



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

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

Analýza výsledků osobní dozimetrie na vybraných pracovištích FN Plzeň

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: **OCHRANA OBYVATELSTVA**

Autor: Bc. Daniela Šeflová

Vedoucí práce: Mgr. Jana Štěpánková, Ph.D.

České Budějovice 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem „*Analýza výsledků osobní dozimetrie na vybraných pracovištích FN Plzeň*“ jsem vypracovala samostatně s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby diplomové práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé diplomové práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 12. května 2019

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala paní Mgr. Janě Štěpánkové, Ph.D za odborné vedení práce, panu Mgr. Josefu Kaňkovskému, panu doc. MUDr. Ivovi Bernatovi, Ph.D. a panu Mgr. Pavlu Nedbalovi, DiS, za cenné rady a připomínky při zpracování této diplomové práce.

Abstrakt

Analyza výsledků osobní dozimetrie na vybraných pracovištích FN Plzeň

V diplomové práci s výše uvedeným názvem jsem v úvodní části obecně popsala danou problematiku. V úvodní části je popsáno ionizující záření, historie a současnost, jeho druhy a využití a také ochranné pomůcky, které jsou nezbytně nutně používány při práci s ionizujícím zářením. Zabývala jsem se způsoby monitorování pracovníků, pracovišť i pacientů, dále limitováním a veškerými veličinami, které popisují nebo charakterizují ionizující záření. V další části diplomové práce jsem se zaměřila na osobní monitorování, kde jsem popsala druhy dozimetrů. V diplomové práci jsou uvedeny právní předpisy – zákony, vyhlášky a nařízení vlády, které dávají právní rámec dané problematice. V závěrečné části této práce jsem popsala radiodiagnostickou činnost na pracovišti Digitální subtrakční angiografie, Gastroenterologie a Intervenční kardiologie, Fakultní nemocnice Plzeň, z jejichž činnosti jsem čerpala podklady pro tuto práci.

Cílem této diplomové práce bylo zjistit naměřené hodnoty dávek ionizujícího záření u zdravotnického personálu, analyzovat je a posoudit zajištění radiační ochrany na vybraných pracovištích FN Plzeň.

V teoretické části jsem využila veškerých dostupných zdrojů, zahraniční i české literatury. Zdroje jsou uvedeny na závěr této práce. Práce je zaměřena na kvantitativní výzkum, který jsem realizovala v praktické části pomocí statistiky.

Veškeré zpracovávané hodnoty efektivních dávek z osobních dozimetrů jsem získala z evidence Fakultní nemocnice v Plzni. Údaje uvedené v diplomové práci jsou naměřené dávky zdravotnického personálu za posledních sedm let. Dávky byly naměřeny pomocí OSL dozimetrů, které jsou v dnešní době nejpoužívanějším dozimetrem ve zdravotnictví. Hlavním záměrem diplomové práce, vzhledem k tomu, že pracuji jako radiologická asistentka, bylo posouzení a rozbor efektivních dávek u radiologických asistentů, lékařů a zdravotních sester na vybraných pracovištích FN Plzeň, nikoli u pacientů, kteří byli na těchto pracovištích vyšetřeni. Z hlediska pacientů se jedná o lékařské ozáření, spjaté mnohdy s akutní pomocí a záchranou života, prováděné, ale vždy v souladu s principy radiační ochrany – zdůvodnění, optimalizace. Studium dávek pacientů nebylo předmětem předložené diplomové práce.

Klíčová slova

Ionizující záření; radiační ochrana; monitorování; dozimetrie; měření osobních dávek a legislativa.

Abstract

Analysis of the personal dosimetry results at the chosen workplaces at the Pilsen University Hospital

In the diploma thesis with the above name, I have described the subject in general in the introductory part. The diploma thesis describes ionizing radiation, history and present, its types and uses as well as protective aids, which are necessary to use when working with ionizing radiation. I have dealt with the principle of monitoring workers, workplaces and patients, as well as limitations and all the quantities that describe or characterize ionizing radiation. In the next part of my diploma thesis I focused on dosimetry, where I described types of dosimeters. The diploma thesis deals with legislation - laws, decrees and government orders, which give the legal framework of the given issue. In the final part of this thesis I have described the radiodiagnostic activity in the Department of Digital Subtraction Angiography, Gastroenterology and Interventional Cardiology, Pilsen University Hospital, from whose activities I drew background material for this work.

The aim of this diploma thesis was to find out the measured values of doses of ionizing radiation in the medical staff and to analyze the radiation protection provision at the Department of Radiology at FN Pilsen. For comparison, the measured values from the personal dosimeters of the medical staff at the mentioned workplaces at FN Pilsen were used.

In the theoretical part I used all available sources, foreign and Czech literature. Resources are provided at the end of this paper. The work is focused on quantitative research, which I used in the practical part with statistics.

All obtained values from personal dosimeters were obtained from the records of the University Hospital in Pilsen. The data presented in the diploma thesis are measured doses of healthcare personnel for the last seven years. Doses were measured using OSL dosimeters, which are today the most widely used dosimetry in health care. The main aim of the thesis, given that I work as a radiographer, was the examination of the doses of radiographers, doctors and nurses in the Department of Radiology of the Faculty of Nursing in Pilsen, not in the patients who were examined in these departments. In terms of patients, this is a medical exposure, and in this case there is no limit for irradiation.

Key words

Ionizing radiation; radiation protection; monitoring; dosimetry; measurement of personal benefits and legislation.

Obsah

Úvod.....	10
1 Teoretická část	12
1.1 Ionizující záření	12
1.1.1 Druhy ionizujícího záření	13
1.1.2 Využití ionizujícího záření	14
1.1.3 Biologické účinky	15
1.2 Radiační ochrana.....	17
1.2.1 Historický vývoj a smysl.....	17
1.2.2 Principy radiační ochrany.....	18
1.2.3 Způsoby radiační ochrany	24
1.2.4 Kategorizace radiačních pracovníků.....	26
1.2.5 Základní veličiny radiační ochrany.....	26
1.3 Monitorování	30
1.3.1 Monitorování pracoviště.....	31
1.3.2 Osobní monitorování radiačních pracovníků	32
1.3.3 Monitorování výpustí.....	34
1.3.4 Monitorování okolí	34
1.4 Dozimetry.....	34
1.4.1 Základní principy dozimetrie.....	35
1.4.2 Druhy osobních dozimetrů	35
1.5 Legislativní rámec radiační ochrany	41
1.6 Radiologická pracoviště s významnou expozicí radiačních pracovníků...42	
1.6.1 Digitální subtrakční angiografie	42
1.6.2 Intervenční kardiologie	43
1.6.3 Gastroenterologie – ERCP	44
2 Cíle práce a hypotézy	47

3	Metodika výzkumu.....	48
3.1	Osvojení teoretických znalostí zkušeností z osobního monitorování	48
3.2	Shromáždění podkladů pro výzkum.....	50
3.2.1	Digitální subtrakční angiografie	51
3.2.2	Intervenční kardiologie	51
3.2.3	Gastroenterologie – ERCP	52
3.3	Statistické zpracování podkladů	52
4	Výsledky.....	56
4.1	Intervenční radiologie	56
4.2	Intervenční kardiologie.....	70
4.3	Gastroenterologie – ERCP.....	83
5	Diskuze	93
6	Závěr.....	101
7	Seznam literatury	103
8	Zkratky	107
9	Seznam obrázků	108
10	Seznam tabulek.....	109
11	Seznam grafů.....	110
12	Seznam příloh.....	113
13	Přílohy.....	114

Úvod

Každý, kdo užívá zdrojů ionizujícího záření, je povinen v duchu všeobecně uznávaného principu optimalizace záření činit všechna rozumně důležitá opatření k ochraně své, svých spolupracovníků i ostatních osob vyskytujících se v blízkosti používaných zdrojů ionizujícího záření. Základním legislativním rámcem pro práci s ionizujícím zářením je v současné době atomový zákon, který byl přijat 14. července 2016 jako zákon č. 263/2016 Sb. Tímto zákonem a příslušnými platnými vyhláškami se řídí i Fakultní nemocnice Plzeň. Fakultní nemocnice je moderní nemocnice s kvalitními a špičkovými přístroji používajícími ionizující záření pro odhalení různých diagnóz.

V této práci jsou zpracovány údaje z osobní dozimetrie vybraných pracovišť FN Plzeň. V oblasti radiační ochrany, jsou pracoviště vybavena nejrůznějšími ochrannými pomůckami, které jsou nezbytné pro používání a využívání rentgenového záření pro lékařské účely. Tato práce se věnuje činnosti radiologických asistentů, lékařů a zdravotních sester pracujících v oborech s využíváním digitální subtrakční angiografie, intervenční kardiologie a gastroenterologie se zaměřením na oblast radiační ochrany radiačních pracovníků. Cílem práce bylo porovnání naměřených dávek z dozimetrů a vzájemné srovnání v diplomové práci vyjmenovaných pracovišť.

Téma diplomové práce „Analýza výsledků osobní dozimetrie na vybraných pracovištích FN Plzeň“ jsem si vybrala z toho důvodu, že pracuji ve Fakultní nemocnici v Plzni jako radiologická asistentka a zajímalo mě porovnání naměřených osobních dávek z dozimetrů u zdravotnického personálu na vybraných pracovištích. Dalším důvodem, který mě vedl k výběru tohoto tématu, jsou možnosti radiodiagnostických vyšetření v dnešní době, kdy pomocí ionizujícího záření v oblasti zobrazování lidských anatomických a tkáňových struktur, je následně zajištěna a identifikována diagnóza pacienta. Při těchto vyšetřeních nejsou vystavováni ionizujícímu záření pouze pacienti, ale i zdravotnický personál. V diplomové práci jsem se zabývala touto problematikou, s cílem zjistit rozdíly v naměřených dávkách ve zkoumaném období i s porovnáním naměřených hodnot mezi již zmíněnými pracovišti.

V diplomové práci je popsán stručně vývoj používání ionizujícího záření. Radiační ochrana je nejzákladnějším tématem této práce. Část práce je věnována osobní dozimetrii, jsou uvedeny druhy dozimetrů a popis důležitých veličin z oblasti ionizujícího záření a radiační ochrany. V části práce je uvedena legislativa – zákony,

vyhlášky a nařízení vlády, které právně ošetřují problematiku ionizujícího záření a radiační ochrany.

1 Teoretická část

1.1 Ionizující záření

Ionizující záření zahrnuje rentgenové záření, gama záření a částicové neboli korpuskulární záření. Má schopnost ionizovat prostředí, kterým prochází. (Brounková a kol., 2007)

Ionizující záření rozdělujeme do dvou skupin, přírodní zdroje ionizujícího záření a umělé. Mezi přírodní zdroje patří terestrické, kosmické, vnitřní a vnější ozáření. (Hušák, 2009; Brounková, 2007)

Umělé zdroje představují rentgenky, umělé radionuklidy, urychlovače, jaderné reaktory a další. Základní rozdělení zdrojů ionizujícího záření je na zdroje záření alfa, beta, gama, X záření, neutronové záření a fotony. (Hušák, 2009; Kuna, 2005)

Zdrojem ionizujícího záření může být látka, předmět, přístroj nebo takové zařízení, které je schopno vydávat ionizující záření nebo uvolňovat radioaktivní látky. Následující rozdělení představuje přírodní a umělé zdroje ionizujícího záření. Přírodní zdroje ionizujícího záření jsou ty zdroje, které se vyskytují všude kolem nás, nemají žádnou souvislost s činností člověka a představuje tzv. přírodní pozadí. Přírodní radionuklidy zastupují kosmogenní a primordiální radionuklidy a také vznikající sekundárně tvořící přeměnové řady. Radíme sem například kosmické záření, galaktické záření, uran, thorium a radon. Umělé zdroje ionizujícího záření představují uměle vytvořené radionuklidy a generátory záření. Příkladem umělých zdrojů jsou cyklotrony, jaderné reaktory, rentgen, mamograf a výpočetní tomografie CT, dále terapeutická zařízení jako například rentgenové ozařovače, lineární urychlovače, cesiové či kobaltové gama ozařovače nebo Leksellův gama-nůž a v poslední řadě také radiofarmaka využívané hlavně v nukleární medicíně. (Ullmann, 2008; Kolektiv autorů, 2003)

V diagnostických a terapeutických přístrojích je umělým zdrojem rentgenového záření především rentgenka. Rentgenka je skleněná vakuovaná trubice, v níž se nachází dvě elektrody. Kladně nabitá anoda a záporně nabitá katoda. Z katody vylétávají termoemisi uvolněné elektrony, které jsou pak prudce zabrzděny o kladnou anodu. Vzniká brzdné záření, jež je směsicí fotonů různých vlnových délek. Dále pak vzniká charakteristické záření jen určitých vlnových délek závislých na materiálu ohniska

anody. RTG záření spadá do skupiny elektromagnetického vlnění, do kterého patří viditelné světlo, rozhlasové vlny, UV záření, infračervené nebo kosmické záření. RTG záření je pronikavé o velmi krátkých vlnových délkách ($10^{-8} - 10^{-12}$ m) a velmi vysokých frekvencích. V diagnostice se využívá záření o vlnové délce 10^{-9} - 10^{-11} m. Rentgenové záření prochází hmotou i vakuem, šíří se přímočaře, má ionizující účinky, což znamená, že množství energie, které záření nese je zcela postačující k uvolnění elektronu z atomu. (Vomáčka, 2012; Ferda, 2015; Seidl, 2012)

Vzniklé rentgenové záření je neviditelné a jeho intenzity ubývá se čtvercem vzdálenosti. Rentgenové záření prochází hmotou, ve které se částečně absorbuje a tím vyvolává ionizaci a excitaci atomů. Ionizace je společně s luminiscenčním efektem základem moderního zobrazování. Primární ionizace může způsobit další ionizaci tím, že vyrazí elektrony z jiných neutrálních atomů předáním části své energie uvolněnými elektrony. Ionizace také se využívá k měření intenzity rentgenového záření – ionizační komůrky. Proto, čím je záření intenzivnější, tím je počet ionizací větší. (Herring, 2007; Hála, 1998)

1.1.1 Druhy ionizujícího záření

Samotné ionizující záření můžeme rozdělit na přímo a nepřímo ionizující záření. Přímě ionizující záření představuje zejména elektrony, pozitrony, protony, dále částice alfa, které jsou tvořeny nabitými částicemi a disponují velkou energií k vyvolání ionizace. Naopak nepřímo ionizující záření tvoří částice nenabitě, což vede k tomu, že samy nemohou vyvolat ionizující proces. Ionizují nepřímo, pouze tehdy, když při vzájemném působení dokážou uvolnit sekundárně nabitě částice, které pak následně mohou ionizovat okolí. (Kupka, 2007; Ullmann, 2008)

- Alfa záření – α je to korpuskulární neboli částicové a přímo ionizující záření, má silné ionizující účinky ale velmi malý dosah. Je tvořeno jádrem helia. Částice nesou dva kladné náboje a klidovou hmotnost mají $6,656 \cdot 10^{-27}$ Mezi zástupce zdrojů alfa záření patří například přírodní radionuklidy, radium nebo uran. (Ionizující záření, 2018)
- Beta záření – β^- - korpuskulární a přímo ionizující záření, při rozpadu z jádra vylétají částice β^- - elektrony e^- , díky malé hmotnosti částic je zakřivená trajektorie částic v elektrickém i magnetickém poli. Elektrickými účinky ionizuje látku, tím se zbrzdí a v látkovém prostředí má poměrně krátký

dolet, v tkáni jen 3 – 4 mm. Mezi zástupce zdrojů β^- záření patří například přírodní radionuklidy, uhlík ^{14}C a draslík ^{40}K . (Kolektiv autorů, 2003; Ullmann, 2008)

- Beta záření - β^+ - korpuskulární a přímo ionizující záření, při rozpadu z jádra částic vylétají částice β^+ pozitrony e^+ . Po zabrzdění dochází k anihilaci pozitronu e^+ s elektronem e^- vznikají 2 fotony gama záření o vysoké energii 511keV. Nejčastější využití je Pozitronová emisní tomografie PET. (Kolektiv autorů, 2003)
- Gama záření – γ je elektromagnetické nepřímo ionizující záření o krátké vlnové délce. Vzniká spolu s α či β zářením při radioaktivním rozpadu jader. γ záření je velmi pronikavé záření, nenese žádný elektrický náboj, nevzniká jiný izotop, jádro pouze ztrácí část své energie. Toto záření má čárové spektrum. Mezi zástupce zdrojů γ záření patří například kobalt.
- X záření, rentgenové záření – pronikavé záření s krátkou vlnovou délkou, tvoří ho brzdné a charakteristické záření.
 - Brzdné záření – je fotonové záření, které má spojité spektrum. Vzniká prudkým zabrzděním nabitých částic v elektrických polích částic.
 - Charakteristické záření – je fotonové záření, které má čárové spektrum. Vzniká při přechodu elektronu atomového obalu na nižší energetickou hladinu nebo také při rekombinaci iontu s volným elektronem.
- Neutronové záření – vzniká uměle v jaderných reaktorech nebo při jaderné explozi. Má vysokou pronikavost díky tomu, že nenese elektrický náboj. Neztrácí energii přímou ionizací. (Ionizující záření, 2018; Kolektiv autorů, 2003; Ullmann, 2008)

1.1.2 Využití ionizujícího záření

Rentgenové záření se ve zdravotnictví především používá k zobrazení anatomických, fyziologických struktur i patologických změn či procesů, tedy k diagnostickým účelům. Nejčastějším využitím rentgenového záření je **konvenční rentgen**, který nám výborně zobrazuje kostěné anatomické struktury. (Frank, 2005; Ferda, 2015)

Další je skiaskopické vyšetření, pomocí kterého dokážeme zobrazit dynamické děje v lidském těle, například pasáž trávicím traktem, což je zobrazení průchodu kontrastní látky trávicím traktem pacienta. Dále pomocí rentgenového záření můžeme vyšetřit pacienty na **výpočetní tomografii – CT**, kde dokážeme zobrazit milimetrové řezy třemi rovinami a vytvořit tak 3D model zkoumaného objektu. **Hybridní metody – Jednofotonová emisní tomografie SPECT/CT a Pozitronová emisní tomografie - PET/CT** je další metodou zobrazování pomocí rentgenového záření. Díky těmto metodám můžeme po aplikaci radioaktivní látky do těla pacienta detekovat různá patologická místa či ložiska v těle pacienta s využitím informací o atenuaci záření a anatomických strukturách získaných z CT části vyšetření. Nejčastější indikací k vyšetření PET/CT jsou zánětlivá nebo nádorová onemocnění. Ionizující záření dokáže zobrazovat, ale i léčit. Tohoto využití mají na onkologické a radioterapeutickém pracovišti, kde ozařují onkologické pacienty pomocí fotonových, elektronových nebo výjimečně i protonových paprsků. (Vomáčka, 2012; Ferda, 2015)

1.1.3 Biologické účinky

Biologické účinky rentgenového záření představují negativní dopady absorbovaného záření na živou hmotu. Ty jsou podmíněny excitací a ionizací atomů živé hmoty, přímým poškozením molekul DNA nebo případně vznikem velmi reaktivních volných radikálů. Nejcitlivější na záření jsou rychle se dělící buňky, které zpravidla mohou být poškozeny především díky narušením molekul DNA. (Súkupová, 2018; Koláček a kol., 2017)

