na citlivost lze výběr seřadit od nejcitlivějších k nejvíce odolným buňkám následovně:

³⁸ Zdroj: vlastní

<u>Buňky</u>	<u>W_T</u>	<u>Absorbovaná dávka, hranice pro deterministické účinky</u>
Červená kostní dřev	0,12	Hraniční příznaky hematologické dřevové formy akutní nemoci z ozáření se mohou projevit už při dávce 1 Gy , častěji však vznikají po celotělové expozici dávce 3-4 Gy .
Kůže	0,01	Akutní lokální poškození prvního stupně (erytematózní dermatitis) se rozvíjí po dávce v kůži 2-4 Gy , druhý stupeň (deskvamativní dermatitis) se rozvíjí po ozáření 20 Gy a třetí stupeň (nekrotická dermatitis) po dávce 50 Gy . Ke vzniku nenádorových pozdních poškození kůže (např. chronické radiační dermatitidy) dochází po prahové dávce 30-50 Gy .
Gonády	0,08	K poškození fertility dochází u mužů při nižších dávkách než u žen. Dočasné poškození plodnosti mužů se projeví již při dávkách 0,1- 0,3 Gy , trvalá v dávce nad 3 Gy . U žen dávky 2,5-8 Gy způsobí u mladších žen sterilitu v 60-70 %, u starších ve 100 %.
Nervová tkáň		Spodní hranicí pro neurovaskulární syndrom je radiační dávka 30 Gy , Dávky 50–70 Gy způsobí poškození nervových buněk v mozku, ještě vyšší dávky způsobí nereparabilní poškození.

Tabulka 4 Hraniční hodnoty pro poškození tkáně (Hušák, 2009, s. 36-37), (Ullmann, 2017, k. 5.3.5)

Otázka č. 10

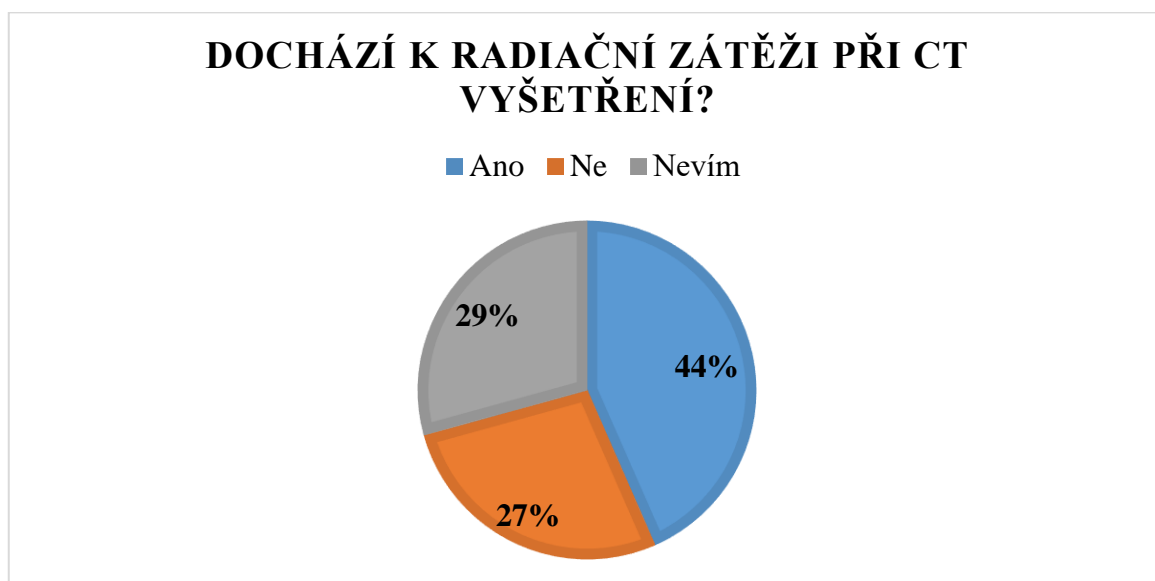


Graf 19 Otázka č. 10³⁹

Celkem 37 % respondentů uvedlo správnou odpověď (rentgenové záření).

³⁹ Zdroj: vlastní

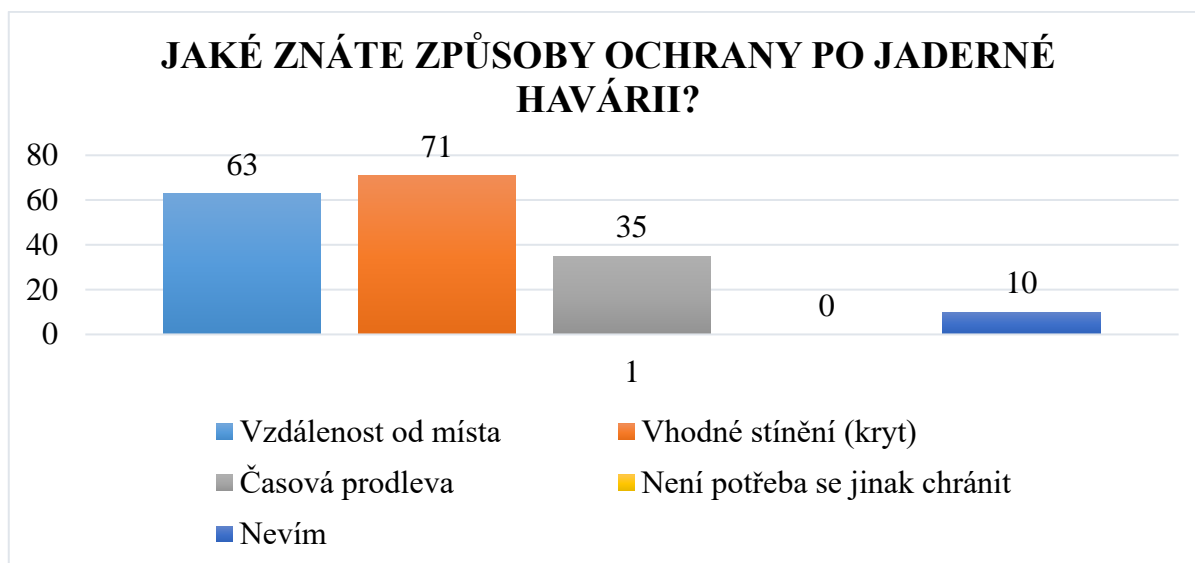
Otázka č. 11



Graf 20 Otázka č. 11⁴⁰

Celkem 44 % respondentů uvedlo správnou odpověď (ANO).

Otázka č. 12



Graf 21 Otázka č. 12⁴¹

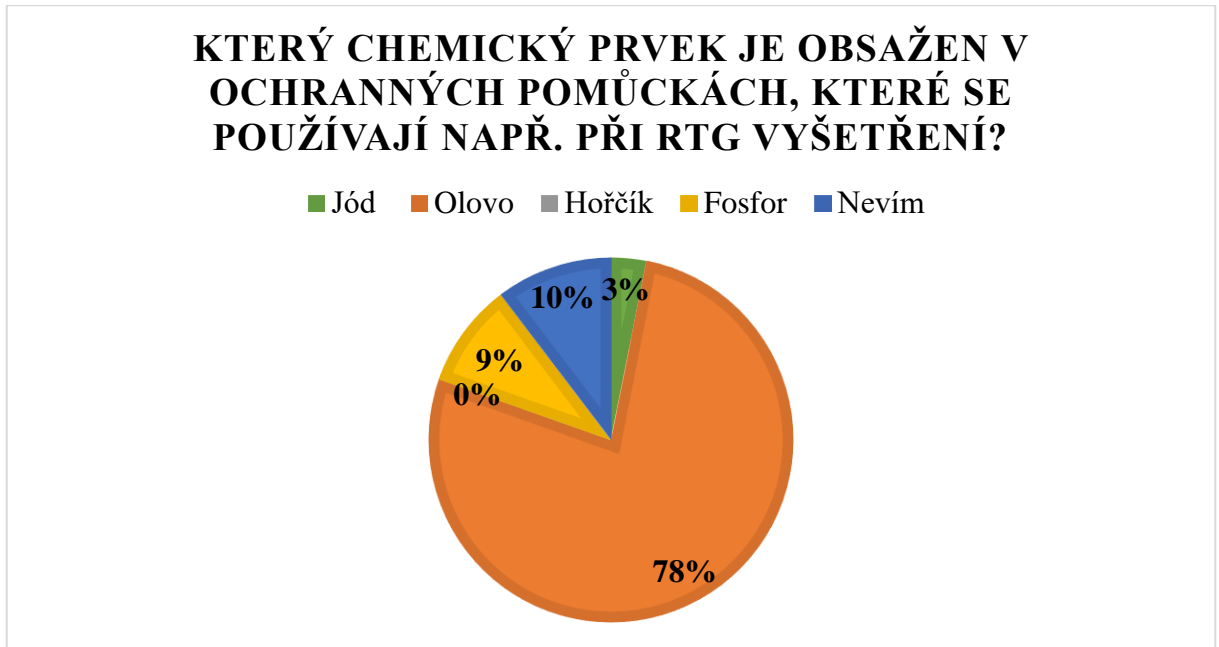
Správné odpovědi na tuto otázku jsou: Vzdálenost od místa, vhodné stínění (kryt), časová prodleva. Většina respondentů uváděla více správných odpovědí, tento fakt může být ovlivněn četným zastoupením generace, která měla ve školních osnovách začleněna branná cvičení, ve kterých se prakticky nacvičovaly způsoby ochrany při této mimořádné události. Méně často

⁴⁰ Zdroj: vlastní

⁴¹ Zdroj: vlastní

byla v povědomí respondentů časová expozice, při které dochází ke zvyšování absorbované dávky. Časová prodleva mezi dobou působení a zajištěním vhodné ochrany, či zamezením působení zdroje by proto měla být co nejnižší.

Otázka č. 13

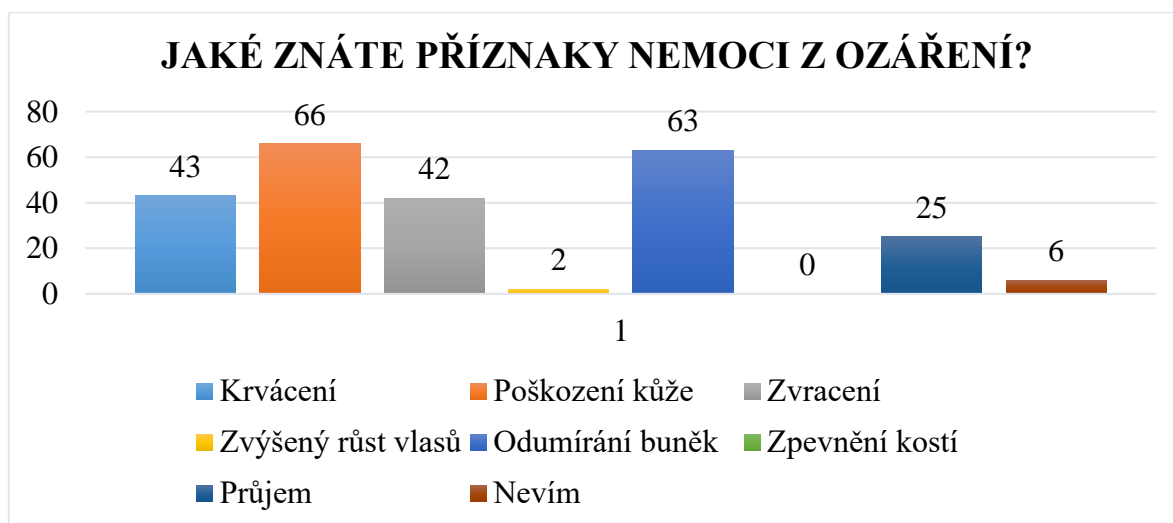


Graf 22 Otázka č. 13⁴²

Správně odpovědělo 78 % dotázaných (olovo).

⁴² Zdroj: vlastní

Otázka č. 14



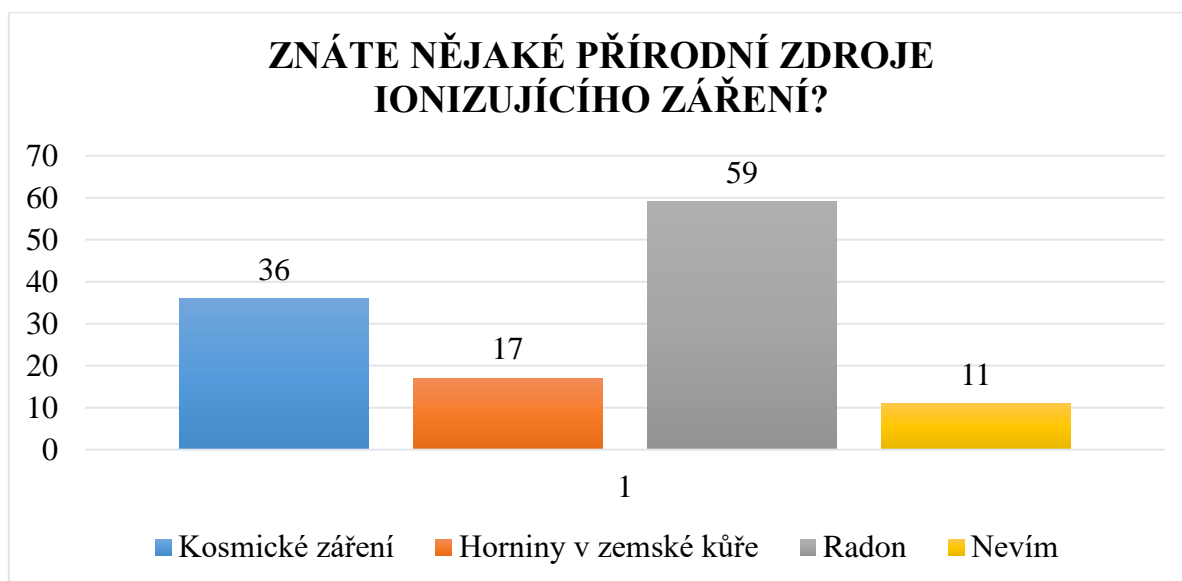
Graf 23 Otázka č. 14⁴³

Mezi správné odpovědi patří krvácení, poškození kůže, zvracení, odumírání buněk a průjem. Respondenti často vybírali více správných odpovědí. Přibližně ve 2/3 odpovědí se vyskytovalo poškození kůže a odumírání buněk. Na zastoupení těchto odpovědí může mít vliv dokumentace dřívějších jaderných havárií. Fotografický materiál často zachycuje zasažené s rozsáhlou radiační dermatitidou.

Vlivem ozáření dochází k poškození buněk (*odumírání buněk*) různých typů tkání. Akutním projevem je nemoc z ozáření, která může zahrnovat poškození krevetvorby, kdy dochází ke snížení tvorby krevních elementů, včetně krevních destiček (*krvácení*), při vyšších dávkách poškození gastrointestinálního traktu (*průjem*), a neslučitelným se životem je poškození centrální nervové soustavy (*zvracení*). Dojde-li k povrchové kontaminaci může dojít k rozvoji radiační dermatitidy (*poškození kůže*). Vlivem záření nedochází ke zvýšenému růstu vlasů ani ke zpevňování kostí.

⁴³ Zdroj: vlastní

Otázka č. 15



Graf 24 Otázka č. 15⁴⁴

Správné odpovědi jsou: kosmické záření, horniny v zemské kůře a radon. Nejvíce v povědomí respondentů byl radon (59 %), což může to souviset s velkým medializováním výskytu radonu v podloží ČR, který by měl být sledovaný u obydlých prostor.