Biologické a lékařské poznatky o účincích ionizujícího záření zahrnují epidemiologické studie, klinická pozorování, experimentální a skupinové šetření. Všechny tyto poznatky jsou nezbytné pro průkaz zvýšené frekvence onemocnění, která jsou klinicky neodlišitelná od onemocnění spontánních (např. rakovina). Změny u člověka, které jsou vyvolané ionizujícím zářením, nemají stejný dosah pro zdravotní stav. Praxe radiační ochrany proto vyžaduje jednoznačná kritéria, která jsou zaměřena především na prevenci závažných důsledků ozáření. Stanovení těchto kritérií se musí opírat o třídění biologických poznatků tak, aby bylo možné kvantitativní hodnocení rizika z ozáření lidské populace. Pro stanovení principů a kritérií radiační ochrany, z nichž je dále odvozen systém limitování dávek obyvatelstva a radiačních pracovníků je velmi důležitá znalost biologických účinků záření. Základ pro poskytování účelné péče při poškození zářením je též důležitá znalost biologických účinků záření. S tím

souvisí i jednoznačná orientace v této oblasti pro poskytování první pomoci při nehodě na pracovišti. (Súkupová, 2018; Ferda, 2015)

Působením záření na živou hmotu dochází k ionizaci a excitaci, při čemž je absorbována energie. Bylo zjištěno, že množství energie ionizujícího záření, potřebné například k usmrcení jedince, je neobyčejně malé v porovnání s jinými druhy energie a proto došlo k vypracování různých teorií o účincích ionizujícího záření na živou hmotu. Účinky záření na buňku dělíme do dvou skupin: smrt buňky a cytogenetické informace. Smrt buňky (buněčná deplace) – může být usmrcená v klidovém období v tzv. interfázi, kde účinek předpokládá povšechnou denaturaci buněčných složek, tedy velmi vysokou dávku záření. Významnějším typem buněčné smrti je vznik vázaný na mitosu tedy na buněčné dělení. Tento proces se neprojeví okamžitě, ale tím, že buňka není schopna se dále dělit. Je to tzv. mitotická smrt buňky a projevuje se při menších dávkách, které nestačí k vyvolání smrti v interfázi. Můžeme říci, že z tohoto poznatku je zřejmé, že smrtící účinek záření se nejnáze projeví ve tkáních, ve kterých probíhá rychlé buněčné dělení, což jsou krvetvorné orgány, střevní výstelka a vyvíjející se zárodek. (Súkupová, 2018)

Ionizujícím zářením indukovaná změna cytogenetické informace je druhým typem buněčných poruch. Jsou to změny, které bezprostředně nenarušují průběh buněčného dělení. Mluvíme o změnách genetické informace buňky, která je uložena v buněčném jádře, v chromosomech, které nesou zakódované vlastnosti tzv. geny. Ionizující záření vyvolává změny, tzv. mutace, které jsou podle dělení bodové, genové nebo chromozomální. (Súkupová, 2018; Koláček a kol., 2017)

V další rozdělení se odlišují mutace gametické (zárodečné žlázy, propagující se do dalších generací) a somatické mutace týkající se ostatních orgánů a tkání a veškeré důsledky se projevují u nositele v ozářené tkáni a mají vztah ke vzniku rakoviny. Působení ionizujícího záření na buňku a tkáň není určeno pouze uvedenými mechanismy, ale je spoluurčováno uplatněním obnovných reparačních mechanismů. Lze odlišit tzv. časovou reparaci, to znamená obnovu schopnosti dalšího dělení na úrovni postižené buňky (řádově několik hodin) a proliferaci, která vychází ze zachovalé dělivé schopnosti přeživších buněk (řádově trvá několik dní až týdnů). Omezený význam má sekundární – atypická reparace, která spočívá v náhradě ztracené tkáně funkčním pojivem.

Z hlediska vztahu dávky a účinku ionizujícího záření rozlišujeme dva typy. Deterministické účinky jsou prahové, tudíž se projevují, když dávka ve tkáni nebo orgánu překročí limit, tzv. práh. Představují účinky, k nimž dochází v důsledku smrti části ozářené buněčné populace, jejich závažnost vzrůstá s dávkou od určitého dávkového prahu a zároveň mají charakteristický klinický obraz. Mezi typické deterministické příznaky patří nemoc z ozáření, katarakta nebo radiační dermatitida.

Stochastické účinky jsou pravděpodobnostní a jsou vázány na relativně nízké dávky do 1 Sv. S nimi se můžeme setkat v radiodiagnostice. Tyto účinky jsou vyvolány mutacemi a předpokládá se pro ně bezprahový, lineární vztah mezi dávkou a účinkem. Závislost těchto účinků na dávce má statistický charakter, a proto pro ně bylo zavedeno označení účinky stochastické s náhodným nebo s pravděpodobnostním charakterem. Pro jednotlivce s dávkou vzrůstá pravděpodobnost poškození. Klinický obraz těchto účinků není typický, neodlišuje se od „spontánně“ vzniklých případů. Příkladem stochastických účinků je vznik zhoubných nádorů nebo genetické mutace. (Súkupová, 2018)

Je nutné, aby každé provedené lékařské ozáření bylo zdůvodněno přínosem, správně indikováno a optimalizováno, za využití všech způsobů radiační ochrany. Z oblasti radiační ochrany pacienta je to například clonění vyšetřované oblasti nebo vykrývání gonád u dětí i dospělých při snímkování pánve. Co se týče radiační ochrany zdravotnického personálu, platí dodržování ochranných zásad před ionizujícím zářením, což představuje stínění, určitá vzdálenost od zdroje ionizujícího záření a čas strávený ve vyšetřovací místnosti. Cílem radiační ochrany je tedy zcela vyloučit deterministické účinky a dle principu optimalizace záření snížit pravděpodobnost vzniku stochastických účinků. (Súkupová, 2018; Koláček a kol., 2017)

1.2 Radiační ochrana

Podle nového atomového zákona č. 263/2016 Sb., a vyhlášky č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje jsou definovány principy radiační ochrany a stanoveny limity pro obyvatele, pro radiační pracovníky a pro žáky a studenty. (Zákon č. 263/2016 Sb.; Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

1.2.1 Historický vývoj a smysl

Německý fyzik Wilhem Conrad Röntgen 8. 11. 1895 objevil X paprsky. Legendární je snímek ruky jeho manželky s prstenem. O několik měsíců později byl

zhotoven první diagnostický snímek A. Mosetig-Moorhofem, který diagnostikoval kulku v ruce. Následující rok byl velmi bohatý na objevování nového a zdokonalování technických zařízení, například fluoroskop T. A. Edisona nebo americký fyzik Robert Williams Wood, který vynalezl rotační anodovou trubici. Z počátku se objev X paprsků a radioaktivity jevil jako neškodný a velmi slibný pro řadu aplikací např. zobrazování anatomických struktur. Ale zanedlouho se přišlo na to, že záření má i nežádoucí účinky. Již v roce 1896 se objevovaly první škodlivé příznaky záření. Byly to především dermatitidy na rukou, kdy bylo zaznamenáno 23 případů. T. A. Edison pozoroval účinky záření na oko (záblesky). Už v roce 1902 se objevili první příznaky rakoviny, které byly dány do souvislosti s ionizujícím zářením. Mezi léty 1911 – 1914 bylo zaznamenáno celkem 198 případů rakoviny, 54 radiologů zemřelo. Proto bylo zapotřebí stanovit pravidla radiační ochrany pro eliminování škodlivých účinků záření. Nikolas Tesla v roce 1896 vyslovil větu „nechodit blízko k rentgence“- první opatření radiační ochrany. O dva roky později se vkládal hliníkový filtr do primárního svazku záření. Rok 1899 představoval doporučení státního licencování rentgenových zdrojů a první studie na zvířatech. Bylo zjištěno, že olovo nepropouští záření, proto v roce 1902 byl vyroben kryt rentgenky z Pb materiálu, probíhaly testy stínění, měření ionizace, kolimace svazku. Úplně první doporučení radiační ochrany byla zavedena mezi léty 1913 – 1915. V roce 1922 se začaly používat první osobní filmové dozimetry a následně v roce 1925 byla stanovena první „toleranční dávka“ – cca 0,2 R denně, což v dnešní době odpovídá dávce 2 mGy. V roce 1928 byla založena první ICRP (International commission on radiological protection) a o rok později byl předložen první ČS návrh předpisů radiační ochrany. O něco déle v roce 1956 pod krajskou hygienickou stanicí byl zjedнан dozor nad zářením. Od roku 1993 přebírá veškerou kontrolu nad ionizujícím zářením SÚJB (Státní úřad pro jadernou bezpečnost), v roce 1997 byl schválen Atomový zákon AZ 18/1997 Sb. a jeho prováděcí předpisy v 307/2002 Sb. Od 1. 1. 2017 je v platnosti Nový Atomový zákon 263/ 2016 Sb., nová vyhláška 422/2016 Sb., zpracování ICRP 103, směrnici 2013/59/EUROATOM, doporučení IAEA, EU BSS. (MUDr. Emil Kunc, CSc., 2011)

1.2.2 Principy radiační ochrany

Mezi základní principy radiační ochrany patří: princip zdůvodnění, princip optimalizace a princip limitování. (Koláček a kol., 2017)

Princip zdůvodnění

Podle vyhlášky 422/2016 Sb., Státního úřadu pro jadernou bezpečnost platí, že pro veškeré radiační činnosti nebo nové kategorie, které jsou nebo mají být zavedeny do praxe, musí být z hlediska hospodářských a společenských odůvodněny a nesmí způsobit žádnou zdravotní újmu. U lékařského ozáření je princip zdůvodnění zcela zásadní a to z důvodu uskutečnění zdravotní péče u osob, u kterých může být odhalena nemoc a následně zahájena léčba. Je však důležité, aby veškeré vyšetření s pomocí ionizujícího záření bylo indikováno lékařem, který má dostatečnou praxi ve vztahu k využívání zobrazovacích a léčebných postupů. Lékařem, který posoudí vhodnost vyšetření s užitím ionizujícího záření a zváží možnost použití jiné metody bez užití záření. Specifické použití principu odůvodnění je při screeningovém vyšetření v rámci preventivního vyšetření a včasného odhalení vážné nemoci. Pokud se nejedná o lékařské ozáření, vyžaduje se zvláštní odůvodnění a použití správných technik a nesmí být překročeny optimalizační meze. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Princip optimalizace

Každý, kdo provádí činnost v rámci expozičních situací, musí v rámci optimalizace radiační ochrany stanovit varianty zajištění radiační ochrany a z nich vybrat optimální variantu v příslušné expoziční situaci. *„Výběr optimální varianty zajištění radiační ochrany musí být proveden porovnáním možností snížení plánovaných a potenciálních dávek fyzickým osobám nebo skupinám obyvatelstva. Opatření přijímaná k ochraně fyzických osob nebo skupin obyvatelstva proti vlivu zdroje ionizujícího záření mohou být uplatněna u zdroje ionizujícího záření, v prostředí mezi zdrojem ionizujícího záření a fyzickou osobou nebo u fyzické osoby.“* Přesnost má omezení velikosti ozáření přímo u zdroje ionizujícího záření, musí být při výběru optimální varianty zajištění radiační ochrany uvažováno jako první. Musí být také vzaty v úvahu reprezentativní znaky, které souvisí s příslušnou činností. Je-li to možné, při výběru optimální varianty zajištění radiační ochrany lze provést porovnání nákladů na různá opatření ke zvýšení radiační ochrany zejména k vybudování dodatečných bariér nebo přemístění fyzických osob. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Princip optimalizace představuje určitý systém organizačních opatření, technik, pomůcek a nástrojů, pomocí nichž lze zajistit, že ozáření osob dosáhne minimálních hodnot. Optimalizace se musí provádět před každým zahájením činnosti, která vede

k ozáření, porovnáním nebo posouzením variant řešení radiační ochrany. Pokud dojde k vykonání činnosti ozáření je pravidelným rozbořem zapotřebí v optimalizaci pokračovat. Z hlediska sociálního i hospodářského je cílem radiační ochrany zajištění počtu ozařovaných osob a osobních dávek na tak nízké úrovni, jak je rozumně dosažitelné - ALARA. (Singer, 2004)

Pod názvem ALARA, v anglickém jazyce As Low As Reasonably Achievable se skrývá princip optimalizace. Cyklický proces, kterým se uplatňuje optimalizace dle doporučení ICRP, musí obsahovat:

- identifikace alternativ ochrany,
- prosazení vybrané alternativy,
- vhodné zvolení optimalizační meze,
- vyhodnocení expozičních situací,
- výběr nejlepší možnosti za dané situace,
- posuzování expoziční situace,
- posuzování vyhnutí se nehodám.

Každý, kdo provádí činnosti v rámci expozičních situací, musí používat pravidelně postupy optimalizace radiační ochrany tak, aby nebyly opomenuty žádné nově vzniklé podmínky pro příslušnou expoziční situaci. Postupy optimalizace radiační ochrany se využívají v nových možnostech zajištění radiační ochrany pro danou expoziční situaci. Zdůrazňuje se důležitost analýzy a hodnocení dostupných možností. Při provádění optimalizace se dnes upřednostňuje spíše dobrá praxe a nejnovější dostupné technologie za rozumnou cenu. V lékařském ozáření jsou ukazatelem optimalizace diagnostické referenční úrovně. „*U lékařského ozáření pro radioterapeutické účely, včetně léčebných aplikací radionuklidu, musí být ozáření cílových objemů u každé fyzické osoby podstupující léčbu jednotlivě plánováno a jejich dosažení odpovídajícím způsobem ověřeno, přičemž musí být vzato v úvahu, že dávky pro objemy a tkáně nejsou cílové, musí být tak nízké, jak je to při zamýšleném radioterapeutickém účelu ozáření rozumně dosažitelné.*“ (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Dosavadní zkušenosti s podobnými činnostmi a zdroji ionizujícího záření, musí být zohledněny při stanovování dávkových optimalizačních mezí pro radiační činnost nebo zdroj ionizujícího záření. Postup optimalizace radiační ochrany musí být dokumentován. Dokumentace optimalizace radiační ochrany musí strukturovaně

a systematicky popisovat postup, musí v expoziční situaci použité při optimalizaci zohlednit všechna významná hlediska a musí obsahovat použité varianty zajištění radiační ochrany. Shrnutí postupů optimalizace nalezneme v každoroční zprávě držitelů povolení k nakládání – Hodnocení zajištění radiační ochrany.

Princip limitování

Již záhy po objevu rentgenového záření se začaly projevovat jeho nežádoucí účinky. Postupem času byly v rámci opatření radiační ochrany pro radiology stanoveny první „toleranční“ dávky - v roce 1925 0,2 R denně. Později byly zavedeny limity, které jsou dnes stanoveny pro radiační pracovníky, žáky a učně a také obecné limity pro obyvatelstvo. Limity představují hranice oddělující přijatelné a nepřijatelné dávky ozáření.

Obecné limity pro obyvatele z ozáření ze všech povolených nebo registrovaných činností za jeden kalendářní rok ukazuje následující tabulka:

Tabulka 1: Obecné limity pro obyvatele

Obecné limity pro obyvatele	
Pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření	1 mSv
Pro ekvivalentní dávku v oční čočce	15 mSv
Pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm ² kůže, bez ohledu na velikost ozářené plochy	50 mSv

Zdroj: (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Tabulka 2: Limity pro radiačního pracovníka

Limity pro radiačního pracovníka	
Pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření	20 mSv
Pro efektivní dávku v oční čočce	50 mSv/rok
	100 mSv/5let
Pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm ² kůže, bez ohledu na velikost ozářené plochy	500 mSv/rok
Pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky	500 mSv/rok

Zdroj: (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

V tabulce 2 jsou uvedeny limity pro radiačního pracovníka, které slouží pro omezení profesního ozáření.

Pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření je hodnota schválena Úřadem podle § 63 odst. 4 atomového zákona č. 263/2016 Sb., nejvýše však 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních let a současně 20 mSv za jeden kalendářní rok.

Posouzení, zda nedošlo k překročení limitů, musí být prováděno soustavně, musí se zohledňovat součet dávek ze všech cest ozáření a při všech pracovních činnostech, které radiační pracovník vykonává a také se zohledňuje v případě radiačního pracovníka, který není externím pracovníkem, vykonávání pracovních činností, při kterých je nebo může být vystaven ozáření podléhajícím limitům pro radiačního pracovníka, pro více ohlašovatelů, registrantům nebo držitelů povolení. U radiačního pracovníka, u kterého bylo zjištěno překročení limitů, je posouzena jeho zdravotní způsobilost k další práci se zdroji ionizujícího záření a následně musí být stanoveny podmínky pro tuto práci. Pokud u radiačního pracovníka dojde k zjištění překročení limitů, a je zdravotně způsobilý, není to důvodem pro jeho vyloučení z obvyklé pracovní činnosti nebo pro přeložení na jiné pracoviště, pokud osoba, pro niž pracovní činnost vykonává, nemá k takovému vyloučení jiné závažné důvody.

Následující tabulka 3 shrnuje limity pro žáky a studenty, kteří vykonávají odbornou praxi se ZIZ v rámci svého studia.

Tabulka 3: Limity pro žáka a studenta

Limity pro žáka a studenta	
Pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření	6 mSv
Pro ekvivalentní dávku v oční čočce	15 mSv
Pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm ² kůže, bez ohledu na velikost ozářené plochy	150 mSv
Pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky	150 mSv

Zdroj: (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Dodržování limitů u žáků a studentů musí posuzovat držitel povolení, na jehož pracovišti žáci a studenti v rámci svého studia pracují se zdrojem ionizujícího záření. Posuzování zda nedošlo k překročení limitů, musí být prováděno soustavně, a musí se zohlednit součet dávek ze všech cest ozáření a při všech činnostech, které žák nebo student vykonává v rámci své praxe při studiu. Limity uvedené v tabulce 3 jsou stanovené pro žáky a studenty od 16 do 18 let a jsou za jeden kalendářní rok. Pokud student nebo žák nedovršil 16. rok života a vykonává práci se zdroji ionizujícího záření v rámci praxe při studiu, platí limity shodné s obecnými limity pro obyvatele. Naopak pro studenty a žáky, staršími 18 let, kteří vykonávají práci se zdroji ionizujícího záření, platí limity jako pro radiační pracovníky. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Tabulka 4: Odvozené limity

Odvozené limity	
Pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07 mm	500 mSv/rok
Pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 3 mm	20 mSv/rok
Pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm	20 mSv/rok

Zdroj: (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Tabulka 4 prezentuje odvozené limity pro dávkový ekvivalent v určitých hloubkách.