Otázka č. 16



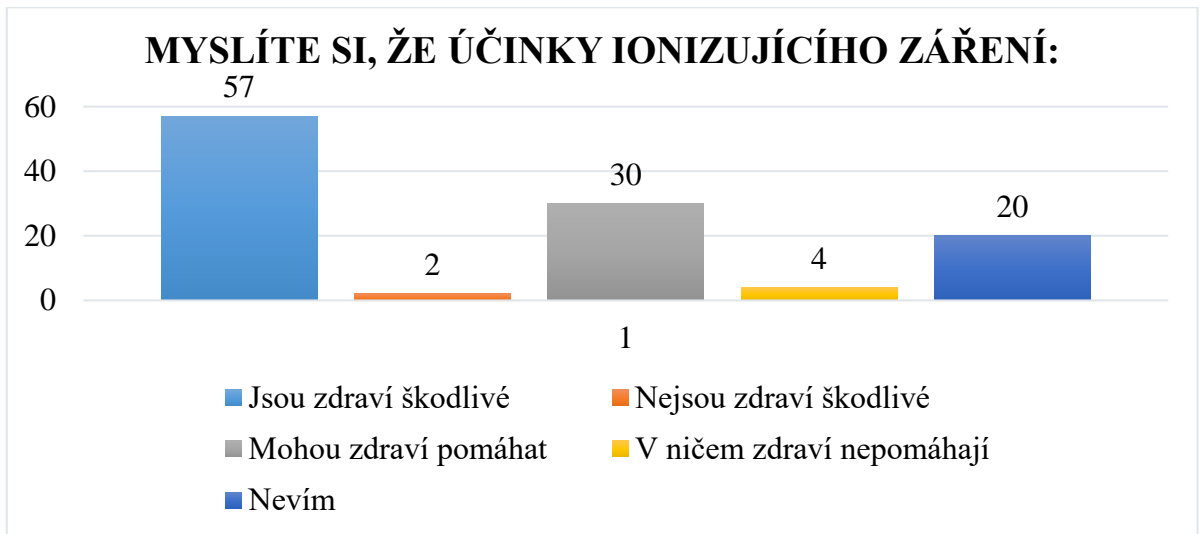
Graf 25 Otázka č. 16⁴⁵

Tento obrázek si respondenti z 85 % vyložili správně, zbylých 15 % k obrázku nenapsalo žádnou odpověď nebo ho nedokázali správně interpretovat.

⁴⁴ Zdroj: vlastní

⁴⁵ Zdroj: vlastní

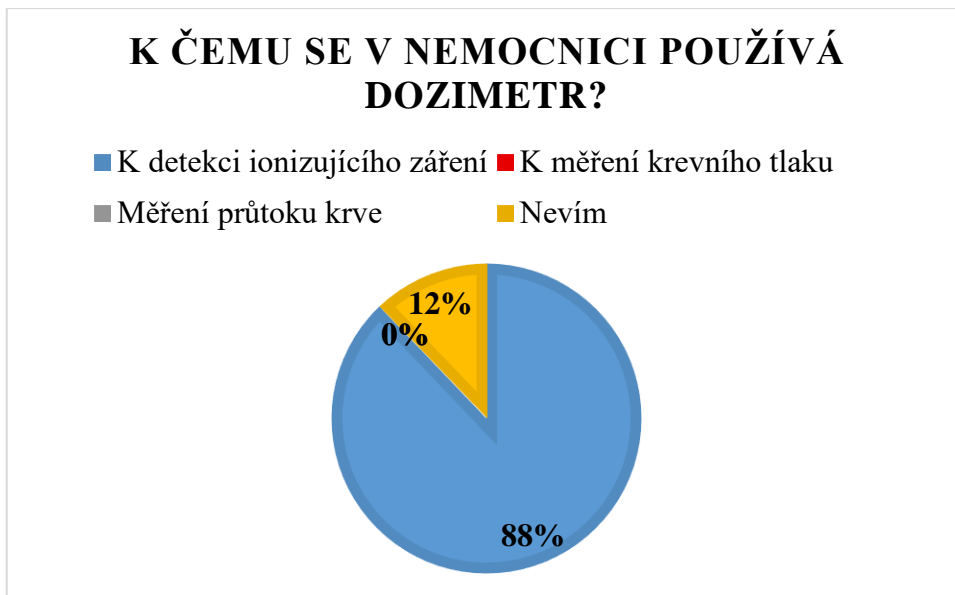
Otázka č. 17



Graf 26 Otázka č. 17⁴⁶

57 % respondentů si uvědomuje škodlivost ionizujícího záření. 30 % respondentů zohledňuje, že mohou zdraví pomáhat (terapie, diagnostika), obě tyto odpovědi byly správné.

Otázka č. 18



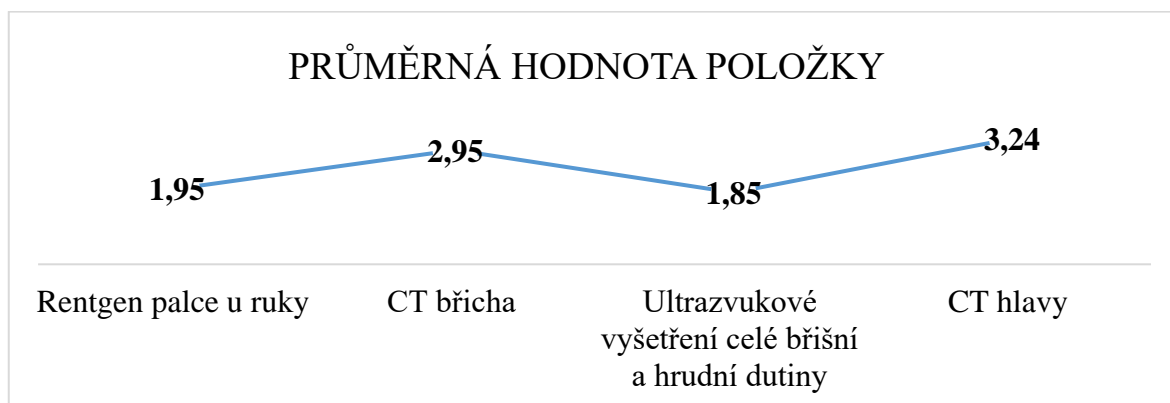
Graf 27 Otázka č. 18⁴⁷

Na tuto otázku 88 % tázaných odpovědělo správně (k detekci IZ).

⁴⁶ Zdroj: vlastní

⁴⁷ Zdroj: vlastní

Otázka č. 19 - Navrhnete rozřazení radiační zátěže od nejmenší (1) po největší (4) při následujících vyšetřeních:



Graf 28 Otázka č. 19⁴⁸

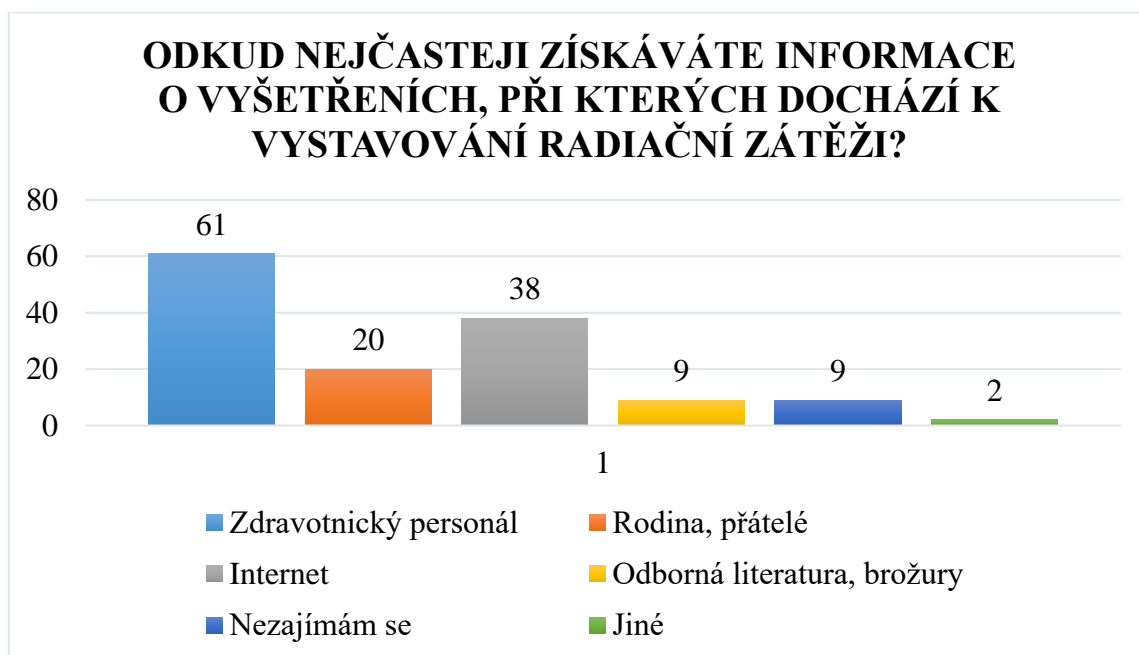
Následující tabulka uvádí správné rozřazení a zprůměrované rozřazení respondenty. Z výsledků rozřazení vyplývá, že respondenti mají informace týkající se ultrazvukového vyšetření a vědí, že s jeho používáním není spojeno radiační zatížení. Při porovnávání CT hlavy a CT břicha se však neřídili celkovou plochou, kterou vyšetření zasáhne.

Správné rozřazení	UZ vyšetření celé břišní a hrudní dutiny (1)	Rentgen palce ruky (2)	CT hlavy (3)	CT břicha (4)
Rozřazení dle respondentů	UZ vyšetření celé břišní a hrudní dutiny (1,85)	Rentgen palce ruky (1,95)	CT břicha (2,95)	CT hlavy (3,24)

Tabulka 5 Správné x špatné odpovědi na otázku č. 19

⁴⁸ Zdroj: vlastní

Otázka č. 20



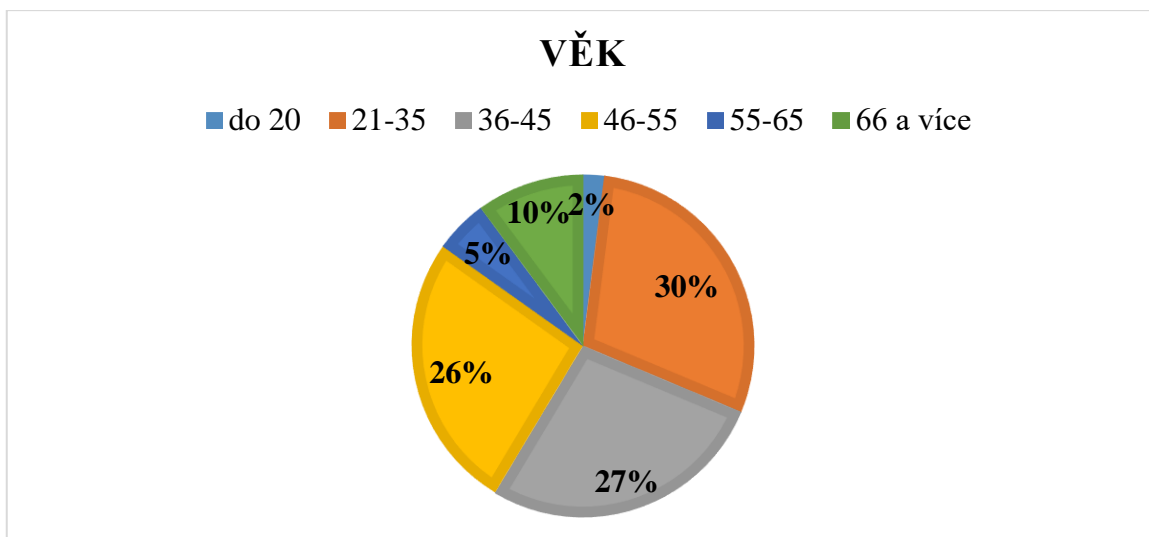
Graf 29 Otázka č. 20⁴⁹

Mezi nejčastější zdroje informací týkající se zdravotních vyšetření patří zdravotnický personál a internetové zdroje. Internetové zdroje mohou přinášet riziko zkreslení validity informace, proto je dobré informace ověřovat a porovnávat i z jiných zdrojů (odborné články, knihy apod.), popř. dalších internetových zdrojů.

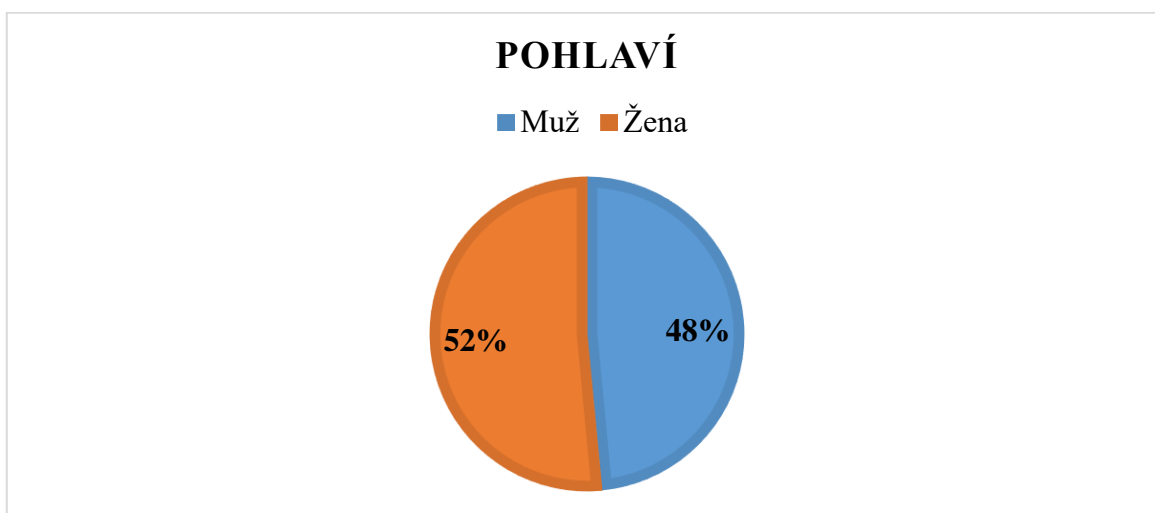
Otázka č. 21

Další otázky z dotazníku jsou informativní a slouží k představě o složení skupiny respondentů.