Limity pro radiační pracovníky se považují za nepřekročené, pokud nejsou překročeny kvantitativní ukazatele vyjádřené v měřitelných veličinách. Limity v tabulce 4 jsou tzv. odvozené limity pro zevní ozáření uvedené v měřitelné veličině osobní dávkový ekvivalent. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

1.2.3 Způsoby radiační ochrany

Každé pracoviště a každá osoba pracující s ionizujícím zářením musí pečlivě a zodpovědně respektovat používání ochranných pomůcek a dodržovat zásadní pravidla radiační ochrany. Každé pracoviště musí být vybaveno přiměřenými ochrannými pomůckami jako například olovená zástěra, nákrčníky, olovené vesty, brýle, rukavice a další. (Ferda, 2015)

Každá osoba pracující se zdroji ionizujícího záření, zařazená jako pracovník kategorie A, má povinnost nosit dozimetr na referenčním místě, tzn. v levé horní části hrudníku. Dále se musí chránit před zářením z hlediska času tak, že se bude pohybovat v prostoru ionizujícího záření jen na nezbytně nutnou dobu, v diagnostice na nukleární medicíně musí plně informovat pacienta před aplikací radioaktivní látky o prováděném výkonu, po naaplikování se pacient chová jako přímý otevřený zářič. Další důležitou veličinou je vzdálenost. V čím větší vzdálenosti od zdroje ionizujícího záření se budeme pohybovat, tím bude dávka, kterou obdržíme menší. Velmi účinný způsob radiační ochrany vyplývá z fyzikální podstaty ionizujícího záření, a sice, že dávkový příkon klesá se čtvercem vzdálenosti. Posledním ze způsobů ochrany je použití stínění z materiálu s vysokým protonovým číslem. Takový materiál s vysokým lineárním součinitelem zeslabení výrazně sníží tok částic. Tento způsob nám v praxi naplňují ochranné prostředky a pomůcky. (Vomáčka, 2012; Ferda, 2015)

Na základě typu zdroje a jeho způsobu používání jsou uplatňovány na konkrétním druhu pracoviště určité zásady práce se zdroji ionizujícího záření, které vedou ke snížení dávek u pacientů i zdravotnického personálu. Pro dodržení a dosažení kvalitní dobré optimalizace a pro snížení dávek při intervenčních vyšetřeních je zapotřebí se řídit několika zásadami. V dnešní době dochází k velkému rozvoji intervenčních výkonů, které se staly nedílnou součástí lékařské praxe.

Pro minimalizaci dávek jak lékařů, tak i pacientů jsou stanoveny standartní postupy praxe při lékařském ozáření. Je to například skiagrafický „cine“ mód (SG) vs. skiaskopický mód (SS). Je prakticky ověřeno, že při použití SS módu, bude výsledná dávka až 15x nižší než dávka při použití SG módu. Proto je vhodné používat SG mód pouze v nezbytně nutné míře. Dalším důležitým faktorem je výběr dávkového módu a zvětšení. Nejvhodnější je používání „low-dose“ módu. V případě použití zvětšení a „high-dose“ módu zároveň, může být dávka pacientovi až 20x vyšší. Významné je také používání webe filtru, který zlepšuje kontrast obrazu. Vždy platí, že redukcí prozařovaného objemu se zmenší také dávka pacientovi. I výběr správné kolimace redukuje rozptýlené záření, čímž se zlepší kontrast obrazu a zároveň se zmenší ozáření personálu rozptýleným zářením. Nesmíme zapomenout na další významný faktor - vzdálenost mezi ohniskem a kůží. Dvojnásobná vzdálenost ohnisko – kůže zmenší dávku na kůži až na čtvrtinu, trojnásobná vzdálenost až na devítinu. Velkou roli hraje malá vzdálenost mezi pacientem a detektorem. V případě, že umístíme detektor co nejbližší k pacientovi, jak je to jen možné, dospějeme k významnému snížení dávek pacienta i personálu. Je-li to možné, je vhodnější používat častěji PA projekce oproti projekcím bočním a šikmým. Velmi důležité je používat rentgenku vždy pod vyšetřovacím stolem, tedy pod pacientem a detektor mít umístěný nad stolem s pacientem. Základním opatřením radiační ochrany je používání ochranných pomůcek jako jsou olověné zástěry a nákrčníky, které redukuje dávky personálu až o 95 %. Další redukce dávek je možná používáním ochranných brýlí nebo závěsného stínění vedle stolu a stropního závěsu. Při optimalizovaném provádění výkonů a používání ochranných pomůcek je možné očekávanou dávku personálu významně snížit, což umožňuje provádět praxi celoživotně. Zejména dodržováním základních způsobů radiační ochrany před zářením a to vzdáleností, časem a stíněním. (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2015), (viz příloha 5)

Při skiaskopii je nutné dodržovat postupy pro snížení dávek hlavně tím, že budeme maximalizovat vzdálenost mezi rentgenkou a pacientem, budeme minimalizovat vzdálenost mezi pacientem a receptorem obrazu a také skiaskopický čas. Je vhodné používat pulzní skiaskopii s co nejnižší frekvencí snímků, která ještě zaručí požadovanou diagnostickou informaci. Při dlouhých a náročných výkonech je důležité nevystavovat stejné oblasti kůže ozáření a výkon provádět v různých projekcích. Změny vstupu rentgenového svazku do těla lze dosáhnout otočením rentgenky kolem pacienta.

Bereme na vědomí, že snímkování objemnějších pacientů nebo silnějších částí těla vede ke zvýšení vstupní povrchové kermy. Zvětšení by mělo být používáno s rozvahou, obvykle zvyšuje vstupní povrchovou dávku. Veškeré informace o změně dávky se změnou zvětšení jsou uvedeny v protokolech přijímací zkoušky a zkoušek dlouhodobé stability. Je zapotřebí minimalizovat délku a počet skiagrafičtých sekvencí na klinicky přijatelnou úroveň. Pokud je to možné, měl by být záznam proveden z již provedeného snímku, k tomuto slouží funkce „last image hold“. Důležitým postupem je kolimace rentgenového svazku pouze na oblast zájmu, sníží se tak dávka pacientovi, personálu a zlepší se kvalita zobrazení. (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2015), (viz příloha 5)

1.2.4 Kategorizace radiačních pracovníků

Každá fyzická osoba, která je vystavená profesnímu ozáření, je radiačním pracovníkem. Při tom není důležité, zda se jedná o zaměstnance nebo o osobu samostatně podnikající. Pojmem profesní ozáření se rozumí ozáření fyzických osob v souvislosti s výkonem práce při radiačních činnostech. Pro účely monitorování a lékařského dohledu se radiační pracovníci podle ohrožení zdraví ionizujícím zářením zařazují do kategorie A nebo B. Toto rozdělení je stanoveno na základě očekávaného ozáření za běžného provozu a při předvídatelných poruchách nebo odchylkách od běžného provozu, s výjimkou ozáření v důsledku radiační nehody nebo havárie.

- Pracovníci kategorie A – jsou pracovníci, kteří by mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv za rok, ekvivalentní dávku vyšší 15 mSv na oční čočku nebo ekvivalentní dávku vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro kůži a končetiny. Současně platí, že v kontrolovaném pásmu smějí práce vykonávat rutinně pouze radiační pracovníci kategorie A.
- Pracovníci kategorie B – jsou ostatní pracovníci, kteří nesplňují kritéria pro pracovníka A.

(Žáčková, 2011; Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

1.2.5 Základní veličiny radiační ochrany

Absorbovaná dávka

Absorbovaná dávka je energie ionizujícího záření v daném místě ozařované látky na jednotku hmotnosti. Je dána poměrem střední energie ionizujícího záření objemovém

elementu látky ΔE a hmotnosti objemového elementu Δm . Jednotkou absorbované dávky je J/kg , která se též nazývá **1 Gy**. (Ullmann, 2008)

$$D = \Delta E / \Delta m$$

Expozice

Expozice je poměr absolutní hodnoty ΔQ celkového elektrického náboje iontů jednoho znaménka, které při interakci fotonů (X nebo gama) byly uvolněny a to v hmotnostním elementu vzduchu o hmotnosti Δm , který vznikl úplným zabrzděním všech vzniklých elementů a pozitronů, $\Delta Q/\Delta m$ vztaženým na jednotku hmotnosti vzduchu. V soustavě SI má expozice jednotku 1 coulomb na kilogram $C * kg^{-1}$, starší jednotkou byl rentgen **R**. Do celkového elektrického náboje ΔQ se započítává pouze náboj iontů uvolněný interakcí primárních fotonů a interakcí sekundárních elektronů, které jsou uvolněny z atomů vzduchu. Do toho se nezapočítává další náboj, který vzniká absorpcí brzdného záření emitovaného elektrony nebo charakteristického X-záření. V okamžiku, kdy je energie fotonů gama vyšší než 2-3MeV a je dodatečná ionizace způsobená brzdným zářením nelze zanedbat, expozice objektivně nezachycuje účinek ionizujícího záření. (Ullmann, 2008; Rosina, 2006)

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

Ekvivalentní dávka

Ekvivalentní dávku můžeme spočítat součinem radiačního váhového faktoru w_R a střední absorbované dávky $D_{T,R}$, kde **T** představuje orgán nebo tkáň a **R** určitý druh ionizujícího záření **R**. jednotkou ekvivalentní dávky je Sievert. (Ullmann, 2008)

$$H_T = w_R D_{T,R}$$

Pokud dojde k situaci, kdy je pole ionizujícího záření složeno z více druhů záření nebo rozdílných energií, je potřeba započítat všechny druhy **R**. (Ullmann, 2008)

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

Efektivní dávka

Efektivní dávka D_{ef} se vypočítá součtem vážených středních hodnot ekvivalentní dávky v orgánech nebo tkáních lidského těla.

$$D_{ef} = \sum w_T * H_T$$

Koeficient H_T je ekvivalentní dávka v dané káni T a w_T je tkáňový nebo orgánový váhový faktor, který vyjadřuje relativní příspěvek daného orgánu nebo tkáně T a to k celkové zdravotní újmě způsobeným rovnoměrným ozářením těla. Je definován tak, aby součet všech váhových faktorů se rovnal 1. Podle doporučení IRCP jsou váhové faktory definovány v následující tabulce. (Ullmann, 2008)

Tabulka 5: Hodnoty tkáňových faktorů

Hodnoty tkáňových faktorů	
Tkáň/orgán	w_T
Kostní dřeň	0,12
Střevo	0,12
Plíce	0,12
Žaludek	0,12
Gonády	0,07
Močový měchýř	0,04
Játra	0,04
Jícen	0,04
Štítná žláza	0,04
Kůže	0,01
Kosti	0,01
Mozek	0,01
Ostatní	0,12

Zdroj: (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Efektivní dávka umožňuje vyjádřit radiační zátěž jediným číslem, v jednotkách Sievert a to i při nerovnoměrném ozáření nebo ozáření určitých orgánů při výsledku jako kdyby se jednalo o rovnoměrné ozáření. Dále umožňuje porovnávání radiační zátěže osob ozářených nejrůznějšími zdroji například z přírodního záření, rentgenového

vyšetření nebo z radiofarmak používaných v nukleární medicíně. Všechna tato hodnocení jsou představována pod stochastickými účinky záření. Efektivní dávka hodnotí míru zdravotního rizika, které se odhalí ze záření, kterému byl člověk vystaven. Je to biofyzikální, empirická veličina, která není přímo dělitelná. Získáváme ji z neměřených radiačních dávek daného druhu záření započítáním biologických účinků totožného druhu záření a citlivosti jednotlivých zasažených tkání a orgánů. (Ullmann, 2008)

Dávkový ekvivalent a osobní dávkový ekvivalent

Dávkový ekvivalent je v uvažované tkáni dán součinem absorbované dávky **D** a jakostního faktoru. Jednotkou dávkového ekvivalentu je **1 Sievert**, který má stejné biologické účinky jako dávka **1 Gy** gama záření, pro které je jakostní faktor stanoven 1. Dávkový ekvivalent je biofyzikální dozimetrickou veličinou, která je kombinována radiační dávkou s určitým druhem záření a mírou jeho vlivu na živou tkáň. (Ullmann, 2008)

- $H_p(10)$ – pro vnitřní orgány v hloubce 10 mm
- $H_p(0,07)$ – pro dávku na kůži a na nohách v hloubce 0,07 mm
- $H_p(3)$ – pro dávku na oční čočku v hloubce 3 mm

$$\mathbf{H = Q * D}$$

Osobní dávkový ekvivalent $H_p(d)$ slouží k radiačnímu monitorování. Je to dávkový ekvivalent v daném místě pod povrchem těla v určité hloubce **d** měkké tkáni. Osobní dávkový ekvivalent získáme přepočtem dávky z dozimetru pomocí **Q** jakostního faktoru a absorpce v tkáni podle energie záření. Hodnota jakostního faktoru **Q** závisí na daném druhu a energii záření. V lidském těle máme různě citlivé orgány a tkáně na záření, proto pro celý organismus jejich radiační poškození vede k závažným následkům a poškození. Na základě statistických analýz se pro každý orgán a tkáň zavádějí vlastní koeficienty rizika případnému vzniku poškození zářením. Podle těchto koeficientů můžeme odhadnout riziko poškození organismu, které vyplývá z expozice ionizujícím zářením. Pro účely radiační ochrany je zavedena následující veličina efektivní dávka.

Tabulka 6: Jakostní faktor

Jakostní faktor	
Druh záření	Jakostní faktor
X, gama, beta	Q = 1
neutrony (10KeV-20MeV)	Q ≈ 2-5
neutrony (100KeV-20MeV)	Q ≈ 10 -20
protony	Q ≈ 5
alfa	Q ≈ 20

Zdroj: (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

1.3 Monitorování

Nedílnou součástí radiační ochrany je monitorování. Je to měření veličin, pomocí jejichž hodnot si vytváříme představu o rozložení radiačního pole v okolí zdrojů ionizujícího záření, sledujeme míru expozice jednotlivých osob a rozhodujeme o významnosti daného zdroje ionizujícího záření a dalším způsobu nakládání s ním. Před započítáním radiačních činností je vždy třeba provést monitorování v okolí daného zdroje, stanovit případná opatření v radiační ochraně a určit způsob ověřování stability nastaveného systému. To vše je shrnuto v programu monitorování.

Program monitorování obsahuje tyto kategorie: monitorování pracovišť, osobní monitorování, monitorování výpustí a monitorování okolí. Celkový program monitorování musí zahrnovat monitorování pro běžný provoz, pro předvídatelné odchylky od běžného provozu a pro případy radiačních nehod a radiačních havárií. Program monitorování musí být navržen takovým způsobem a v takovém rozsahu, aby za provozu pracoviště umožňoval ověření požadavků limitování ozáření, prokazování, že radiační ochrana je optimalizována, aby byly včas zjištěny odchylky od běžného provozu a aby dostatečně fungovalo včasné varování před vznikem mimořádné události. (Klímek, 2016)

Monitorování představuje měření veličin dozimetrie a radiační ochrany, které charakterizují ionizující záření představující zdroj a pole záření. Monitorování

nezahrnuje jen pole záření, ale i ozáření radiačních pracovníků včetně dalších osob, kteří se mohou dostat do styku s ionizujícím zářením. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Monitorovací úrovně jsou kritéria nebo hodnoty rozhodné pro předem stanovené postupy nebo opatření. První monitorovací úroveň, závislá na typu použitého dozimetru a metodice dozimetrické služby, poukazuje na možné vybočení z běžných měřených hodnot, kterému je třeba věnovat pozornost. Je potřeba tento údaj zaznamenávat a evidovat, úrovně se označují jako záznamové. **Záznamové úrovně** se zpravidla stanovují jako odpovídající jedné desetinné limitů. Metody monitorování jsou voleny tak, aby nejmenší detekovatelná hodnota měřené veličiny radiační ochrany byla menší než takto stanovená záznamová úroveň. Monitorovací úrovně, jejichž překročení je předmětem k následnému šetření o příčinách a možných důsledcích zjištěného výkyvu sledované veličiny radiační ochrany, se označují jako vyšetřovací úrovně. **Vyšetřovací úrovně** u osobního monitorování se zpravidla stanovují jako odpovídající třem desetinnám limitů ozáření nebo jako horní mez obvykle se vyskytujících hodnot. Monitorovací úrovně, jejichž překročení je podnětem k zahájení nebo zavedení opatření ke změně zjištěného výkyvu sledované veličiny radiační ochrany se označují jako zásahové úrovně. U **zásahových úrovní** vymezených v programu monitorování se musí uvádět přesně, o jaký zásah se jedná a jakým postupem se o něm rozhoduje. (Žáčková, 2011, Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Ověřování parametrů a veličin v programu monitorování, na které klade důraz radiační ochrana, musí být v souladu s praxí. V běžném provozu monitorování obsahuje předvídatelné odchylky. Všechna pracoviště, která pracují a využívají zdroje ionizujícího záření, musí být připravena na operativní monitorování, tzn. ztrátu kontroly nad zdrojem, při které nelze vyloučit vznik radiační nehody. (Klener, 2000)

1.3.1 Monitorování pracoviště

Na všech kategoriích pracovišť, kromě pracoviště kategorie I., kde jsou využívány převážně drobné zdroje ionizujícího záření a zároveň nejsou otevřenými radionuklidovými zdroji, monitorování pracoviště musí být prováděno sledováním, měřením, hodnocením a zaznamenáváním veličin a parametrů charakterizujících pole ionizujícího záření a výskyt radionuklidů na pracovišti. Podle druhů používaných zdrojů ionizujícího záření musí být monitorování pracoviště prováděno: monitorováním příkonu prostorového dávkového ekvivalentu na pracovišti, monitorováním

objemových aktivit v ovzduší pracoviště a plošných aktivit na pracovišti, nebo také měřením neúčinného záření. Před zevním a vnitřním ozářením účinnost ochrany musí být ověřována měřením příkonu prostorového dávkového ekvivalentu, objemové aktivity a dalších veličin nezbytných pro ověření účinnosti ochrany před zevním a vnitřním ozářením u zdroje ionizujícího záření a na místech práce s ním, v místech, kde se mohou vyskytovat radiační pracovníci nebo jiné fyzické osoby. Účinnost ochrany musí být ověřována při zahájení provozu pracoviště, při změně v pracovních postupech, při změně zajištění radiační ochrany nebo při změně radiační situace. Při vzniku radioaktivní kontaminace musí být monitorování na pracovišti s otevřeným radionuklidovým zdrojem prováděno tak, aby umožnilo signalizovat provozní odchylky od běžného provozu a nedostatečnou funkci nebo selhání bariér bránících rozptylu. Dále musí být potvrzeno nepřekročení hodnot pro radioaktivní kontaminaci povrchu. Na pracovišti kategorie IV. a na pracovišti, kde je vykonávána činnost související se získáváním radioaktivního nerostu, musí být prováděno soustavné monitorování objemových aktivit radionuklidů v ovzduší. Na jiném pracovišti kategorie III., pracoviště s otevřeným radionuklidovým zdrojem, kde s ohledem na charakter používaného radionuklidového zdroje a způsobu nakládání s ním, může dojít ke kontaminaci ovzduší, musí být též prováděno soustavné monitorování objemových aktivit radionuklidů v ovzduší. (Kibus, 2018; Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

1.3.2 Osobní monitorování radiačních pracovníků

Hlavní úkol osobního monitorování představuje měření osobních dávek záření u jednotlivých radiačních pracovníků. Může se jednat o zevní ozáření nebo o vnitřní ozáření, které je způsobené radioaktivní kontaminací. Monitorování zevního ozáření je prováděno prostřednictvím osobních dozimetrů, které radiační pracovníci mají povinnost nosit během veškerých prací s ionizujícím zářením a v kontrolovaném a sledovaném pásmu. Dozimetry jsou pravidelně každý měsíc u pracovníků kategorie A, případně každé tři měsíce u všech nebo vybraného pracovníka kategorie B centrálně vyhodnocovány a výsledkem jsou naměřené hodnoty dávkových ekvivalentů, jež lze přepočítat na efektivní a ekvivalentní dávku v mSv. (Ferda, 2015)

Osobní dozimetr je radiační pracovník povinen nosit na tzv. referenčním místě, které představuje levá přední strana hrudníku. Pokud radiační pracovník použije ochranné stínící vesty nebo zástěry, musí být osobní dozimetr umístěn vně zástěry nebo vesty. Pokud radiační pracovník nosí jeden osobní dozimetr, který neumožňuje přesně

změřit a určit efektivní a ekvivalentní dávky v orgánech a tkáních, pro které jsou dle zákona stanoveny limity, radiační pracovník je povinen nosit další osobní dozimetr, který umožňuje určit efektivní a ekvivalentní dávky. Osobní dozimetr, který nosí radiační pracovník, musí měřit všechny druhy záření, kterým je radiační pracovník vystaven pomocí zevního ozáření. Pokud osobní dozimetr nesplňuje tento požadavek, musí být radiační pracovník vybaven dalšími osobními dozimetry, pokud nestanoví program monitorování jiný způsob osobního monitorování. Když radiační pracovník vykonává činnosti, které jsou prováděny a kontrolovány pomocí zdroje ionizujícího záření za jeho přítomnosti v ozařovně v blízkosti zdroje ionizujícího záření a také podle programu monitorování, je dále vybaven ochranou stínící zástěnou a současně nosí dva dozimetry, jeden na ochranné stínící zástěře či vestě a druhý pod ní. Jestliže je na osobním dozimetru umístěném na zástěře naměřena hodnota osobního dávkového ekvivalentu v hloubce 10 mm vyšší než 10 mSv, musí být vyhodnocen i druhý dozimetr umístěný pod ochrannou stínící zástěrou, a na základě vyhodnocení obou dozimetrů musí být stanoven koeficient zeslabení použité stínící zástěry a efektivní dávka obdržená radiačním pracovníkem je pak zohledněna ozářením nekrytých částí těla. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

Nelze-li na pracovišti vyloučit překročení limitů ozáření v důsledku jednorázového zevního ozáření, radiační pracovník je vybaven operativními osobními dozimetry, které mají funkci zřetelné signalizace překročení nastavené úrovně u monitorované veličiny. (Kibus, 2018)

Pokud ionizující záření způsobí jednorázovým ozářením překročení pětinasobek limitů pro radiační pracovníky, osobní monitorování radiačního pracovníka musí umožnit stanovení dávek a jejich distribuce v těle radiačního pracovníka. *Na pracovišti, kde může dojít k vnitřnímu ozáření radiačního pracovníka, se sledují příjmy radionuklidů nebo úvahy efektivní dávky z vnitřního ozáření.* Když dojde k podezření, že došlo k náhlému, neplánovanému a jednorázovému ozáření radiačního pracovníka, které by mohlo překročit stanovené limity pro radiační pracovníky, musí být okamžitě zajištěno vyhodnocení osobního dozimetru a dozimetrické hodnocení takové události. (Žáčková, 2011; Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

1.3.3 Monitorování výpustí

Hlavní úkoly při monitorování výpustí z pracoviště jsou prováděny měřením, sledováním, zaznamenáváním a hodnocením veličin a parametrů, které charakterizují uvolněné radioaktivní látky, pomocí stanovení bilance objemové aktivity radionuklidů a celkové vypuštěné aktivity. Výsledné monitorování výpustí musí zahrnovat *soustavné monitorování radionuklidů*, které se bez zanedbání podílejí na ozáření obyvatelstva, vypuštěných za určité stanovené období. *Nepřetržité monitorování radionuklidů*, které má tu vlastnost rychle signalizovat odchylky od běžného provozu na pracovištích kategorie IV., musí být součástí výsledného monitorování výpustí. Dále musí zahrnovat *operativní monitorování* jiných potenciálních cest, které uvolňují radioaktivní látky z pracoviště v případě jejího úniku tak, aby se únik mohl zahrnout do bilance výpustí. (Žáčková, 2011; Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

1.3.4 Monitorování okolí

Monitorování okolí pracoviště je místo, z něhož jsou uvolňovány nebo jinými cestami vypouštěny radioaktivní látky. Toto monitorování musí být prováděno sledováním, měřením, zaznamenáváním a hodnocením veličin a parametrů, které charakterizují pole ionizujícího záření a zároveň výskyt radionuklidů v okolí pracoviště, hlavně objemových aktivit radionuklidů, hmotnostních aktivit radionuklidů a příkonu prostorového dávkového ekvivalentu. Monitorování okolí pracoviště má také záznamovou, vyšetřovací a zásahovou úroveň. Záznamová úroveň musí splňovat požadavky na nejmenší možnou detekovanou hodnotu monitorované veličiny podle vyhlášky o monitorování radiační situace. Vyšetřovací úroveň je stanovena jako horní mez obvykle se vyskytujících hodnot určité monitorované veličiny a zásahová úroveň musí být stanovena v souladu s požadavky optimalizace ozáření obyvatelstva. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

1.4 Dozimetry

Dozimetrie se zabývá vlastnostmi ionizujícího záření a veličinami, které charakterizují procesy vzniku a interakce ionizujícího záření s látkou. (Musílek, 1992)

Slovo dozimetrie má řecký původ a skládá se z řeckých slov *dosis*, které vyjadřuje dávku a *metreo* představující měření. (Vokurka, 2000)

1.4.1 Základní principy dozimetrie

Dozimetrie ionizujícího záření je založena na základní vlastnosti tohoto záření, a sice vytvářet v látce, kterou prochází, záporné a kladné ionty (ionizovat) nebo vyvolávat v látce fyzikální jevy, které jsou měřitelné a nějakým způsobem závislé na množství záření, kterému byla daná látka vystavena (např. změna vodivosti, teploty, barvy, vznik termoluminiscence apod.).

Existuje mnoho druhů dozimetrů, které lze rozdělit na dvě základní skupiny podle toho, zda podávají informaci **kontinuálně** – sem patří zejména ionizující komory, Geiger-Müllerovy počítače, polovodičové detektory, scintilační detektory, elektronické dozimetry – a nebo je v nich informace o množství sdělené energie nějakým způsobem kumulovaná a vyhodnocena až pomocí nějakého vhodného vyhodnocovacího zařízení – jsou to dozimetry **integrální** – sem patří zejména filmový, termoluminiscenční nebo fotoluminiscenční (OSL) dozimetr. Tyto dozimetry jsou také nejčastěji používané v současné době v osobní dozimetrii. (Vokurka, 2000; Radiobiologie, 2010)

1.4.2 Druhy osobních dozimetrů

Známe řadu druhů dozimetrů užívaných k osobní dozimetrii, které dokáží zjistit informace o osobním dávkovém ekvivalentu. Řadíme sem například osobní filmové dozimetry, termoluminiscenční dozimetry, neutronové dozimetry, prstové dozimetry, opticky stimulované dozimetry nebo elektronické dozimetry. Nejčastěji používané dozimetry na rentgenových pracovištích v současnosti jsou na principu filmové dozimetrie, OSL, TLD a popř. elektronické přímoodečítací dozimetry.

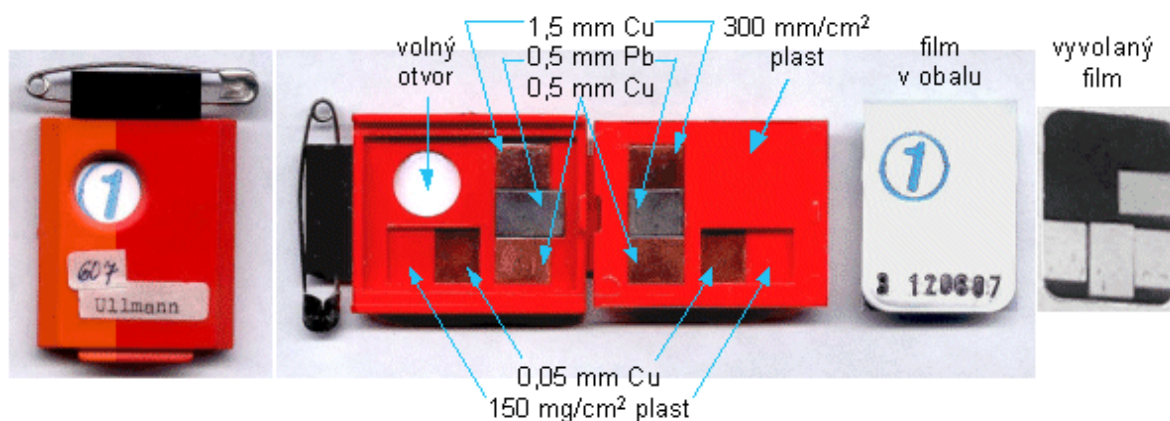
Osobní filmové dozimetry

Filmové dozimetry umožňují zjistit informaci o osobním dávkovém ekvivalentu přímo od fotonového záření a od elektronů. (Radiobiologie, 2010)

Filmové dozimetry jsou založeny na principu fotochemického účinku ionizujícího záření. Jádro filmového dozimetru představuje tzv. „políčko“ fotografického filmu, které je vloženo do plastového pouzdra a zabalené do světlotěsného papíru. Má tlustší vrstvu emulze s vyšším obsahem bromidu stříbrného oproti konvenčnímu rentgenovému filmu. Plastové pouzdro je opatřeno několika malými obdélníky z měděných nebo olověných plíšků o různých tloušťkách, které mají funkci filtrů pohlcující záření gama v závislosti na jeho energii. Tyto filtry plní úlohu korekce závislosti zčernání na energii

záření. Pod nestíněnou plochou a pod jednotlivými filtry lze odhadnout druh a přibližnou energii záření. Když ionizující záření projde obalem filmu, ve fotoemulzi se vytvoří latentní obraz, který je pomocí vyvolání zviditelněn. Fotometricky lze vyhodnocovat optickou hustotu zčernání nebo zřednutí filmu, která je závislá na míře ozáření filmu. Tímto se dá odhadnout dávka záření, která během expozice byla absorbována v tkáni. Každý radiační pracovník nosí dozimetr na referenčním místě, v levé horní části hrudníku a pravidelně každý měsíc musí nechat dozimetr fotometricky vyhodnotit s použitím vhodného kalibračního faktoru. (Ullmann, 2008)

Trvalý záznam údaje o ozáření s možností opětovné analýzy vyvolaného filmu patří mezi kladné vlastnosti filmových dozimetrů. Mezi záporné vlastnosti patří hlavně citlivost na světlo, na některé chemikálie, vysokou teplotu a vlhkost. (Radiobiologie, 2010)



Obrázek 1: Osobní filmový dozimetr

Zdroj: (Ullmann, 2008)

Termoluminiscenční dozimetry

Termoluminiscenční dozimetry prezentují vhodné látky, ve kterých ionizující záření vyvolává excitace elektronů z valenčního pásu do vodivostního pásu s následným záchytem v záchytných centrech. Elektrony zahřátím získávají dostatečnou energii k opuštění záchytného centra a k rekombinaci při současné emisi ultrafialového záření a viditelného světla. (Radiobiologie, 2010)

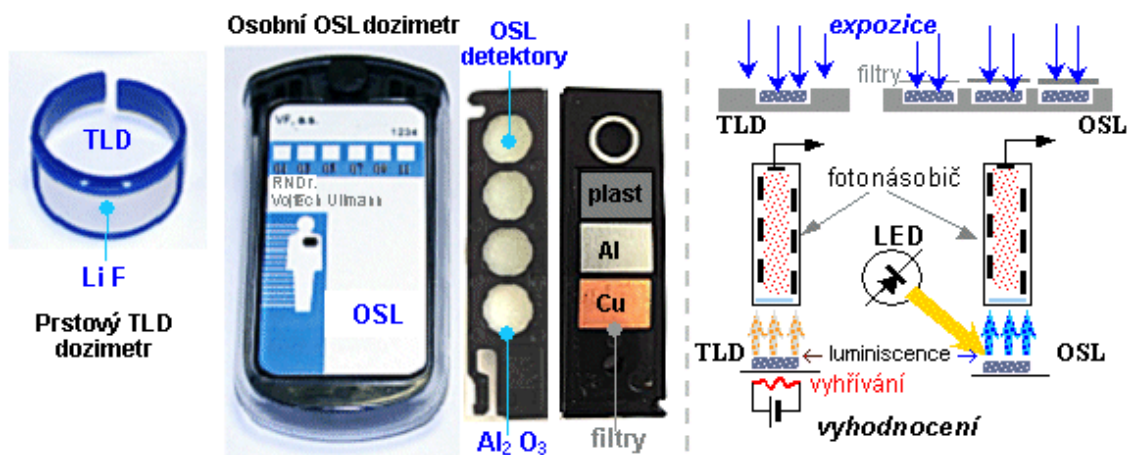
Termoluminiscenční dozimetr představuje materiálovou radiační detekci založenou na jevu metastabilní excitace určitých dielektrických materiálů. Uvolněné elektrony ionizujícího záření přecházejí z valenčního pásma do vodivého pásma, kde se zachycují

v místech poruchy krystalové mřížky na energeticky vzbuzených hladinách. Tomu se říká tzv. záchytné pasti, ve kterých dlouhodobě metastabilně setrvávají. Z těchto záchytných pastí se elektrony nemohou samovolně dostat, uvolní se pouze za předpokladu dodání určité energie, zahřátím TLD. Část absorbované energie se v tomto materiálu shromažďuje. Tepelně stimulovaná luminiscence neboli termoluminiscence vzniká zahřátím. Dochází k deexcitaci a následně se elektrony vrací zpět na nižší energetické hladiny a také do elektronových obalů atomů materiálu. Světélkování neboli luminiscence je jev, ke kterému dochází, když se uvolněná excitační energie vyzařuje ve formě fotonů viditelného světla. Čím větší radiační dávkou byl materiál ozářen, tím více je nashromážděno elektronů v metastabilních hladinách a tím více fotonů je při vyhodnocení termoluminiscencí vyzářeno. Zde funguje přímá úměrnost k radiační dávce v ozářeném materiálu. (Ullmann, 2008)

Při výrobě termoluminiscenčních dozimetrů se používá několik druhů termoluminiscenčních materiálů, ale mezi nejpoužívanější materiály patří LiF, CaF₂, MgBeO₄, CaSO₄. Termoluminiscenční dozimetry jsou nejčastěji využívané dozimetry pro radiační pracovníky především z hlediska jejich výhod. Výhod představují vysokou citlivost, možnost přesného měření, širokou oblast lineární závislosti mezi dávkou a odezvou dozimetru, možnost opakovaného použití a použití látek s vlastnostmi blízkými lidské tkáni. Jednou velkou nevýhodou termoluminiscenčních dozimetrů je jejich citlivost na světlo. Existují i termoluminiscenční dozimetry pro hodnocení ekvivalentních dávek z končetin radiačních pracovníků, které mají tvar náramku nebo častější verzi prstýnku. (Radiobiologie, 2010)

Prstové dozimetry

Prstový dozimetr se používá na pracovišti nukleární medicíny, při přípravě a aplikování radiofarmak, angiografickém pracovišti nebo při gastroenterologickém vyšetření ERCP. Prstové dozimetry se používají u radiačních pracovníků, kteří jsou vystaveni vyšší expozici a mají ruce v přímém svazku záření nebo jeho blízkosti. Tito pracovníci jsou povinni nosit ke klasickému dozimetru i prstový dozimetr. Princip prstového dozimetru je založen na termoluminiscenci, kdy krystalické látky pohlcují ionizující záření. Prsten je vyrobený z umělé hmoty, z různých barev a velikostí a krystal je uzavřen uvnitř a nosí se krystalem směrem do dlaně. (Seidl, 2012; Singer, 2005; Rosina, 2006)



Obrázek 2: Termoluminiscenční a OSL dozimetr

Zdroj: (Ullmann, 2008)

Osobní dozimetry na principu OSL

Opticky stimulovaná luminiscence (OSL) je metoda, která se během posledních 10 let rozšířila a postupně nahrazuje filmovou a termoluminiscenční dozimetrii. Mezi výhody patří zejména vysoká citlivost a rychlé vyhodnocení s možností automatizace. Těmito výhodami se stal integrální osobní OSL dozimetr velmi rychle rozšířeným prostředkem ve světě pro osobní monitorování radiačních pracovníků. Stimulace ozářeného OSL materiálu, který je složen z krystalu $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$, zeleným světlem z LED diody má za následek emitování modrého světla, jehož intenzita je úměrná radiační dávce. Tento princip je velmi podobný všeobecně známému TLD principu, pouze je podstatným rozdílem způsob stimulace krystalu – světlem LED u OSL oproti tepelnému ohřevu u TLD. Technicky je jednodušší a spolehlivější reader se stabilním světlem LED diody než reader s nutností stabilního ohřevu v interní atmosféře dusíku. Velkou výhodou u OSL je také možnost opakovaného vyhodnocování oproti TLD.

Fotoluminiscenční dozimetr je znám také pod názvem Photo Luminiscence Dosimetry PLD. Opticky stimulovaná luminiscence je v přírodě bohatě zastoupená křemenem, který je pod systematickým názvem nazýván oxid křemičitý SiO_2 . V dozimetrické praxi je však využíván oxid hlinitý Al_2O_3 (C), aktivovaný uhlíkem. (Ullmann, 2008)

Fotoluminiscence, která je celkovou podstatou fotoluminiscenčního dozimetru je založena na principu tvorby luminiscenčních center, jež jsou indukované ionizujícím zářením v určitých látkách. Zejména jsou to fosfátová skla dopovaná stříbrem. Pomocí

ultrafialového světla, kterým byl světlem ozářen detektor, je vybuzena luminiscence. (Radiobiologie, 2010)

V místě radiačního monitorování je definovaný vzorek této látky v dozimetru vystaven radiačnímu záření. Aby se dozimetr mohl vyhodnotit, používá se světelné ozáření LED diodami, což je žluto-zelené světlo o větší vlnové délce. V následujícím kroku při vyhodnocování vzniká luminiscence, která je zastoupena modrým světlem, naopak s kratší vlnovou délkou a je detekována fotonásobičem. Ozáření dozimetru je přímo úměrné celkově vzniklé luminiscence. Když bychom srovnávali proces vyvolávání u termoluminiscenčních dozimetrů a u fotoluminiscenčních dozimetrů, došli bychom k závěru, že vyvolávání u fotoluminiscenčních dozimetrů je reprodukovatelnější a mnohem jednodušší. A to zejména tím, že ozařování LED diodou se snadněji standardizuje než řízené teplotní vyhřívání. Tyto dozimetry se mohou vyskytovat a používat v podobě prstových dozimetrů především pro monitorování v laboratořích nebo na nukleární medicíně. Další typem mohou být celotělové dozimetry, které se využívají k monitorování vzorku celkového ozáření v referenčním místě. I v tomto případě se můžeme setkat s používáním několika oddělených detekčních elementů, které jsou překryty různými filtry sloužícími pro analýzu druhu a energie ionizujícího záření. (Ullmann, 2008)

Mezi výhody fotoluminiscenčních dozimetrů patří hlavně dlouhodobá odezva stability, vysoká a konstantní citlivost a nízká energetická závislost. U fotoluminiscenčních dozimetrů je citlivost detektorů na světlo považováno za nevýhodu. (Radiobiologie, 2010)

Elektronické dozimetry

Elektronické dozimetry s jejich ekonomickou dostupností nabyly na významu výpočetní techniky a vývojem miniaturizace. Pracují na bázi Geiger-Müllerových detektorů, kdy vhodně kompensované detektory mají schopnost detekovat fotony o energii, která je vyšší než 30 keV nebo v současné době pracují na principu polovodičových – Si-detektorů. Na počátku se tyto dozimetry používaly převážně v jaderných elektrárnách jako operativní dozimetry a v poslední době je jejich použití rozšiřováno i do jiných oblastí. Elektronické osobní dozimetry se využívají v oblasti osobní dozimetrie především z několika typických výhod, které lze u nich dosáhnout:

- vysoká citlivost, kdy se minimální hodnota detekovatelné dávky pohybuje od 1 μSv ,
- získává okamžitou informaci o dávce, dávkovém příkonu a dávkovém profilu, což je záznam dávky v určitém čase aktivovaného elektronického osobního dozimetru,
- lze nastavit možnosti akustického a vizuálního alarmu pro kumulovanou dávku nebo dávkový příkon při překročení nastavené úrovně,
- zajištění optimalizace radiační zátěže prostřednictvím průběžného sledování aktuálního čerpání dávek jednotlivými osobami při realizaci naplánovaných činností,
- umožnění praktické implementace principu optimalizace záření zadáním dávkových cílů a průběžným sledováním jejich plnění,
- v porovnání s filmovými dozimetry odpadá složitý a velmi časově náročný proces vyvolávání a vyhodnocování.