⁴⁹ Zdroj: vlastní



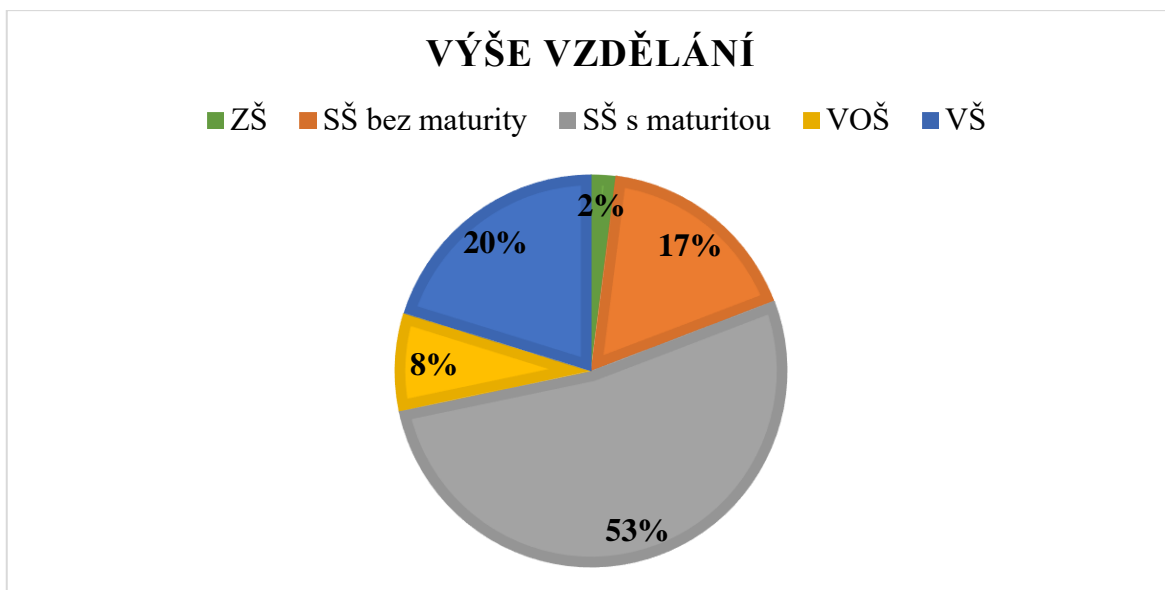
Graf 30 Otázka č. 21.1⁵⁰



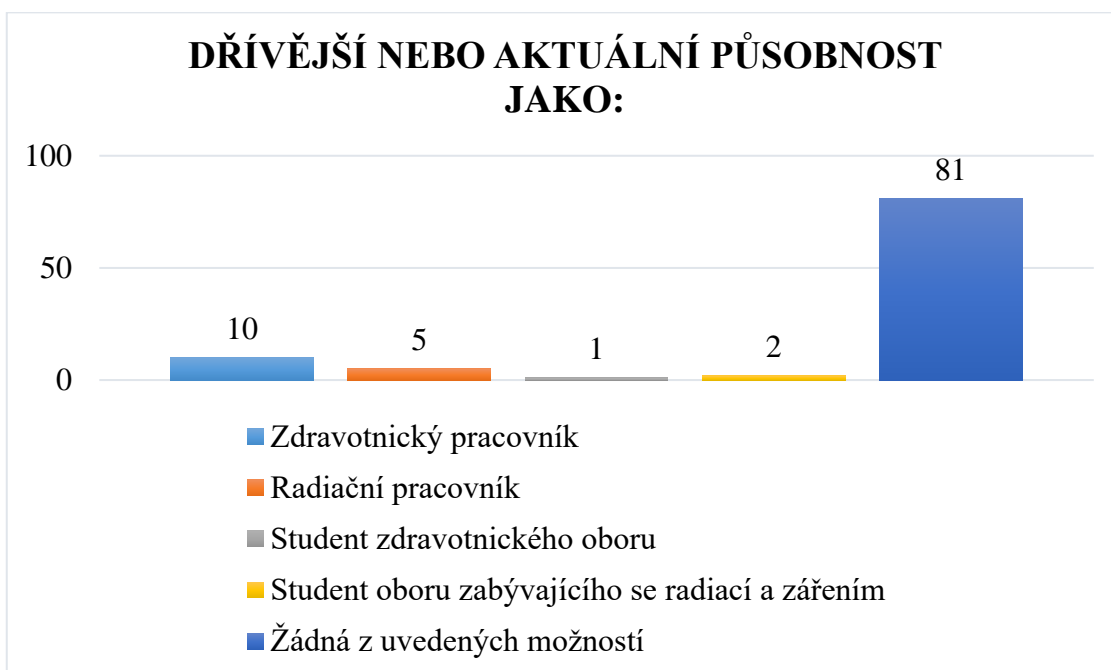
Graf 31 Otázka č. 21.2⁵¹

⁵⁰ Zdroj: vlastní

⁵¹ Zdroj: vlastní



Graf 32 Otázka č. 21.3⁵²



Graf 33 Otázka č. 21.4⁵³

⁵² Zdroj: vlastní

⁵³ Zdroj: vlastní

12. DISKUZE

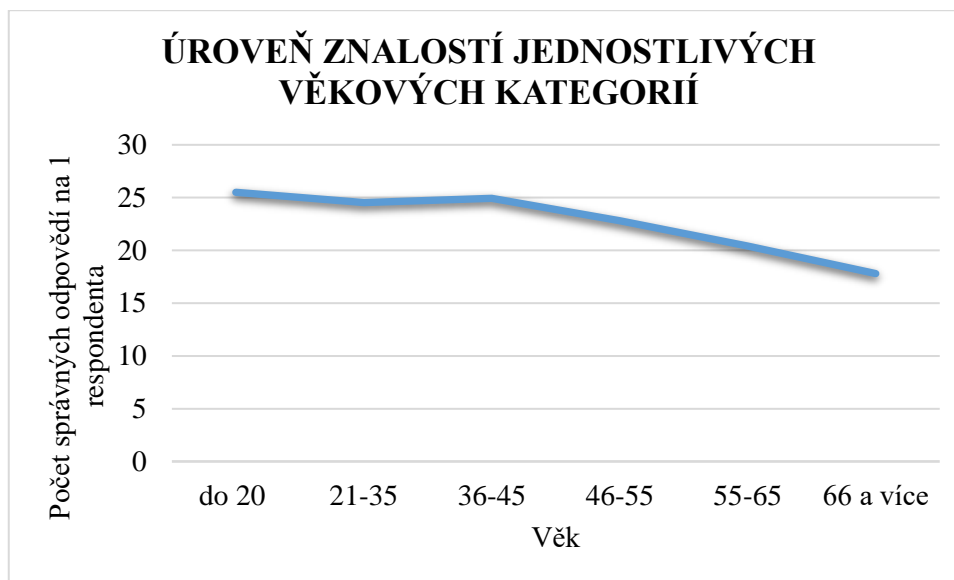
Zdraví každého člověka je během celého jeho života ovlivňováno radiací a ionizujícím zářením, ať už z přírodních nebo umělých zdrojů. Vlivy takového působení na lidské zdraví jsou kladné, ale i záporné. Ochranou vůči negativním účinkům radiace a ionizujícímu záření se lidé začali zabývat zanedlouho po jejich objevech. Přestože od té doby došlo k mnoha zlepšením v oblasti radiační ochrany ve zdravotnictví, neznamená to, že došlo k úplné eliminaci negativních vlivů. Stále zde existují případná rizika a nežádoucí účinky, kterým jsou vystavováni pacienti i zdravotnický personál. S rozvojem moderních metod došlo za posledních 30 let k významnému nárůstu radiační zátěže ve zdravotnictví.

Hlavním cílem praktické části práce bylo zjistit všeobecnou informovanost široké veřejnosti obyvatelstva o radiační zátěži. Distribucí anonymního dotazníkového šetření mezi respondenty ochotnými se na výzkumu podílet, byla prostřednictvím validně vyplněných dotazníků získána potřebná data mapující povědomí oslovených o radiaci a ionizujícím záření. Byly stanoveny tři výzkumné otázky, které byly zodpovězeny na základě odpovědí 99 respondentů, kterým byl předložen dotazník. Výběr respondentů byl náhodný a účast byla dobrovolná. V případě, že některé otázky umožňovaly vícečetný výběr odpovědí, byla každá odpověď hodnocena jako individuální možnost zastoupená jedním bodem. Při určování odpovědí byla získaná data vyhodnocována vzhledem k jednomu respondentu, což umožnilo vytvoření průměrného zástupce konkrétní skupiny respondentů.

V rámci studia literatury nebyla dohledána žádná obdobná práce zabývající se všeobecnou informovaností respondentů o ionizujícím záření a radiaci. Z tohoto důvodu jsou odpovědi respondentů zpracovávány jako originální a nejsou porovnávány s jinými obdobnými pracemi.

Výzkumná otázka č.1: **Existuje souvislost mezi věkem respondentů a získanými znalostmi o ionizujícím záření?**

Odpověď na otázku byla získána souhrnným zpracováním otázek č. 1, 3-5 a 9-19.