Nevýhodou elektronických osobních dozimetrů je možné ovlivnění některých typů elektronických dozimetrů elektromagnetickým zářením v souvislosti s použitím mobilních telefonů, čteček magnetických karet nebo při svařování. Zpravidla lze identifikovat vliv elektromagnetické diskompatibility, ale není však jednoduché je interpretovat a kompenzovat. Autonomně nebo ve spojení s vyhodnocovacím zařízením je možné využívat elektronické osobní dozimetry. U radiačních pracovníků, kteří pracují se zdroji ionizujícím zářením, se při monitorování využívá systém elektronické osobní dozimetrie, který je tvořen vlastním elektronickým osobním dozimetrem, hardwarem, který představuje fyzickou vrstvu a softwarem, který zastupuje logickou vrstvu. (Radiobiologie, 2010; Musílek, 1986)



Obrázek 3: Elektronický osobní dozimetr MDC 2000S

Zdroj: (Radiobiologie, 2010)



Obrázek 4: Elektronický osobní varovný dozimetr RAD - 60S

Zdroj: (Radiobiologie, 2010)

Malé ionizující komory s tzv. „Direct Ion Storage“ a polovodičové křemíkové detektory jsou využívány u elektronických osobních dozimetrů. Dvoukomorový systém u neutronových osobních dozimetrů DIS-N je schopen registrovat zvlášť dávku od fotonů a neutronů. S touto zmíněnou technikou jsou nabízeny pasivní integrující dozimetry, ale i elektronické dozimetry s přímou indikací dávky a s miniaturizovaným vyhodnocovacím přístrojem. (Radiobiologie, 2010)

1.5 Legislativní rámec radiační ochrany

Nezávislá organizace Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu ICRP (International Commission on Radiological Protection) sleduje nejnovější poznatky z oboru ionizujícího záření a radiační ochrany a formuluje doporučení, podle kterých je v jednotlivých státech tvořena legislativa. Tato organizace vznikla v roce 1928 ve Stockholmu. IRCP je založena na standardech, které jsou vydávány legislativou Evropské unie EUROATOM a Mezinárodní atomovou agenturou IAEA. (Kuna, 2005; Seidl, 2012)

Od 1. ledna 2017 byl dosavadní zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, nahrazen Novým atomovým zákonem č. 263/2016 Sb., který byl přijat 14. července 2016. Novým atomovým zákonem se mění prováděcí právní předpisy, z nichž nejdůležitější pro oblast radiační ochrany jsou:

- **360/2016 Sb.**, Vyhláška o monitorování radiační situace
- **359/2016 Sb.**, Vyhláška o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události

- **409/2016 Sb.**, Vyhláška o činnostech zvláště důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany, zvláštní odborné způsobilosti přípravě osoby zajišťující radiační ochranu registranta
- **422/2016 Sb.**, Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje

(Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2018)

1.6 Radiologická pracoviště s významnou expozicí radiačních pracovníků

Ve Fakultní nemocnici v Plzni je řada oddělení a pracovišť, kde se využívá ionizující záření a s měřitelnou úrovní osobní dávky u zdravotnického personálu – radiačních pracovníků. Pro tuto práci jsem vybrala tři, z hlediska obdržených dávek, nejvýznamnější pracoviště. Jedná se o digitální subtrakční angiografii, intervenční kardiologii a gastroenterologii s prováděním endoskopického vyšetření ERCP. Na těchto vyjmenovaných pracovištích je ionizující záření elementárním prostředkem, pomocí kterého lékaři posuzují zdravotní stav pacienta a celkový průběh vyšetření daného výkonu. Jedná se o neinvazivní výkony. Ionizující záření je významným pomocníkem při výkonech v ozřejmění polohy a pozice intervenčních nebo endoskopických nástrojů.

1.6.1 Digitální subtrakční angiografie

Pracoviště digitální subtrakční angiografie kombinuje využití nástrojů moderních technologií a nejmodernější rentgenovou techniku, ke speciálním operačním zákrokům na celém lidském těle. Vyšetření probíhá na katetrizačním sále ve sterilních podmínkách. Pracoviště má k dispozici robotické rameno, které umožní operátorovi pohled z jakéhokoliv úhlu. Rentgenový obraz je snímán plochým detektorem s přímou digitalizací. Získaná data jsou pak zpracovávána výkonnými počítači. Nejčastěji je prováděna angiografie, neboli zobrazení cév. Pro zobrazení cév se používá kontrastní látka, tekutina, která je viditelná v rentgenovém obraze. Z jednoho vpichu je zajištěn přístup do cévního řečiště, zpravidla to bývá z třísla, méně často z podpažní jamky nebo z jiného místa. Na cévách jsou nejčastěji ošetřována zúžená místa. Užívají se k tomu balonkové katetry různých délek a průměrů, někdy je nutné zavést trvalé kovové výztuže nebo stenty. Kdekoliv v těle je možné zobrazit zásobené nádory. Tam, kde je to vhodné provádíme embolizaci, tedy ucpání přívodových cév. Pomocí embolizace lze ošetřit například některé případy krvácení do břicha, ať už po úrazu nebo v rámci

některých onemocnění. U bypassů, tedy cévních náhrad, lze pomocí speciálního rozpouštědla dosáhnout zprůchodnění dlouhých úseků cév. Intervenční radiologie stále rozšiřuje své léčebné možnosti. Moderní technologie ve spojení se zkušeným zdravotnickým týmem umožňují léčit pacienty účinněji a méně zatěžujícími způsoby. (FN Plzeň, 2018; Vendiš, 2018)

Od roku 2000 se pracoviště Digitální subtrakční angiografie stalo samostatným a odděleným pracovištěm. Do roku 2000 bylo DSA spojeno s pracovištěm intervenční kardiologie. Na tomto pracovišti se specializovaným týmem se provádí celá řada nejrůznějších vyšetření například mozkové aneurysma, kavální filtr, všeobecně embolizace, trombolýza.

Pracoviště DSA je vybaveno moderním přístrojem. Od dubna 2017 angiografický tým může plně využívat druhý sál, díky kterému se zvýšil počet vyšetřených osob. Celý angiologický tým tvoří šest radiologických asistentů, pět atestovaných lékařů, tři lékaři před atestací a pět zdravotních sester. (FN Plzeň, 2018; Vendiš, 2018)

1.6.2 Intervenční kardiologie

Superspecializovanou kardiologickou péčí všem dospělým pacientům Plzeňského a Karlovarského kraje poskytuje Kardiologické oddělení FN Plzeň. Další prioritou kardiologického oddělení je poskytování základní kardiologické péče pacientům s chorobami srdce a cév a komplexní kardiologické péče na vysoké odborné a profesionální úrovni. V rámci I. a II. interní kliniky FN Plzeň má samostatný obor kardiologie bohatou historii. Statut samostatného kardiologického oddělení má od 1. 5. 2011. Kardiologické oddělení je nosným pracovištěm Komplexního kardiiovaskulárního centra FN Plzeň a to společně s Kardiochirurgickým oddělením a částí II. interní kliniky. Kardiochirurgické oddělení vzniklo 1. 1. 2010. Na tomto oddělení jsou prováděny specializované kardiologické diagnostické a léčebné metody, jejichž spektrum a úroveň je díky vysoce erudovanému týmu odborníků srovnatelná s péčí v ostatních Komplexích kardiiovaskulárních centrech po celé České republice i v zahraničí. Jako jediné pracoviště v Plzeňském kraji zajišťuje provoz 24 hodin denně, 7 dní v týdnu pacientům s akutním infarktem myokardu, u kterých je indikována srdeční katetrizace. Od roku 2007 využívá nový a komfortnější přístup přes cévy ze zápěstí namísto přístupu přes cévy v třísele. Tato nová metoda přináší pacientům spoustu výhod například snížení rizika komplikací, pacient po výkonu nemusí mít klid na lůžku a má

větší pohodlí bezprostředně po výkonu. Další velkou výhodou je možnost část diagnostických a léčebných zákroků provádět při jednodenní hospitalizaci na kardiostacionáři a to bez nutnosti hospitalizace v nemocnici. V dnešní době kardiologické oddělení provádí více jak 90% srdečních katetrizací cestou ze zápěstí a zastupují tak špičku v České republice. (Krajíček, 2007; Kardiologické oddělení Plzeň, 2010)

Toto pracoviště provádí rovněž celé spektrum specializovaných arytmiologických výkonů včetně katetrizačně prováděných radiofrekvenčních ablací poruch srdečního rytmu, implantací kardioverterů-defibrilátorů (ICD) a přístrojů pro srdeční desynchronizační léčbu. V současné době je oddělení vybaveno 30 standardními lůžky, 12 lůžky na Kardiologické jednotce intenzivní péče a 4 lůžky na jednodenním kardiostacionáři. Od roku 2011 je oddělení rozšířeno o dva nové sály s nejmodernější technikou. Jeden sál slouží pro intervenční kardiologii a druhý pro arytmiologii. Celkem je oddělení vybaveno dvěma sály intervenční kardiologie, dvěma sály arytmiologie, specializovanými kardiologickými ambulancemi a úsekem neinvazivní kardiologií. Téměř 4 000 pacientů je ročně hospitalizováno a kolem 10 000 pacientů ambulantně ošetřeno. V nejčastějších případech se jedná o pacienty, u kterých je zjištěna ischemická choroba srdeční, srdeční selhání, pacienti s poruchami srdečního rytmu nebo pacienti s onemocněním srdečních chlopní. Kromě Kardiochirurgického oddělení a II. interní kliniky, kardiologické oddělení v rámci FN Plzeň spolupracuje s I. interní klinikou, Klinikou zobrazovacích metod, Ústavem klinické biochemie a hematologie a také s Chirurgickou klinikou. (FN Plzeň, 2018; Kardiologické oddělení Plzeň, 2010)

1.6.3 Gastroenterologie – ERCP

Gastroenterologie Fakultní nemocnice v Plzni patří pod I. interní kliniku. Klinika je akreditovaným pracovištěm a poskytuje komplexní ambulantní i lůžkovou diagnosticko-léčebnou péči v celém rozsahu vnitřního lékařství. Je vysoce specializovaným pracovištěm zejména v oborech neurologie, metabolické choroby, výživa a diabetologie, hepatogastroenterologie, angiologie a endokrinologie. Gastroenterologické pracoviště zajišťuje specializované endoskopické výkony a konziliární službu pro celý Plzeňský i Karlovarský kraj. V rámci kraje klinika koordinuje Národní program prevence kolorektálního karcinomu. Gastroenterologický tým se specializuje hlavně na terapii idiopatických střevních zánětů, chronických virových hepatitid interferonem a prostatiky a dále na primární a sekundární prevenci

krvácení při portální hypertenzi. Z celého Plzeňského i Karlovarského kraje je gastroenterologie jediným pracovištěm, které provádí široké spektrum diagnostických i léčebných výkonů s využitím endoskopického ultrazvuku. Klinika se v roce 2006 stala úsekem Centrem biologické terapie idiopatických střevních zánětů a také působí jako konzultační centrum pro diagnostiku a léčbu těchto onemocnění v období těhotenství a porodu. Mezi garantovaná centra léčby virových hepatitid patří hepatologie. (Fn Plzeň, 2018; I. interní klinika, 2012)

Endoskopická retrográdní cholangiopankreatikografie ERCP je metoda, která využívá endoskopické a rentgenové vyšetření dohromady. Přes dutinu ústní, jícen, žaludek až na začátek tenkého střeva do tzv. duodena se zavede endoskop, který je vybaven světélkem a kamerou. Ve speciálním kanálku v endoskopu mohou být vedeny různé nástroje potřebné k tomuto vyšetření například různé druhy drobných klíštěk a dalšího vybavení k odebírání vzorků tkání tzv. biopsií nebo odsávačka pro odstraňování tekutin. Pomocí speciálního kanálu je možné nějaký orgán napustit vzduchem či nafouknout k lepším podmínkám a orientaci v daném vyšetřovaném místě. Na začátku výkonu pomocí kanyly v endoskopu, která je umístěna do tzv. Vaterské papily, je vstříknuta jodová kontrastní látka, pomocí níž můžeme na rentgenovém snímku vidět průběh žlučových cest. Na doporučení vyšetření pomocí endoskopické metody ERCP nás přivádí soubor anamnestických údajů a klinických příznaků. Jsou to zejména ikterus, bolesti v epigastriu, horečka, zimnice či třesavky, které se většinou velmi často vážou na jídlo, dále sklon k průjmům, změny barvy stolice a moči. Toto vyšetření je indikováno nemocným s podezřením na onemocnění slinivky břišní, jater a žlučových cest. Každému vyšetření ERCP by mělo předcházet provedení biochemických testů a sonografie epigastria. Mezi hlavní indikace k ERCP patří dilatace žlučovodů a podezření na konkrementy ve žlučovodech nebo patologické zvětšení hlavy pankreatu s podezřením na útlak žlučovodu, které nám potvrdí prvotní vyšetření na sonografii. (Dítě, 1996; Todd H Baron, 2013; ERCP, 2011)

ERCP je též metodou první volby při podezření na maligní onemocnění žlučových cest, rakoviny slinivky břišní, rakoviny žlučníku nebo rakoviny žlučových cest a další. Zde je třeba podotknout, že při počátečním stavu tumoru hlavy pankreatu nemusí být postižen i vývodný systém slinivky břišní. V tomto případě je velmi vhodné doplnit CT vyšetření nebo endosonografií. Tato vyšetření nám pak pomohou rozhodnout o dalším pokračování v léčbě, zda bude vhodnější postupovat radikálně

chirurgicky nebo paliativně. Relativní kontraindikace u ERCP je těhotenství. Ženy v produktivním věku by měly vyšetření podstoupit po desátém dni menstruace, kdy je stoprocentní jistota, že žena není těhotná. V akutních a život ohrožujících případech se vyšetření ERCP provádí po rozhodnutí lékaře. (Dítě, 1996; Todd H Baron, 2013; ERCP, 2011)

Na Gastroenterologii I. interní kliniky je zaměstnáno sedm lékařů a jedenáct zdravotních sester. Vyšetření ERCP – endoskopická retrográdní cholangiopankreatikografie, provádí zdravotnický tým, který je složen ze tří lékařů a pěti zdravotních sester. (FN Plzeň, 2018; I. interní klinika, 2012)

2 Cíle práce a hypotézy

CÍL 1: Zjistit naměřené a odvozené dozimetrické veličiny osobního monitorování a vývoj počtu výkonů na vybraných pracovištích v letech 2011 – 2017.

CÍL 2: Zanalyzovat zjištěná data z CÍLE 1.

CÍL 3: Popsat vývoj dozimetrických veličin osobního monitorování na vybraných pracovištích v souvislosti s počty výkonů a zhodnotit jejich vzájemné vztahy a úroveň radiační ochrany.

H: S růstem počtu intervenčních výkonů roste i radiační zátěž radiačních pracovníků.

3 Metodika výzkumu

K napsání teoretické části jsem čerpala z české i zahraniční literatury, jejíž seznam je uveden na konci této práce. Diplomovou práci jsem zpracovala pomocí kvantitativního výzkumu. Všechny hodnoty jsou statisticky zpracovány a vloženy do přehledných tabulek a grafů. Výsledkem celého výzkumu je zkoumání naměřených osobních dávek z dozimetrů u radiačních pracovníků a výčet počtu výkonů za sledované období na vybraných pracovištích ve FN Plzeň. Veškeré podklady pro praktickou část předložené práce jsem čerpala ze zdrojů Fakultní nemocnice Plzeň.

V praktické části jsem se věnovala zkoumáním naměřených osobních dávek z dozimetrů u lékařů, radiologických asistentů a zdravotních sester. Celkový rozbor probíhal na třech pracovištích FN Plzeň: digitální subtrakční angiografie, intervenční kardiologie a gastroenterologie – vyšetření ERCP. Sledované období výzkumu bylo mezi léty 2011 – 2017. Po celou dobu sledování jsem zjišťovala efektivní dávky z dozimetrů.

Osobní monitorování bylo prováděno metodou opticky stimulované luminiscence (OSL). Minimální detekovaná hodnota sledované veličiny je 0,05 mSv. Nejistota měření je v rozsahu:

- 0,05 mSv až 0,1 mSv do 50 %
- 0,1 mSv až 0,2 mSv do 25 %
- 0,2 mSv až 10 Sv do 10 %

Jednotlivým zkoumaným osobám každého pracoviště a příslušné skupiny byla přiřazena pořadová čísla, která byla používána v rozsahu celé práce. Například lékař 1 pro DSA je po celou dobu výzkumu tatáž osoba.

3.1 Osvojení teoretických znalostí zkušeností z osobního monitorování

Na pracovištích, která jsou předmětem předložené práce, dochází k vnějšmu ozáření zaměstnanců, proto je vypracován program monitorování a jedna jeho kapitola je věnována osobnímu monitorování. Zaměstnanci, v těchto případech radiační pracovníci kategorie A jsou dle programu monitorování vybaveni osobním dozimetrem. Tím je naplněn i legislativní požadavek, že každý radiační pracovník kategorie A je povinen nosit na referenčním místě osobní dozimetr. V případě zaměstnanců FN Plzeň

jsou k tomuto účelu využívány OSL dozimetry. Frekvence vyhodnocení je jeden měsíc. Monitorovanou veličinou je osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm – Hp(10) a jeho vyhodnocované výsledky jsou v jednotkách mSv. V případě podezření, že došlo k neplánovanému jednorázovému ozáření radiačního pracovníka, provádí se okamžitě vyhodnocení osobního dozimetru a dozimetrické hodnocení dané události.

Další oblastí osobního monitorování je operativní osobní monitorování. Je zavedeno pro potřeby okamžité signalizace překročení nastavených alarmových úrovní příkonu dávkového ekvivalentu Hp(10), u radiačních pracovníků jako doplňkový údaj přímo při provádění výkonu s rtg zářením. Alarmová úroveň je nastavena na 200 mSv/hod. Operativní monitorování je využíváno také v odůvodněných případech jako jednorázové nebo časově omezené monitorování u osob pohybujících se v kontrolovaném pásmu, které zároveň nemají statut radiačního pracovníka – studenti nebo návštěvníci. Při operativním osobním monitorování je též měřen osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm – Hp(10) mSv. K tomuto způsobu měření se používají elektronické osobní dozimetry DMC 2000S. Tento dozimetr má energetický dosah gamazáření od 50keV – 6 MeV, rozsah měření Hp(10) od 1 μ Sv – 10 Sv a rozsah měření příkonu dávkového ekvivalentu Hp(10) má od 10 μ Sv – 10 Sv/h.

Rutinní osobní monitorování intervenční radiologie – Monitorovací úrovně

- **Záznamová úroveň (Hp10): 0,8 mSv/měsíc**

Tato hodnota po přepočtu pod zástěrou odpovídá efektivní dávce 1,2 mSv/rok.

- **Vyšetřovací úroveň (Hp10): 5,6 mSv/měsíc**

Po přepočtu pod zástěrou tato hodnota odpovídá efektivní dávce 8,4 mSv/rok. Při dosažení již zmíněné úrovně je provedeno šetření o příčinách tohoto stavu.

- **Zásahová úroveň (Hp10): 20 mSv/rok**

Tato úroveň je stanovena po přepočtu pod zástěru a odpovídá ročnímu limitu pro radiační pracovníky. Při překročení této úrovně vede k zahájení šetření všech možných příčin a následně vyvození nápravných opatření pro zamezení opakování této skutečnosti.

Na intervenčních pracovištích jsou výhradně užívány zástěry s ekvivalentem 0,5 mm Pb, se stínícím koeficientem 1/8. Zaznamenávány jsou hodnoty dávkového ekvivalentu na zástěře, případně i pod zástěrou, jsou-li monitorovány. Výsledky osobního monitorování na zástěře jsou posuzovány z hlediska stanovených monitorovacích úrovní.

Operativní monitorování elektronickými dozimetry

Doporučené alarmové úrovně pro osobní elektronickou dozimetrii pro standardní provozní podmínky jsou:

Příkon dávkového ekvivalentu Hp(10)

- Pro radiodiagnostiku
 - Předalarm **0,5 μ Sv/h**
 - Alarm **1 μ Sv/h**
- Pro intervenční radiologii na zástěře
 - Předalarm **5 μ Sv/h**
 - Alarm **10 μ Sv/h**

Osobní dávkový ekvivalent Hp(10)

- Pro radiodiagnostiku
 - Předalarm **1 μ Sv**
 - Alarm **2 μ Sv**
- Pro intervenční radiologii na zástěře
 - Předalarm **10 μ Sv**
 - Alarm **20 μ Sv**

(Vítovec, Štěpánková, 2017)

3.2 Shromáždění podkladů pro výzkum

Celkový výzkum pro tuto práci probíhal ze zdrojů FN Plzeň. Shromažďovala jsem výsledky z osobní dozimetrie na již zmíněných, vybraných pracovištích FN Plzeň u radiologických pracovníků - u lékařů, radiologických asistentů a zdravotních sester. Zaměřila jsem se na výsledky ročních efektivních dávek. Celkový výzkum a sběr dat probíhal ve sledovaném období mezi léty 2011 – 2017. Při sběru dat a dalších potřebných informací a fotodokumentace jsem osobně jednotlivá pracoviště navštívila.

3.2.1 Digitální subtrakční angiografie

Při posuzování naměřených hodnot z dozimetrů v roce 2011 jsem pracovala se souborem u devíti zdravotnických osob. Na pracovišti DSA v tomto roce pracovali celkem čtyři lékaři, tři radiologičtí asistenti a dvě zdravotní sestry. Stejný počet zdravotního personálu na pracovišti DSA pracoval i v roce 2012 a 2013.

V roce 2014 nastoupila jedna nová zdravotní sestra, tudíž se celkový počet zdravotnického personálu zvýšil na deset pracovníků. V následujícím roce 2015 se počet zaměstnanců nezměnil.

Rok 2016 byl významný pro digitální subtrakční angiografii v tom, že se celkový počet zdravotnického personálu zvýšil na 13 pracovníků. Nastoupili dva lékaři a jeden radiologický asistent.

Poslední rok sledovaného období byl výjimečný tím, že byl uveden do provozu zcela nový angiografický sál. S tím souvisí hlavně přesun celého angiografického pracoviště z areálu FN na Borech do areálu FN na Lochotíně. Také se zvýšil i angiografický tým o jednoho radiologického asistenta a tři zdravotní sestry, celkový počet v roce 2017 činí 17 pracovníků.

3.2.2 Intervenční kardiologie

Na intervenční kardiologii v roce 2011 pracovalo celkem 13 zaměstnanců, z toho pět lékařů, čtyři radiologičtí asistenti a čtyři zdravotní sestry. Následující rok 2012, představoval stejný počet zdravotního personálu, ale zdravotní sestra 5 zastupovala zdravotní sestru 4.

V roce 2013 na intervenční kardiologii pracovaly obě zdravotní sestry 4 a 5. Tedy celkový počet zdravotního personálu byl 14 zaměstnanců.

Rok 2014 byl shodný s rokem 2012, kdy zdravotní sestra 5 zastupovala zdravotní sestru 4. V následujícím roce 2015 nastoupil jeden nový radiologický asistent.

Poslední dva roky sledovaného období, tedy 2016 a 2017, byly z hlediska zdravotního personálu totožné. Jeden radiologický asistent odešel z tohoto oddělení, a celkový počet zdravotního personálu byl 14 zaměstnanců, z toho bylo pět lékařů, čtyři radiologičtí asistenti a pět zdravotních sester.

3.2.3 Gastroenterologie – ERCP

U vyšetření ERCP nejsou uvedeny naměřené hodnoty z dozimetrů u radiologických asistentů, neboť při tomto vyšetření se střídá velký počet radiologických asistentů. Nelze jasně identifikovat konkrétní radiologické asistenty a jejich naměřené osobní hodnoty pouze při tomto vyšetření. V náplni práce radiologických asistentů na Klinice zobrazovacích metod FN Plzeň, kteří vykonávají práci na rentgenu, je více pracovišť. Například skiaskopie, pojízdný rentgen nebo operační sály, kde je velká pravděpodobnost obdržení radiační dávky. Proto zde nejsou uvedeny naměřené osobní hodnoty radiologických asistentů, protože by získané hodnoty nebyly k tomuto vyšetření adekvátní.

První tři roky sledovaného období (2011 – 2013) se na vyšetření ERCP střídali celkem dva lékaři a pět zdravotních sester. Je důležité zmínit, že při každém vyšetření ERCP je přítomen jeden lékař a dvě zdravotní sestry.

Ostatní následující roky (2014 – 2017) se zdravotnický tým skládal ze tří lékařů a pěti zdravotních sester.

3.3 *Statistické zpracování podkladů*

Kolektivní efektivní dávkou S [Sv] se rozumí pro účely tohoto sdělení součet efektivních dávek všech jednotlivců v určité skupině (vztaheno k jednomu zdroji). V předložené diplomové práci jsem se zaměřila na tři pracoviště (DSA, KARD ERCP). V našem případě jde o součet efektivních dávek všech radiačních pracovníků – lékařů, radiologických asistentů a zdravotních sester. Hodnota kolektivní efektivní dávky je jedním ze základních ukazatelů pro hodnocení zajištění radiační ochrany. Tato veličina má statistický význam a jako taková je součástí hodnocení efektivity zajištění radiační ochrany.

Hodnota této veličiny je ovlivňována počtem vstupujících pracovníků do kontrolovaných pásem, v našem případě se jedná o intervenční pracoviště. Vliv tohoto faktoru lze zjistit podělením kolektivní efektivní dávky S počtem pracovníků n .

$$\bar{S} = \frac{S}{n}$$

Pokud je derivace časové funkce

$$\dot{S} = \frac{d\bar{S}}{dt}$$

přibližně rovná nule, tedy:

$$\dot{S} = 0$$

pak případně klesající S není způsobeno klesajícím počtem radiačních pracovníků vstupujících do kontrolovaných pásem – intervenčních pracovišť, tento pokles je způsoben jinými faktory, stejně jako stoupající S není způsobeno stoupajícím počtem radiačních pracovníků. V případě nulové derivace při konstantním počtu pracovníků a konstantním počtu výkonů můžeme usuzovat, že v dodržování zásad a pravidel radiační ochrany nedochází k výkyvům. (Pokroky v zajištění radiační ochrany, 2016)

Tabulka 7: Počty provedených výkonů na všech sledovaných pracovištích

Počty provedených výkonů							
Rok	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pracoviště							
DSA	956	996	997	1120	1152	1430	2004
KARD	3280	3562	3440	3300	3523	3462	3585
ERCP	326	327	307	324	407	450	472

Zdroj: vlastní

Z tabulky 7 můžeme vidět přehled všech provedených výkonů na všech sledovaných pracovištích.

Tabulka 8: Počty jednotlivých výkonů na KARD

Počty jednotlivých výkonů na KARD							
Rok	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Výkony							
SKG	2300	2500	2400	2300	2500	2400	2500
PCI	980	1050	1020	970	990	1030	1050
TAVI	-	2	10	20	23	22	25
Ostatní	-	10	10	10	10	10	10

Zdroj: vlastní

Tabulka 8 ukazuje všechny typy výkonů na intervenční kardiologii. Typy výkonů rozdělujeme do dvou skupin: koronární a nekoronární výkony. Mezi koronární výkony patří SKG a PCI. SKG - selektivní koronarografie je kontrastní rentgenologické vyšetření věnčitých – koronárních tepen zásobujících srdce. Toto vyšetření provádí 5 lékařů kardiologického týmu a z hlediska radiační zátěže je toto vyšetření nenáročné. PCI – perkutánní koronární intervence neboli koronární angioplastika je léčba stenózy nebo uzavřených tepen. Toto vyšetření provádí 4 lékaři a je z hlediska radiace více náročné než již zmiňovaný typ vyšetření SKG. Mezi nekoronární výkony patří TAVI – katetrová implantace aortální chlopně - provádí pouze 2 specializovaní lékaři kardiologického týmu. Tato léčba se neprovádí tak často jako předešlé výkony, ale z hlediska radiace je velmi náročná. Ostatní výkony provádí též dva specializovaní lékaři, typ výkonů je léčebný a z pohledu radiační zátěže jsou tyto výkony nejnáročnější. Tabulka je barevně rozlišená a to pro míru zatížení radiační zátěže, nejsvětlejší barva znázorňuje nejnižší zatížení a nejtmaší barva nejvyšší zatížení.

Tabulka 9: Kolektivní dávky radiačních pracovníků za sledované období

Kolektivní dávky S_{celk} radiačních pracovníků							
Rok	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pracoviště							
DSA	74,87	69,74	59,83	64,73	51,63	57,96	66,86
KARD	48,88	73,88	69,42	71,44	49,61	48,32	49,14
ERCP	10,74	16,85	17,18	21,71	27,12	24,99	22,89

Zdroj: vlastní

Tabulka 9 popisuje kolektivní dávku všech radiačních pracovníků na vybraných pracovištích za sledované období.

Tabulka 10: Kolektivní dávky S_{celk} vydělené počtem n_{celk}

Kolektivní dávky S_{celk} vydělené počtem n_{celk}							
Rok	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pracoviště							
DSA	8,32	7,75	6,65	6,47	5,16	4,46	3,93
KARD	3,76	5,68	4,96	5,5	3,54	3,45	3,51
ERCP	1,53	2,41	2,45	2,71	3,39	3,12	2,86

Zdroj: vlastní

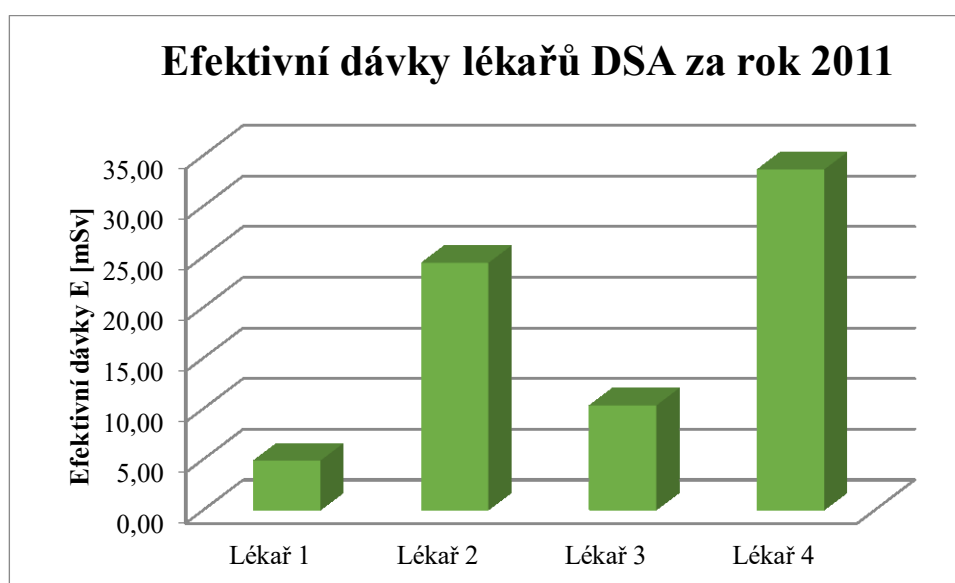
V tabulce 10 jsou uvedené hodnoty kolektivních dávek S_{celk} získané součtem dávek všech pracovníků a následně vydělené celkovým počtem radiačních pracovníků

n_{celk} .

4 Výsledky

4.1 *Intervenční radiologie*

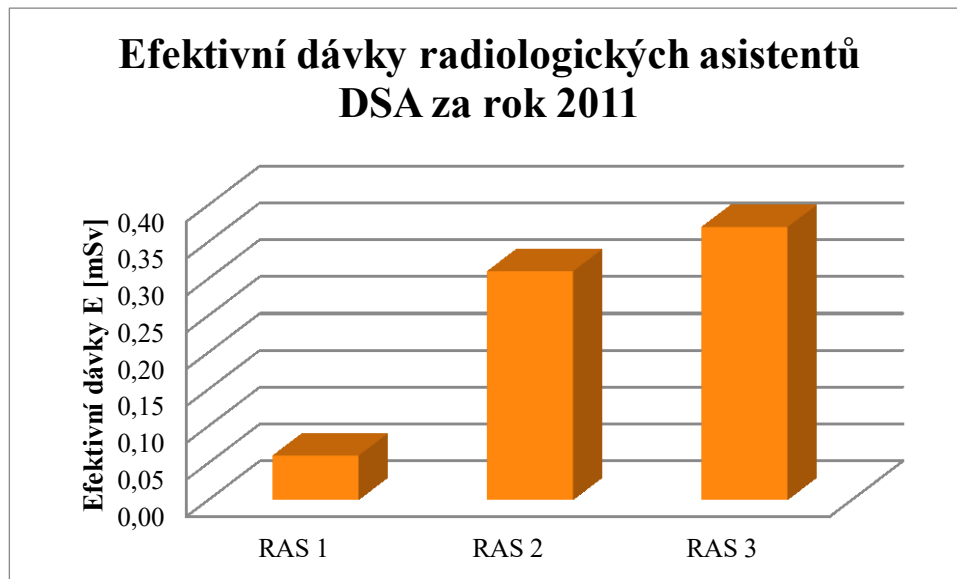
V roce 2011 na pracovišti DSA pracovali celkem čtyři lékaři s atestací, tři radiologičtí asistenti a dvě zdravotní sestry. RAS 2 je do roku 2015 zařazen na pozici vedoucího radiologického asistenta angiografického pracoviště. Činnost v kontrovaném pásmu vykonává občas, tudíž uvedené hodnoty jsou nižší proti ostatním radiologickým asistentům.



Graf 1: Efektivní dávky lékařů DSA za rok 2011

Zdroj: vlastní

Graf 1 ukazuje, že nejvyšší efektivní dávku obdržel lékař 4 a nejnižší dávku lékař 1. Druhou nejvyšší efektivní dávku obdržel lékař 2.



Graf 2: Efektivní dávky radiologických asistentů DSA za rok 2011

Zdroj: vlastní

Z grafu 2 je zřejmé, že nejvyšší dávku za rok 2011 obdrželi RAS 2 a RAS3.

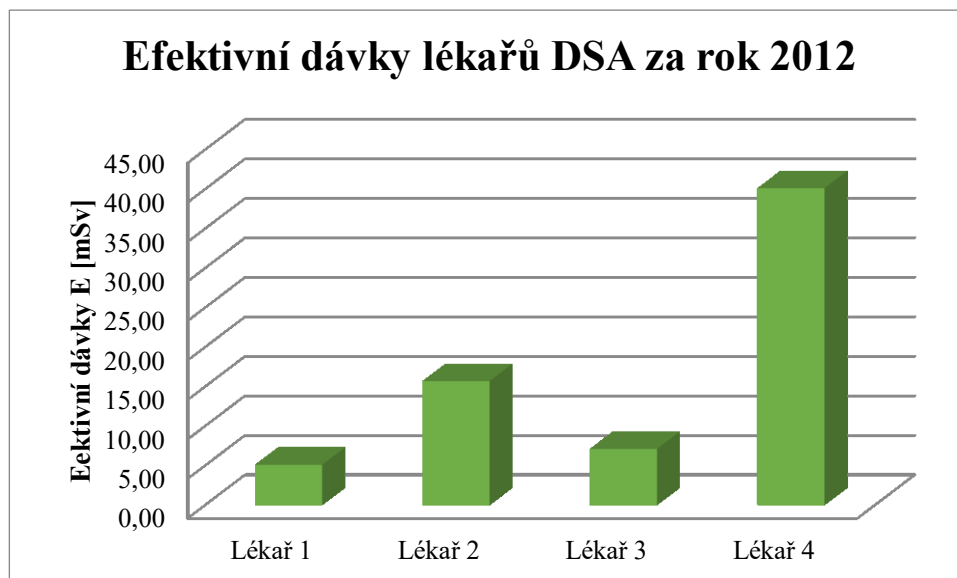


Graf 3: Efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2011

Zdroj: vlastní

Graf 3 ukazuje hodnoty osobních dávek zdravotních sester DSA a můžeme zde vidět, že zdravotní sestra 1 měla podstatně vyšší hodnoty než zdravotní sestra 2.