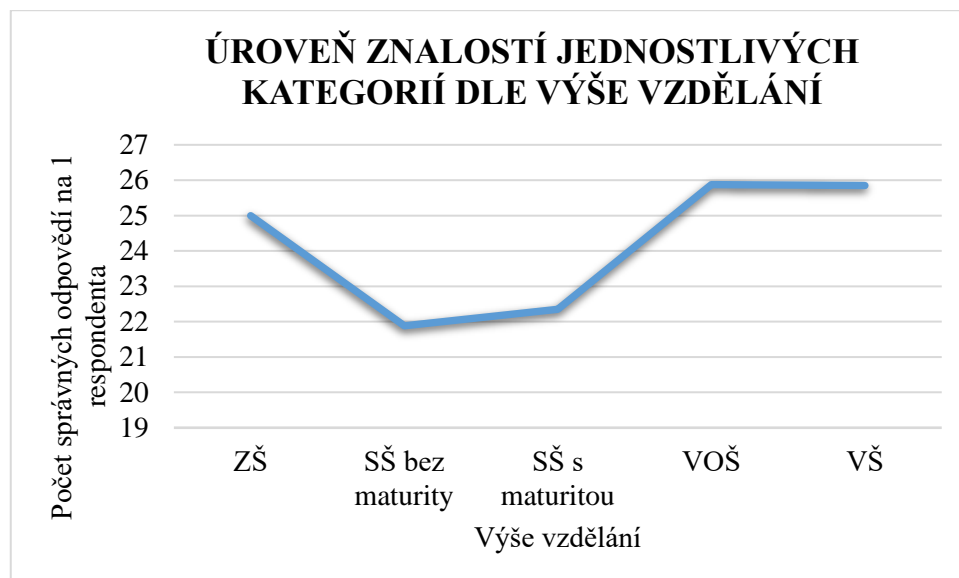


Graf 34 Výzkumná otázka č.1

Předpoklad této otázky byl, že výše věku bude mít vliv na znalosti týkající se radiace a ionizujícího záření. Zpracováním získaných odpovědí je možné dospět ke zjištění, že čím vyšší byl věk respondentů, tím nižší byly znalosti týkající této problematiky. Toto zjištění může být ovlivněno změnami školských osnov, které jsou odlišné v dnešní době a před např. 50 lety. Velký vliv na úroveň znalostí starší generace může mít i nižší zájem o informace týkající se konkrétní podstupované terapie či vyšetření. Oproti tomu mladší generace stále více přebírá zodpovědnost za své zdraví, s čímž souvisí i zájem o informace týkající se dané oblasti. Lidé se oproti dřívějším dobám začínají více zajímat o to, jak vyšetření a terapie probíhají, a jakým způsobem bude ovlivněno jejich zdraví. Dále může být překážkou i problém se k těmto informacím dostat, protože u starší generace se mohou vyskytnout problémy s používáním soudobých informačních technologií, prostřednictvím kterých mladší generace nejčastěji informace získává.

Výzkumná otázka č. 2: **Jaký je vztah mezi výší vzdělání a znalostmi týkajícími se ionizujícího záření?**

Odpověď na otázku jsem získala souhrnným zpracováním otázek č. 1, 3-5 a 9-19.



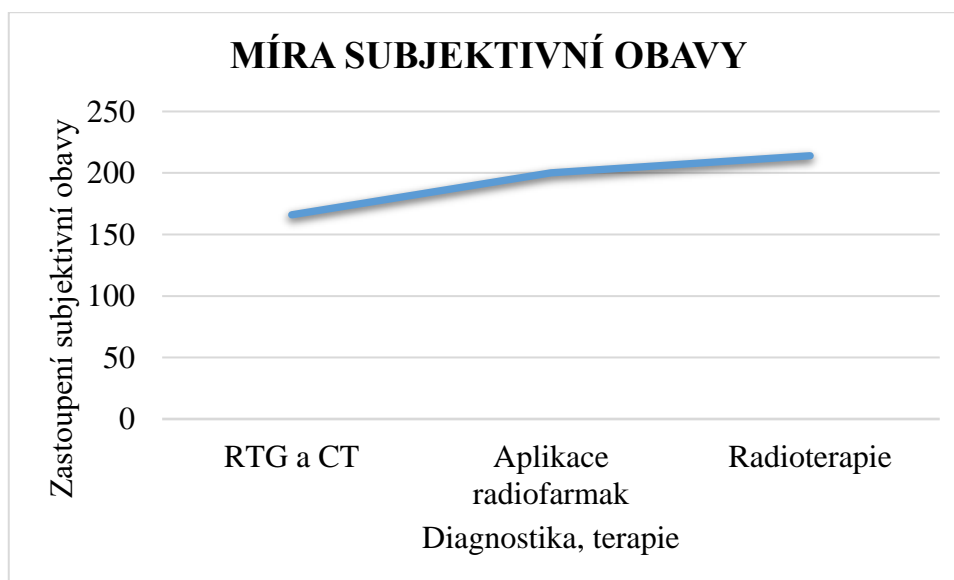
Graf 35 Výzkumná otázka č. 2⁵⁴

Předpoklad této otázky byl, že vzdělání bude mít vliv na úroveň znalostí. Zpracováním odpovědí bylo zjištěno, že čím vyšší bylo vzdělání respondentů, tím četnější byl výběr správných odpovědí na otázky. Skupina se ZŠ vzděláním čítající pouze 2 respondenty, tvoří výjimku, proto není brána do celkového hodnocení této výzkumné otázky.

⁵⁴ Zdroj: vlastní

Výzkumná otázka č.3: **Mají respondenti obavy podstupovat vyšetření nebo léčbu související s radiací zátěží?**

Odpověď na otázku jsem získala zpracováním otázek č. 6-8.



Graf 36 Výzkumná otázka č.3⁵⁵

Předpoklad této otázky byl, že největší obavy respondentů budou z radioterapie, protože maligní onemocnění a jejich léčba přinášející mnoho nežádoucích účinků jsou v dnešní době často diskutovaná témata. Zpracováním odpovědí bylo zjištěno, že míra obavy respondentů byla nejvyšší u radioterapie. Na celkovém strachu se může podílet mnoho faktorů, mezi které patří např. četnost opakování terapie či vyšetření, zkušenost s vyšetřením či terapií, délka trvání procesu, vedlejší účinky, medializace daného tématu a mnoho dalších.

⁵⁵ Zdroj: vlastní

ZÁVĚR

Bakalářská práce na téma „Radiační zátěž ve zdravotnictví“ v teoretické části historicky zmapovala objev radiace a ionizujícího záření, přiblížila metody používající tyto zdroje, zdravotní rizika, způsoby ochrany v souladu s nově platným Atomovým zákonem č. 263/2016 Sb.

Závěry vyplývající z dotazníkového šetření vypovídají o informovanosti i o subjektivních pocitech respondentů v souvislosti s radiační zátěží, se kterou se mohou jako pacienti setkat v rámci zdravotnictví, a uvádí je do souvislosti s věkem a vzděláním respondentů.

Výzkumnými otázkami a jejich vyhodnocením bylo dospěno k následujícím zjištěním týkajících se náhodného vzorku populace. Starší generace má oproti mladší méně informací týkajících se ionizujícího záření a radiace. Podle očekávání se potvrdila zvýšená informovanost u respondentů s vyšším dosaženým vzděláním. Poslední otázka odhalila, že největší obavy mají respondenti z podstoupení radioterapie.

Pozitivním vedlejším efektem dotazníkového šetření jsou kladné zpětné ohlasy některých respondentů, jež tematika radiační zátěže zaujala a přiměla je k rozšíření svých znalostí.

LITERATURA

Literární zdroje:

BENEŠ, Jiří, Jaroslava KYMPLOVÁ a František VÍTEK. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi.* 1. vyd. Praha: Grada, 2015, 228 s. ISBN 978-80-247-4712-5.

HUŠÁK, Václav. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty.* 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.

KLENER, Vladislav, ed. *Principy a praxe radiační ochrany.* 1. vyd. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000, 619 s. ISBN 80-238-3703-6.

KOLEKTIV AUTORŮ. *Kronika medicíny.* 1.vyd., Praha: Fortuna print, 1994, 648 stran, ISBN 80-85873-16-8.

KUBÍNEK, Roman, Hana KOLÁŘOVÁ a Renata HOLUBOVÁ. *Fyzika pro každého, aneb, Rychlokurz fyziky.* 1. vyd. Olomouc: Rubico, 2009, 350 s. ISBN 978-80-7346-095-2.

NEKULA, Josef, Petr KRUPA, Jiří KOZÁK a Dana HOUSERKOVÁ. *Klinická radiologie: skriptum.* 1. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2014, 263 s. ISBN 978-80-7464-564-8.