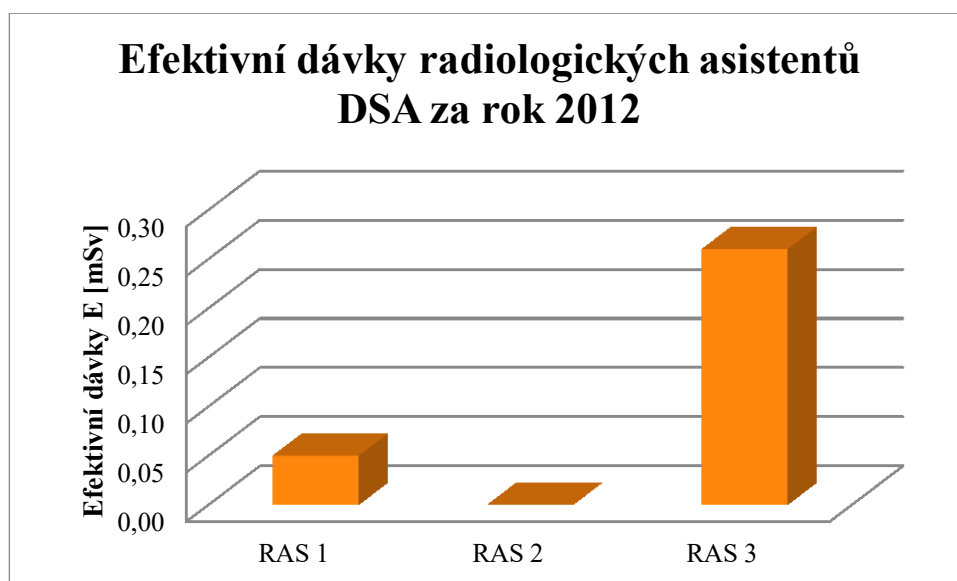
V roce 2012 na tomto pracovišti pracovalo stejně zdravotního personálu jako v roce 2011, tedy čtyři lékaři, tři radiologičtí asistenti a dvě zdravotní sestry.



Graf 4: Efektivní dávky lékařů DSA za rok 2012

Zdroj: vlastní

Graf 4 znázorňuje, že lékař 4 měl nejvíce naměřenou osobní dávku stejně jako v roce 2011 a lékař 1 měl nejmenší naměřenou osobní dávku jako v předchozím roce.



Graf 5: Efektivní dávky radiologických asistentů DSA za rok 2012

Zdroj: vlastní

Z grafu 5 vidíme, že efektivní dávku měli nejvíce naměřeno RAS 1 a RAS 3 oproti RAS 2.

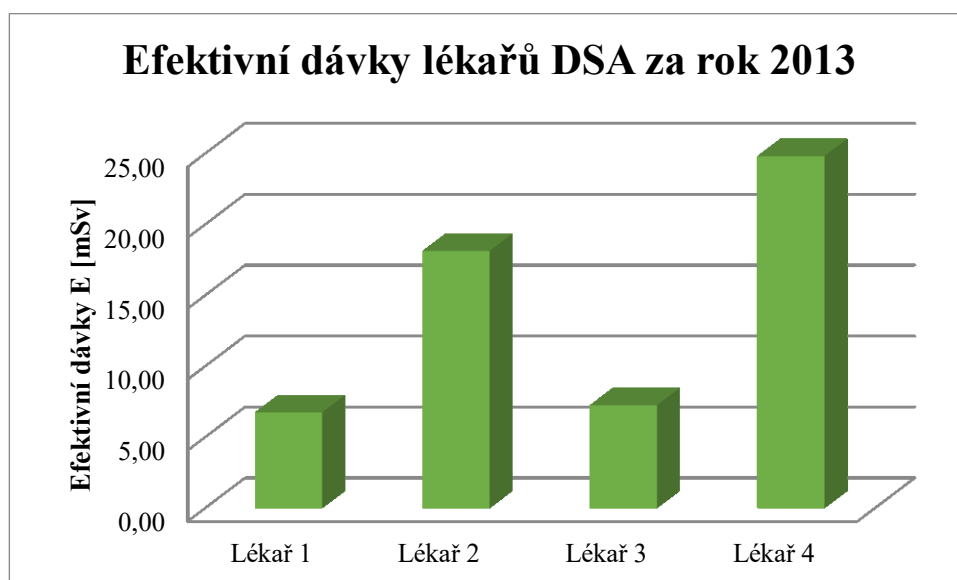


Graf 6: Efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2012

Zdroj: vlastní

Graf 6 ukazuje, že zdravotní sestra 1 měla naměřené hodnoty nižší než zdravotní sestra 2.

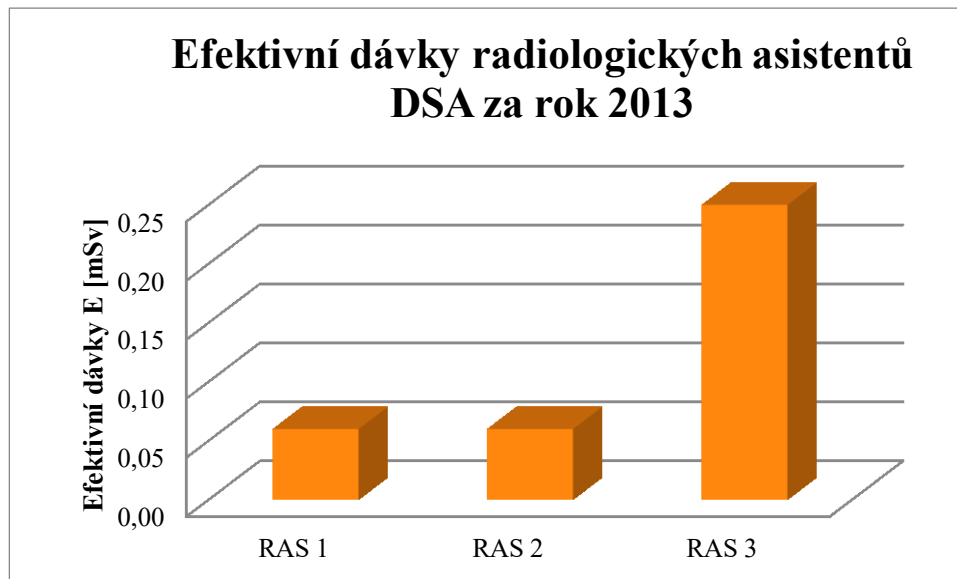
Za rok 2013 na pracovišti DSA pracoval stejný počet zdravotnického personálu jako v předchozích dvou letech.



Graf 7: Efektivní dávky lékařů DSA za rok 2013

Zdroj: vlastní

I graf 7 potvrzuje shodný výsledek jako v předchozím roce. Lékař 4 obdržel nejvyšší dávky a o něco nižší dávky lékař 2. Nejnižší dávky obdrželi lékaři 1 a 3.



Graf 8: Efektivní dávky radiologických asistentů DSA za rok 2013

Zdroj: vlastní

Graf 8 potvrzuje, že RAS 3 měl za rok 2013 nejvyšší naměřené dávky.

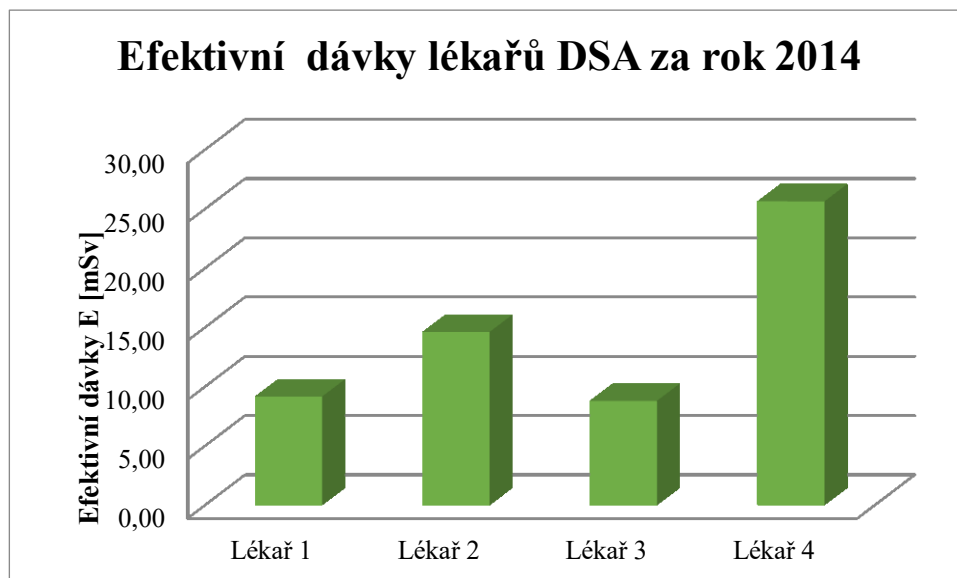


Graf 9: Efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2013

Zdroj: vlastní

Graf 9 ukazuje efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2013. Zdravotní sestra 2 měla naměřené vyšší dávky oproti zdravotní sestře 1.

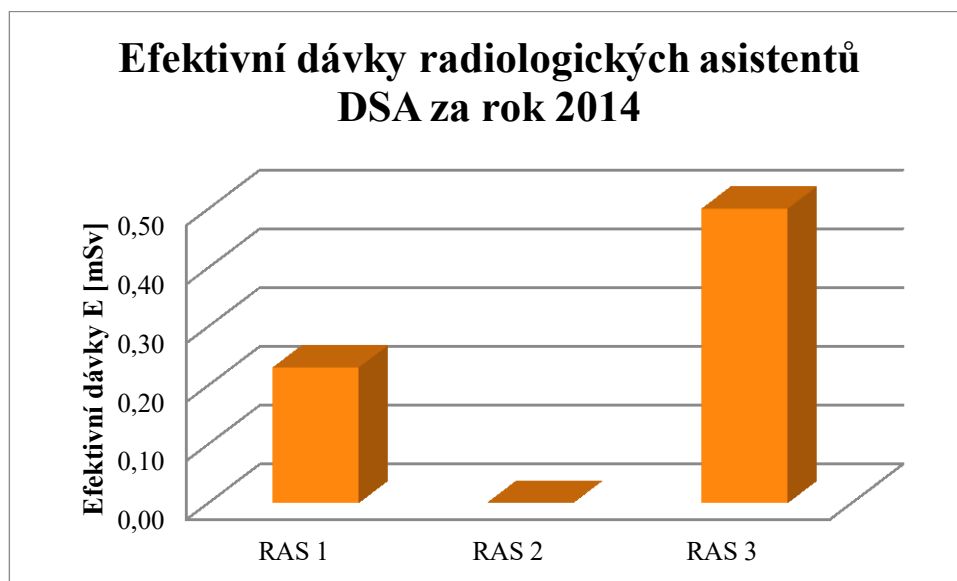
V roce 2014 od června nastoupila nová zdravotní sestra, která je součástí angiografického týmu.



Graf 10: Efektivní dávky lékařů DSA za rok 2014

Zdroj: vlastní

Z grafu 10 je zřejmé, že jako v předchozích letech má nejvyšší dávku lékař 4 a lékař 2.



Graf 11: Efektivní dávky radiologických asistentů DSA za rok 2014

Zdroj: vlastní

V roce 2014 obdržel nejvyšší dávky radiologický asistent 3.

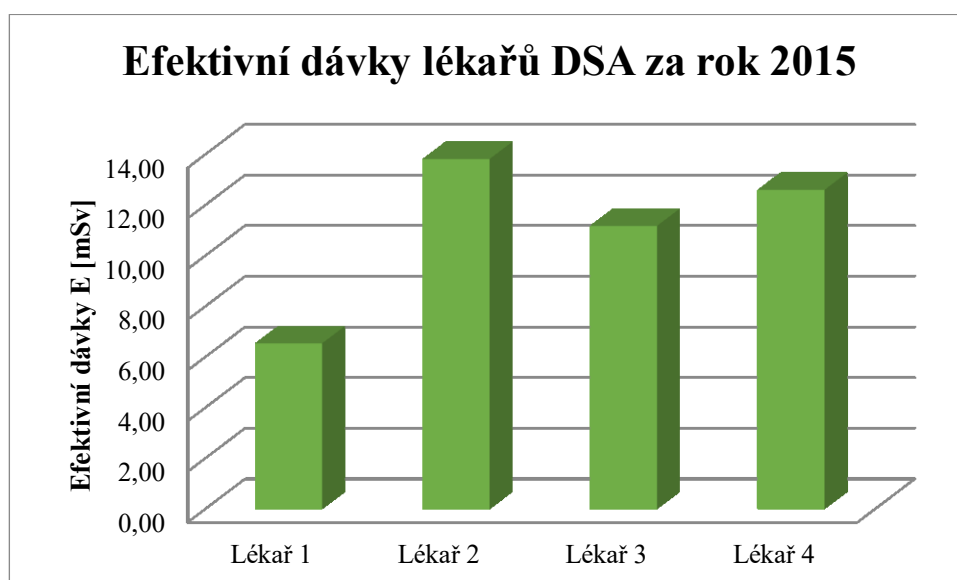


Graf 12: Efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2014

Zdroj: vlastní

V grafu 12 můžeme vidět velký nepoměr u uvedených efektivních dávek zdravotních sester, zdravotní sestra 2 měla nejvyšší dávku, téměř třetinové hodnoty měla zdravotní sestra 1 a zdravotní sestra 3 měla o polovinu nižší dávky než zdravotní sestra 2.

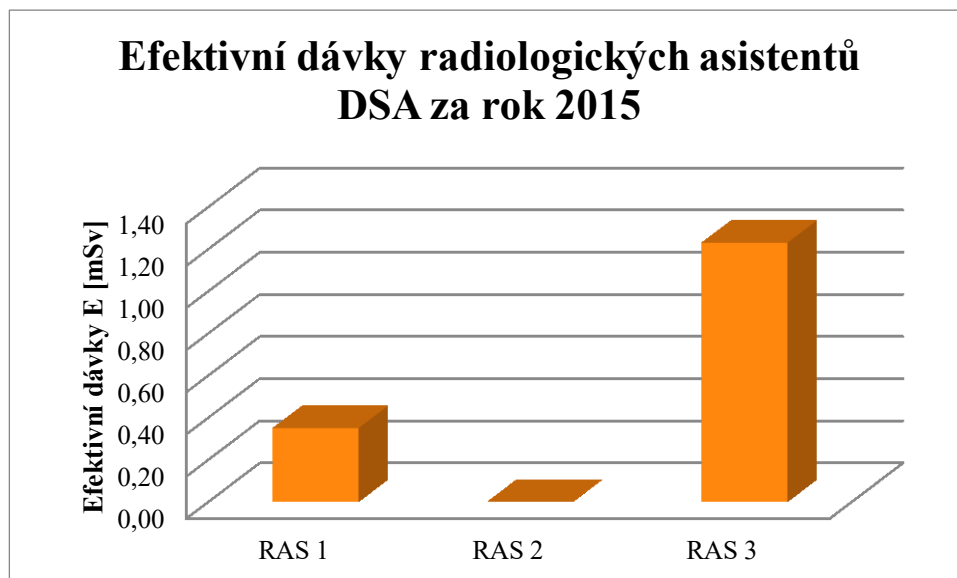
V roce 2015 stejně jako v roce 2014 pracovali na pracovišti digitální subtrakční angiografie čtyři lékaři, tři radiologičtí asistenti a tři zdravotní sestry.



Graf 13: Efektivní dávky lékařů DSA za rok 2015

Zdroj: vlastní

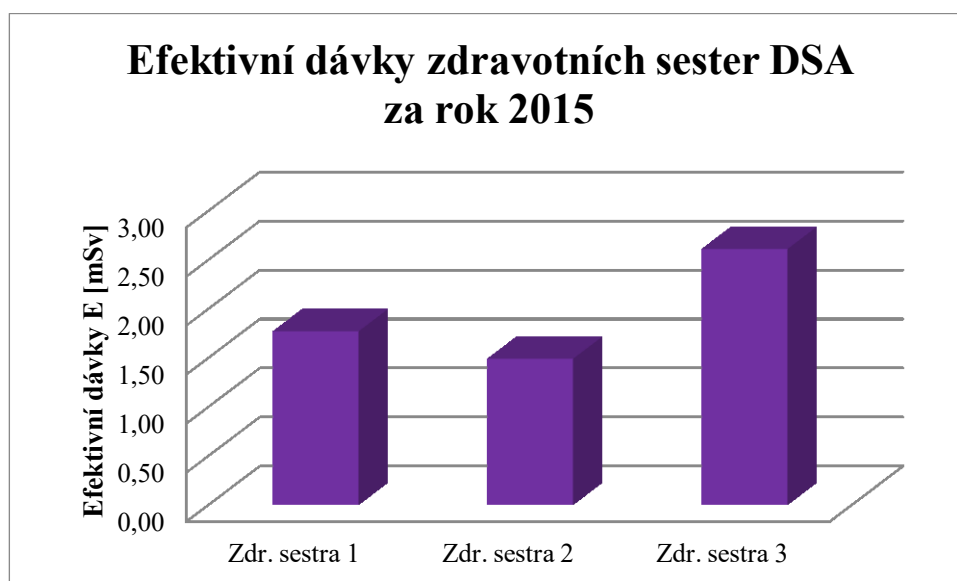
Z grafu 13 můžeme vidět, že nejvyšší efektivní dávku obdržel lékař 2.



Graf 14: Efektivní dávky radiologických asistentů DSA za rok 2015

Zdroj: vlastní

Z roku 2015 měl nejvyšší efektivní dávku radiologický asistent 3 a nejnižší radiologický asistent 2.



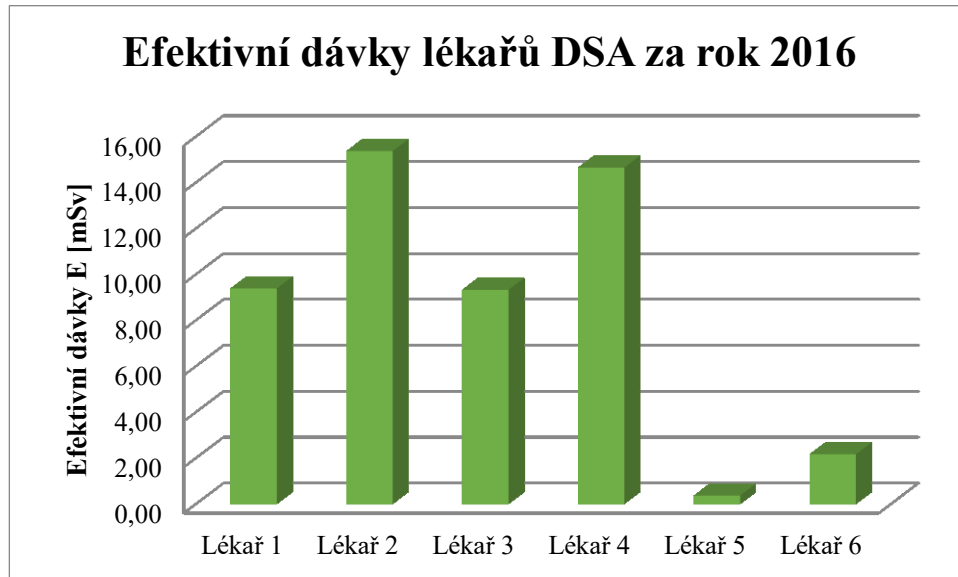
Graf 15: Efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2015

Zdroj: vlastní

Z grafu 15 můžeme vyčíst, že nejvyšší efektivní dávku měla zdravotní sestra 3 a o něco nižší měla zdravotní sestra 1 a nejnižší dávku měla zdravotní sestra 2.