PEJCHAL, Jaroslav, Zuzana ŠINKOROVÁ, Aleš TICHÝ, Jiřina VÁVROVÁ, Zdena VILASOVÁ a Lenka ZÁRYBNICKÁ. *Biofyzika pro záchranáře 1. díl.* Hradec Králové, 2013. Studijní texty. Fakulta vojenského zdravotnictví Univerzity obrany v Hradci Králové.

PEJCHAL, Jaroslav, Zuzana ŠINKOROVÁ, Aleš TICHÝ, Jiřina VÁVROVÁ a Lenka ZÁRYBNICKÁ. *Biofyzika pro záchranáře 2.díl.* Hradec Králové, 2013. Studijní texty. Fakulta vojenského zdravotnictví Univerzity obrany v Hradci Králové.

SVOBODA, Milan. *Kontrastní látky při vyšetřování rentgenem.* Praha: Spofa, 1964

SVOBODNÝ, Petr a Ludmila HLAVÁČKOVÁ. *Dějiny lékařství v českých zemích.* 1. vyd. Praha: Triton, 2004, 248 s. ISBN 80-7254-424-1.

ZÁMEČNÍK, Jiří. *Radioterapie: učebnice pro střední zdravotnické školy, studijní obor radiologický laborant.* 2.vyd. Praha: Avicenum, 1990, 476 s. Učebnice pro střední zdravotnické školy (Avicenum). ISBN 8020100512.

Internetové zdroje:

BOZP. *BOZP info: Principy radiační ochrany – bezpečnost a ochrana zdraví při práci* [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.bozpinfo.cz/principy-radiacni-ochrany-bezpecnost-ochrana-zdravi-pri-praci>

CorpusOmne. [online]. 2015 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z:

<https://co.fjfi.cvut.cz/2015/03/08/z-historie-jadernych-oboru-v-ceskych-zemich-i-1896-1918/>

ČESKO. Vyhláška č. 422/2016 Sb. ze dne 23. prosince 2016 o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: *Sbírka zákonů České republiky.* 2016, částka 172, s. 6618-6903. Dostupné také z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasaky/sb0172-2016.pdf>

ČESKO. Zákon č. 263/2016 ze dne 14. července 2016 Atomový zákon. In: *Sbírka zákonů České republiky.* 2016, částka 102, s. 3938-4060. Dostupné také z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/263-2016.pdf>.

ČEZ. Skupina ČEZ, a.s.: *Jaderná a radiační bezpečnost.* [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k34.htm>

ČEZ. Skupina ČEZ, a.s.: *Rentgenové záření* [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/k11.htm>

ČEZ. Skupina ČEZ, a.s.: *Objevitelé* [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani/pro-zajemce-o-informace/historie-a-soucasnost/objevitele.html>

HENEBERG, Petr. *Vtm.e15: Aféra radium girls* [online]. Historie. [online]. [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://vtm.e15.cz/clanek/afera-radium-girls>

FYZMATIK [online]. 2009 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/800-rntgenovo-zareni.html>

HLOUŠEK, Jan. *Atomové století* [online]. Jáchymov [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://www.jachymov-joachimsthal.cz/kniha/atomove-stoleti/10.pdf>

HŮLKA, Jiří a Irena MALÁTOVÁ. *SÚRO: Radiační situace v České republice, přehled hlavních výsledků měření a opatření* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/radiacni_situace_v_cr_po_cernobylu.pdf

JANEČEK, Ivan, René KALUS a Daniel HRIVŇÁK. *Kvantová, atomová a jaderná fyzika* [online]. Ostrava, 2006 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: http://artemis.osu.cz/mmfiz/am/am_1_3_1.htm

NOBELPRIZE [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1906/thomson-bio.html

PETROVÁ, Karla. *SÚJB. Státní úřad pro jadernou bezpečnost* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/seminare/1_sledovani_a_hodnoceni_davek_RP_petrova_2014.pdf

SKALICKÁ FREITINGER, Zuzana, Jiří HALAŠKA, Renata HAVRÁNKOVÁ, et al. *Radiobiologie* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>

SÚJB. Státní úřad pro jadernou bezpečnost. *SÚJB / Úvod / Legislativa* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/legislativa/>

SÚJB. Státní úřad pro jadernou bezpečnost. [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/307_po_novele.pdf

SÚRO: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. *Úvod / Radiační ochrana / Historie* [online]. [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/historie>

SÚRO. Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. *Úvod / Radon a přírodní ozáření / Obecné informace* [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecné-informace>

SÚRO: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. *Úvod / Radon a přírodní ozáření / Dávky obyvatelstvu – verze2* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: http://www.suro.cz/cz/prirodnioz/rozdeleni_davek_res.png/view

ULČOVÁ, Radka. *Radiační zátěž osob pracujících v riziku ionizujícího záření ve Fakultní nemocnici Plzeň.* České Budějovice, 2014. Dostupné také z: http://theses.cz/id/7qhrn6/DP_Ulov.pdf. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zdravotně sociální fakulta Katedra radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva. Vedoucí práce Prof. Dr.rer.nat. Friedo ZÖLZER.

ULLMANN, Vojtěch. *AstroNuklFyzika* [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/strana1.htm>

PŘÍLOHY

Příloha 1 VZOROVÝ DOTAZNÍK	78
Příloha 2 VELIČINY A JEDNOTKY	80
Příloha 3 RENTGENKA	82

Příloha 1 VZOROVÝ DOTAZNÍK

Dobrý den,

Jsem studentka Fakulty zdravotnických studií na UPCE (obor Zdravotnický záchranář). Provádím výzkum, který se zabývá problematikou ionizujícího záření a s tím související radiační zátěží. Chtěla bych Vás požádat o vyplnění tohoto anonymního dotazníku, jehož výsledky budou zpracovány v mé bakalářské práci. Vyplnění dotazníku potrvá maximálně 10 minut. Dle uvážení je možné označit i více odpovědí. Vybrané odpovědi prosím zaškrtněte nebo doplňte. Prosím Vás o vyplňování dotazníku v pořadí otázek 1- 23, k vyplněným otázkám se zpět nevracejte. Děkuji Vám za spolupráci.

- 1) Byl(a) jste někdy v kontaktu s ionizujícím zářením?
 Ano Ne Nevím

- 2) Máte přibližnou představu o počtu vyšetření a léčbě, které jste v životě podstoupil (a)?
Rentgenové vyšetření
CT vyšetření
Radioterapie
Vyšetření s podáním radiofarmaka

- 3) Co znamená zkratka CT?
 Magnetická rezonance Výpočetní tomografie Nevím
 Jiné:.....

- 4) K vyšší radiační zátěži dochází při:
 RTG vyšetření CT vyšetření Nevím

- 5) Dochází k radiační zátěži u vyšetření magnetickou rezonancí?
 Ano Ne Nevím

- 6) Máte obavy z podstoupení rentgenového nebo CT vyšetření?
 Ano Spíše ano Ne Spíše ne Nepřemýšlel/a jsem o tom

- 7) Máte obavy z vyšetření prováděných v ambulancích nukleární medicíny, kdy dochází k nitrožilní aplikaci radiofarmaka?
 Ano Spíše ano Ne Spíše ne Nepřemýšlel/a jsem o tom

- 8) Máte obavy z radioterapie?
 Ano Spíše ano Ne Spíše ne Nepřemýšlel/a jsem o tom

- 9) Které buňky byste označil (a) jako velmi citlivé na záření vznikající po jaderné havárii (př. výbuch Černobylu)?
 Buňky kostní dřeně Kožní buňky Buňky zárodečných žláz
 Buňky nervové tkáně Nevím

- 10) Jaký typ záření je využíván při CT?
 Ultrafialové záření Rentgenové záření Ultrazvukové záření Nevím

- 11) Dochází k radiační zátěži při CT vyšetření?
 Ano Ne Nevím

- 12) Jaké znáte způsoby ochrany po jaderné havárii?
 Vzdálenost od místa Vhodné stínění (kryt) Časová prodleva
 Není potřeba se nijak chránit Nevím

13) Který chemický prvek je obsažen v ochranných pomůckách, které se používají např. při RTG vyšetření?

- Jód Olovo Hořčík Fosfor Nevím

14) Jaké znáte příznaky nemoci z ozáření?

- Krvácení Poškození kůže Zvracení Zvýšený růst vlasů
 Odumírání buněk Zpevnění kostí Průjem Nevím

15) Znáte nějaké přírodní zdroje ionizujícího záření?

- Kosmické záření Horniny v zemské kůře Radon Nevím

16) Jak byste si vyložil (a) následující značku?



17) Myslíte si, že účinky ionizujícího záření:

- Jsou zdraví škodlivé Nejsou zdraví škodlivé Mohou zdraví pomáhat
 V ničem zdraví nepomáhají Nevím

18) K čemu se v nemocnici používá dozimetr?

- K detekci ionizujícího záření K měření krevního tlaku
 Měření průtoku krve Nevím

19) Navrhněte rozřazení radiační zátěže od nejmenší (1) po největší (4) při následujících vyšetřeních:

- Rentgen palce u ruky – CT břicha –
Ultrazvukové vyšetření celé břišní a hrudní dutiny – CT hlavy –

20) Odkud nejčastěji získáváte informace o vyšetřeních, při kterých dochází k vystavování radiační zátěži?

- Zdravotnický personál Rodina, přátelé Internet
 Odborná literatura, brožury Nezajímám se Jiné:.....

21) Na závěr Vás prosím o vyplnění doplňujících informací, které se týkají Vašeho:

1. Věku:

- do 20 21-35 36-45 46-55 55-65 66 a více

2. Pohlaví:

- Muž Žena

3. Výše vzdělání:

- ZŠ SŠ bez maturity SŠ s maturitou VOŠ VŠ

4. Dřívějšího nebo aktuálního působení jako:

- Zdravotnický pracovník Radiační pracovník
 Student zdravotnického oboru Student oboru zabývajícího se radiací a zářením
 Žádná z uvedených možností

Jestliže Vás tato problematika zaujala a chtěli byste se dozvědět více o radiační zátěži, doporučuji Vám navštívit stránky www.sujb.cz nebo www.suro.cz, kde naleznete mnoho zajímavých informací.

Příloha 2 VELIČINY A JEDNOTKY

<u>Veličiny a jednotky používané v radiační ochraně</u>	Jednotka			
Název/Zkratka	Název	Značka	Rozměr	Vzorec
Dávkový ekvivalent H – je součin dávky D v uvažovaném bodě tkáně a jakostního činitele Q (vyjadřuje rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření).	Sievert	Sv	m ² .s ⁻²	$H = Q \cdot D$
Efektivní dávka E – <i>součet</i> ekvivalentních dávek v jednotlivých tkáních či orgánech vážených tkáňovým váhovým faktorem w_T , jež vyjadřuje rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání z hlediska pravděpodobnosti vzniku <u>stochastických účinků</u> (zhoubných nádorů a genetických změn).	Sievert	Sv	J.kg ⁻¹	$E = \sum_T w_T H_T$
Ekvivalentní dávka H_T je součin radiačního váhového faktoru w_R a střední <u>absorbované dávky</u> D _{T,R} v orgánu nebo tkáni T pro ionizující záření typu R.	Sievert	Sv	J.kg ⁻¹	$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$

Tabulka 6 Veličiny a jednotky používané v radiační ochraně (Skalická Freitinger, Halaška, Havránková, 2017, k. 1.5)

<u>Veličiny dozimetrie ionizujícího záření</u>	Jednotka			
Název/Zkratka	Název	Značka	Rozměr	Vzorec
Absorbovaná dávka D je poměr střední energie <i>de</i> sdělené v objemovém elementu dávky o hmotnosti <i>dm</i> a hmotnosti tohoto elementu.	Gray	Gy	J.kg ⁻¹	$D = \frac{\bar{d\varepsilon}}{dm}$
Dávkový příkon je poměr přírůstku dávky <i>dD</i> za čas <i>dt</i>			Gy.s ⁻¹	$D = \frac{dD}{dt}$

Tabulka 7 Veličiny dozimetrie ionizujícího záření (Skalická Freitinger, Halaška, Havránková, 2017, k. 1.5).

<u>Veličiny a jednotky charakterizující zdroj záření</u>	Jednotka			
Název/Zkratka	Název	Značka	Rozměr	Vzorec
Aktivita A je počet radioaktivních přeměn v této látce vztahený na jednotku času.	Becquerel	Bq	s ⁻¹	$A = \frac{dN}{dt}$
Přeměnová konstanta λ je pravděpodobnost jaderné přeměny, která je pro každé radioaktivní jádro charakteristická.				$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$

Tabulka 8 Veličiny a jednotky charakterizující zdroj záření (Skalická Freitinger, Halaška, Havránková, 2017, k. 1.5).

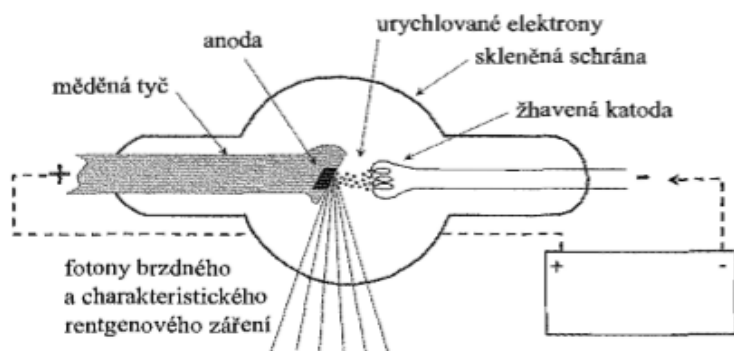
Příloha 3 RENTGENKA

Principem rentgenového záření je rentgenka. Jedná se o skleněnou trubici, obsahující anodu, katodu a vakuum, ve které vzniká ionizující elektromagnetické záření neboli proud fotonů. Kladná elektroda nazvaná katoda je tvořena žhavenými spirálovitě zahnutými dráty z wolframu (používá se kvůli vysoké teplotě tání) nebo molybdenu (vzniká měkčí záření, které se využívá v mamografii), rhenia nebo grafitu (u zatěžovaných rentgenek CT), ze kterého jsou působením vysokého napětí usměřovány elektrony na zápornou elektrodu zvanou anodu. Při žhavení 10 V a 7-10 A dojde k zahřátí většímu než 2000 OC a termoemisi neboli uvolnění elektronů. Vysokým napětím v anodě (30-140 Kv) začnou mezi oběma částmi v úzkém svazku proudit elektrony a dopadat na anodu (místo, kde vzniká rtg záření, se označuje jako ohnisko), kde se 99 % přemění na teplo A 1 % na fotony rentgenového záření.

Z tohoto důvodu musí být anoda zchlazována vzduchem nebo rotací, aby se měnilo místo, kam dopadají elektrony. (Hušák, 2009, s. 31), (Beneš, Kyplová, Vítek, 2015, s. 180-181)

Intenzita je závislá na počtu elektronů, které dopadnou na anodu. S rostoucím napětím mezi anodou a katodou roste pronikavost záření, málo pronikavé záření označujeme jako měkké, hodně pronikavé záření jako tvrdé. Dále rozeznáváme brzdné záření, vznikající změnou rychlosti elektronu v elektromagnetickém poli jader atomu anody a charakteristické rentgenové záření, které vzniká při přechodu elektronu z vyšší energetické hladiny elektronového obalu atomu do nižší energetické hladiny (energie fotonu se rovná rozdílu energií). (Hušák, 2009, s. 31), (Nekula, Krupa, Kozák, Houserková, 2014, s. 3-5)

V rentgenkách využíváme zejména brzdné záření, které se uplatňuje u většiny rentgenových vyšetření, výjimku tvoří pouze mamografické vyšetření, kde se využívá záření charakteristické (Hušák, 2009, s. 31), (Nekula, Krupa, Kozák, Houserková, 2014, s. 3-5).



Obrázek 4 Schématický nákres rentgenky se stacionární anodou (Hušák, 2009, s. 31)