V roce 2016 proběhla výstavba nového zákrokového sálu a v dubnu téhož roku proběhlo jeho slavnostní otevření. Dosavadní DSA pracoviště na Borech bylo zrušeno

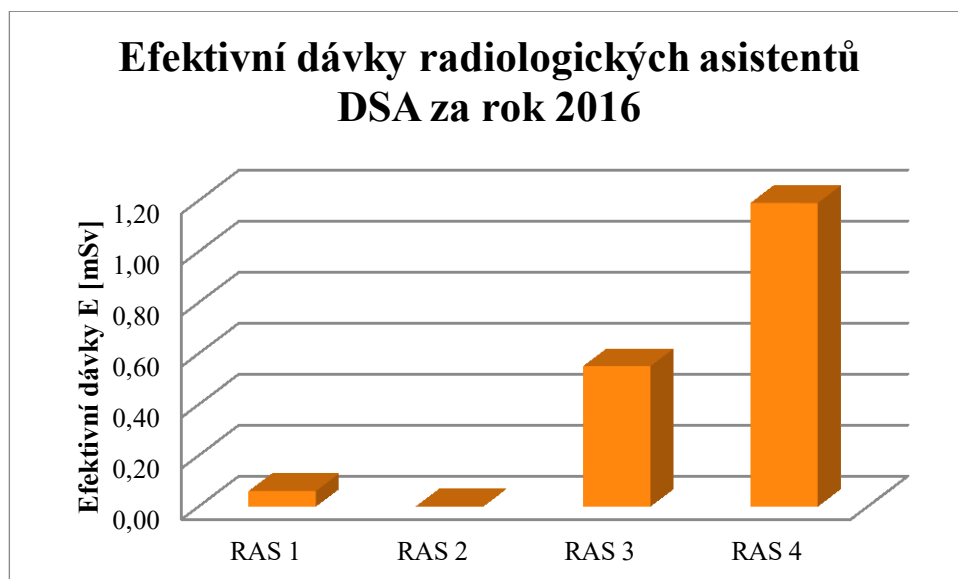
a veškeré výkony byly přesunuty do Lochotínského areálu. Od začátku roku 2016 se na angiografickém pracovišti zaučili dva noví lékaři a jeden radiologický asistent. Radiologický asistent 2 od roku 2016 již nevykonává funkci vedoucího radiologického asistenta angiografického pracoviště.



Graf 16: Efektivní dávky lékařů DSA za rok 2016

Zdroj: vlastní

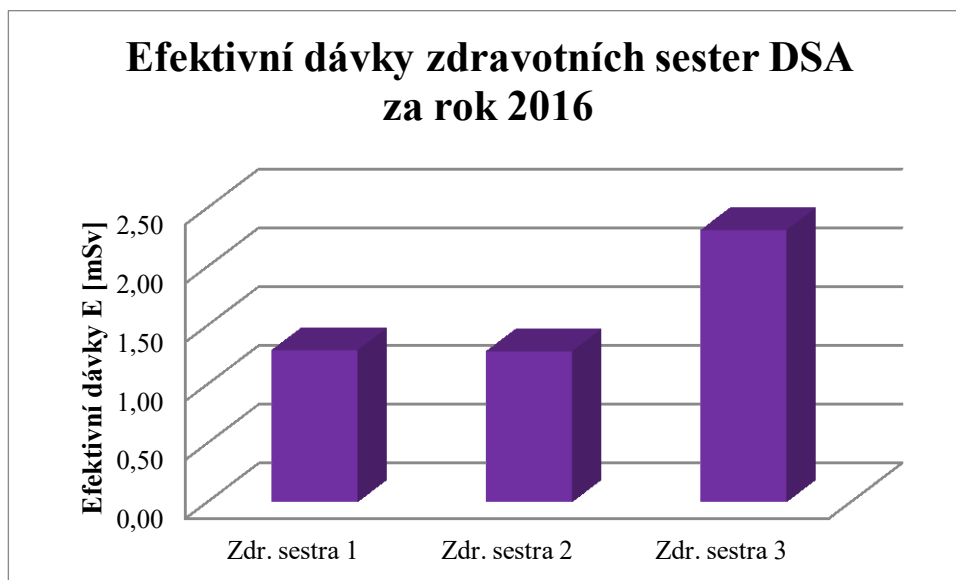
Z grafu 16 je přehledně vidět, že nejvyšší hodnoty se stále vyskytují u lékaře 2 a u lékaře 4. Naopak nejnižší efektivní dávky byly naměřeny lékařům 5 a 6, protože se na angiografickém pracovišti zaučovali a začínali svoji kariéru.



Graf 17: Efektivní dávky radiologických asistentů DSA za rok 2016

Zdroj: vlastní

Z grafu 17 je zřejmé, že efektivní dávku z dozimetřů u radiologických asistentů ukazují nejvyšší hodnoty u RAS 3 a 4, neboť byl rozšířen provoz na dva zákrokové sály a z důvodu přesunu pracoviště z Borského areálu do Lochotínského areálu i vyšší počet pacientů.

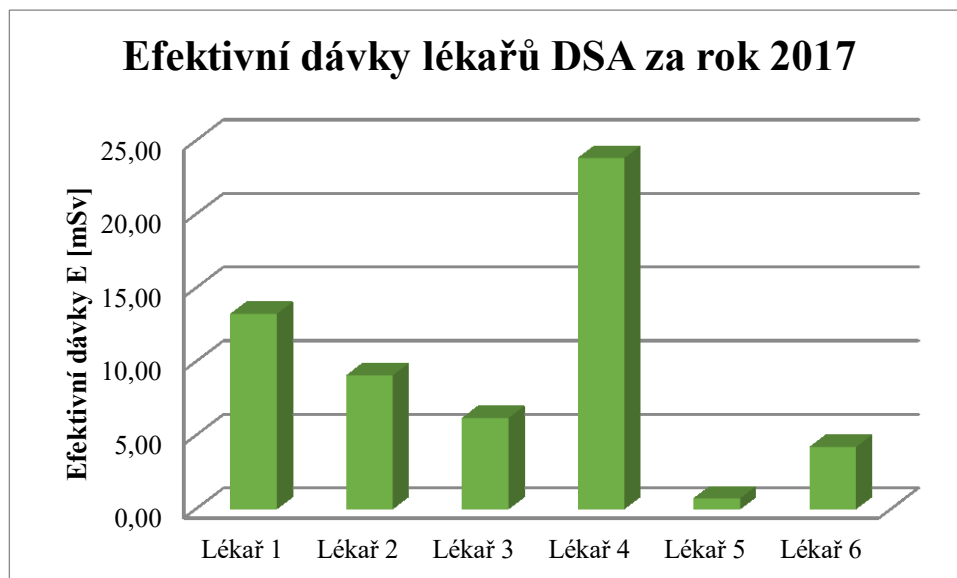


Graf 18: Efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2016

Zdroj: vlastní

Podle grafu 18 měla nejvyšší efektivní dávku zdravotní sestra 3. Téměř srovnatelné dávky měla zdravotní sestra 1 se zdravotní sestrou 2.

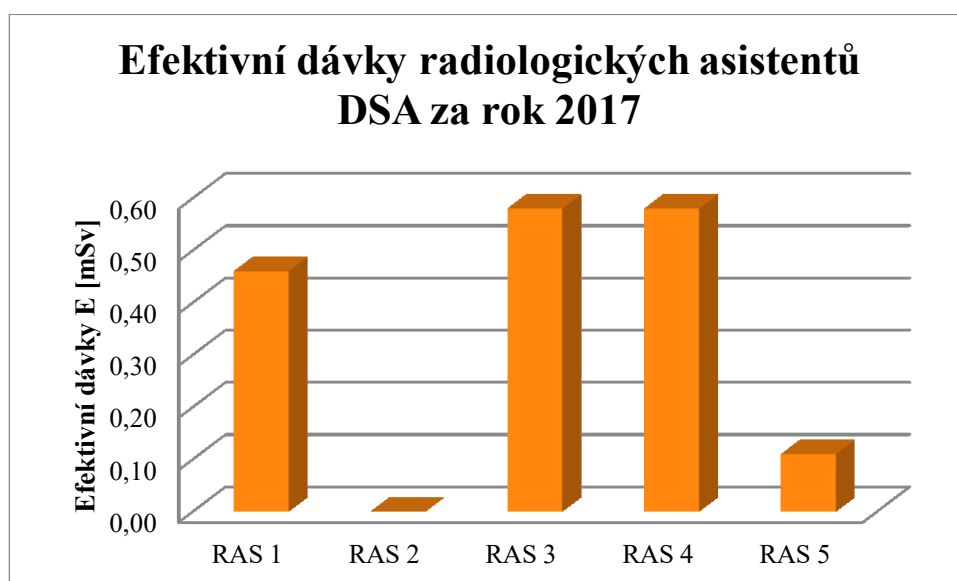
Na začátku roku 2017 se angiografický tým rozšířil o jednu zdravotní sestru, od března o jednoho radiologického asistenta a jednu zdravotní sestru. Další zdravotní sestra nastoupila v srpnu a celkový počet angiografického týmu vzrostl na 17 zaměstnanců. K navyšování zdravotnického personálu došlo zejména z důvodu navýšení počtu výkonů a současný provoz na dvou zákrokových sálech.



Graf 19: Efektivní dávky lékařů DSA za rok 2017

Zdroj: vlastní

V roce 2017 měl nejvyšší dávky naměřeny lékař 4, o něco nižší měl lékař 1. Nejnižší efektivní dávky vychází u nových lékařů, kteří se na tomto pracovišti pouze zaučovali, jejich práce byla i na jiných pracovištích, kde nebyl zdroj ionizujícího záření.



Graf 20: Efektivní dávky radiologických asistentů DSA za rok 2017

Zdroj: vlastní

Graf 20 ukazuje téměř stejné efektivní dávky u RAS 3 a RAS 4.



Graf 21: Efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2017

Zdroj: vlastní

Graf 21 názorně ukazuje, že nejvyšší dávky za celý rok 2017 měla zdravotní sestra 4. Nepatrně nižší dávky měla zdravotní sestra 3 a poté zdravotní sestra 5. Z celého roku 2017 měly zdravotní sestry 1, 2 a 6 velmi nízké naměřené efektivní dávky.

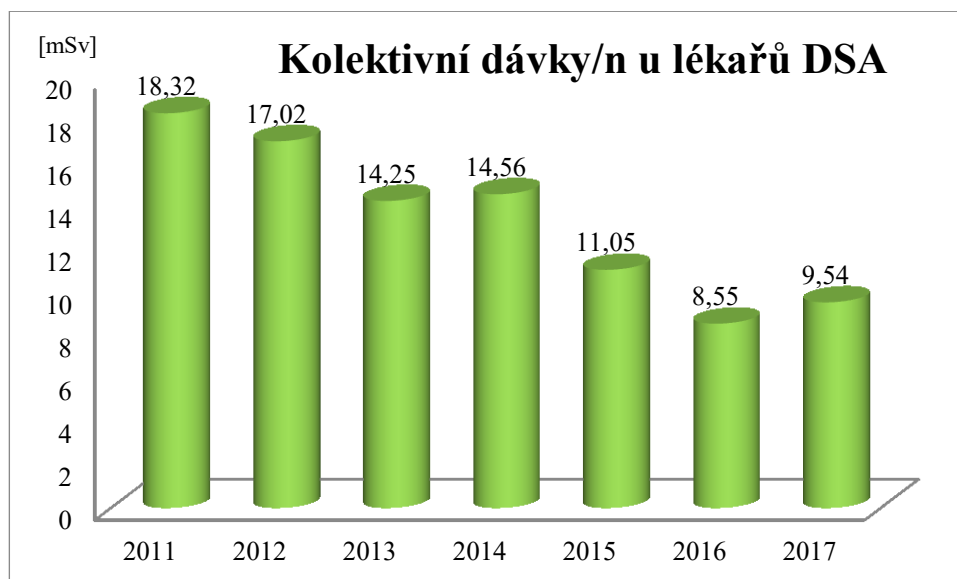


Graf 22: Počet výkonů na pracovišti DSA za sledované období

Zdroj: vlastní

Z grafu 22 můžeme vidět stoupající počet provedených výkonů na oddělení DSA. V posledním roce 2017 byl na zákrovém sále 1 celkem 1409 výkonů a na

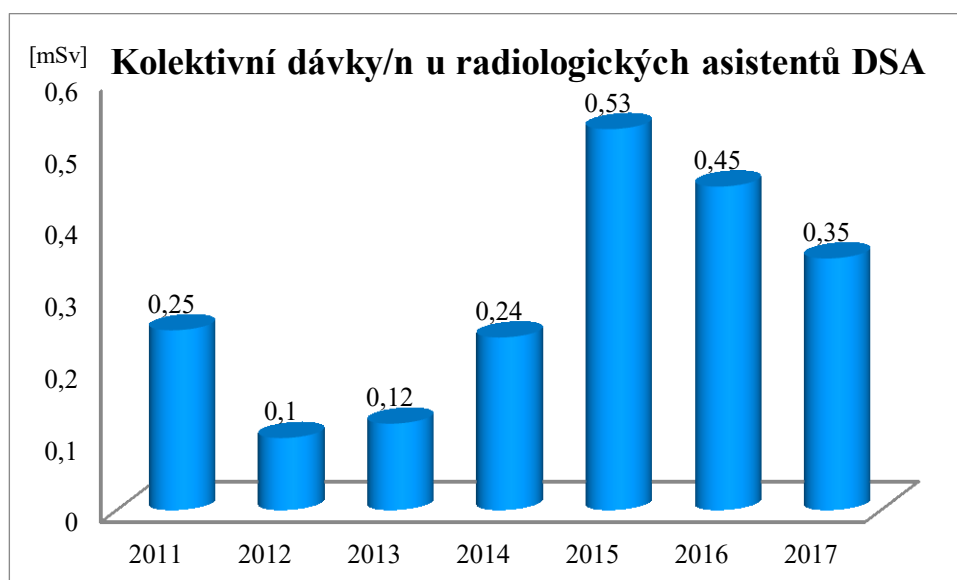
zábrokovém sále 2 celkem 595 výkonů. V tomto grafu je znázorněn výsledný počet výkonů za rok 2017, a to součtem výkonů z obou zábrokových sálů.



Graf 23: Kolektivní dávky lékařů vydělené počtem lékařů DSA za sledované období

Zdroj: vlastní

Z grafu 23 lze přehledně vidět klesající kolektivní dávku u lékařů DSA za sledované období.

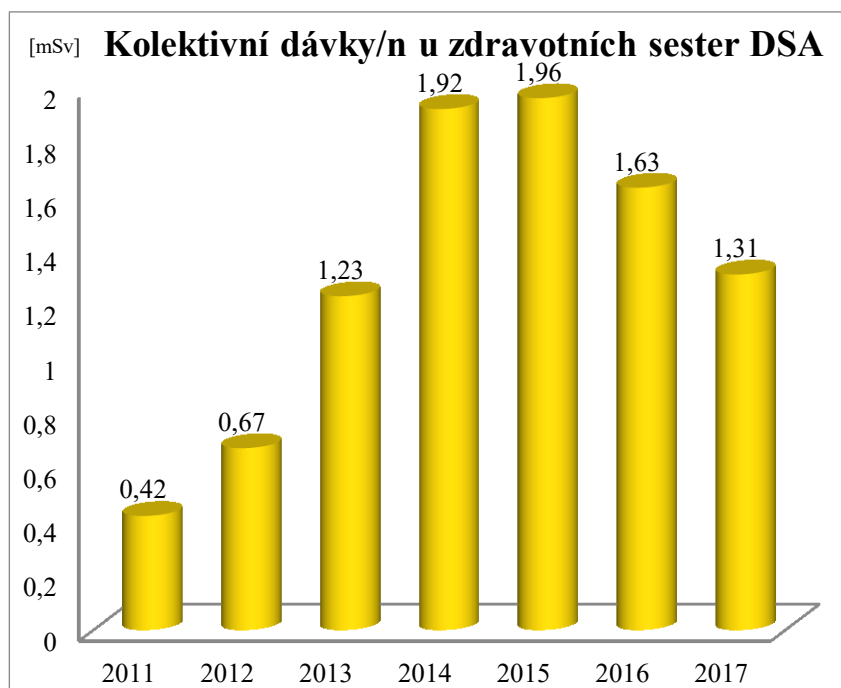


Graf 24: Kolektivní dávky radiologických asistentů vydělené počtem radiologických asistentů DSA za sledované období

Zdroj: vlastní

Graf 24 popisuje kolektivní hodnoty u radiologických asistentů DSA. Ze začátku sledovaného období sledujeme pokles dávek, od roku 2014 dávky prudce stoupají a od

roku 2016 se dávky opět snižují. V absolutních hodnotách se však tyto dávky pohybují velmi nízko (max. hodnota 0,53 mSv), popsaná fluktuace nesvědčí o porušování pravidel radiační ochrany, může souviset s chybou měření osobních dozimetrů, která činí v oblasti 0,05 – 0,1 mSv až 50 %, pravděpodobně souvisí také s charakterem konkrétních výkonů v monitorovacím období.



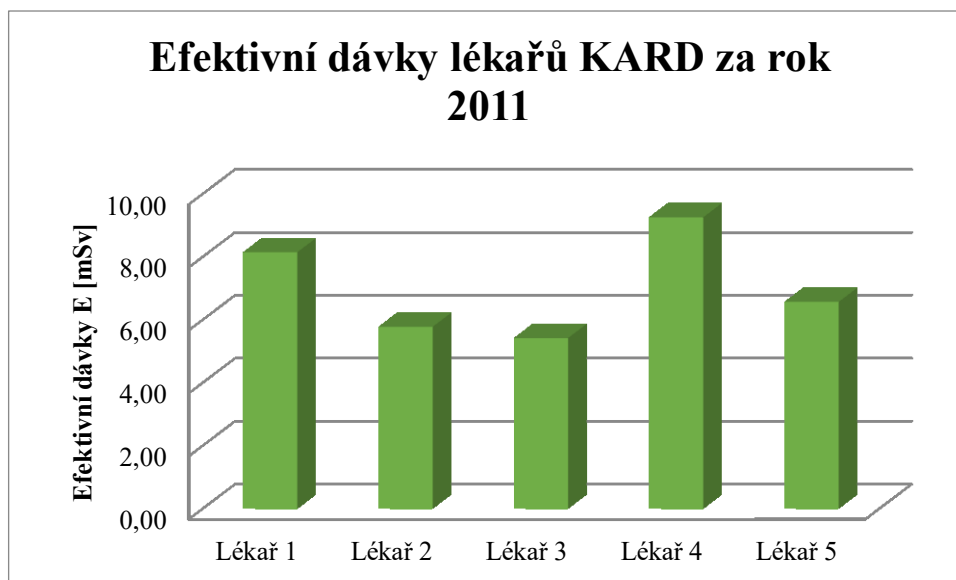
Graf 25: Kolektivní dávky zdravotních sester vydělené počtem zdravotních sester DSA za sledované období

Zdroj: vlastní

Z grafu 25 je zřejmé, že od začátku sledovaného období kolektivní dávky stoupaly a až poslední dva roky dávky začaly klesat. Opět je nutno konstatovat, že absolutní hodnoty jsou ve srovnání s lékaři výrazně nižší. V roce 2014 narostl počet sester na tři, jedna z toho v zácviku, kolektivní dávka se výšila o 1/3, což odpovídá personálnímu nárůstu – měsíční dávky u jednotlivých sester nevykazovaly rozdíly. Pokles v letech 2016 a 2017 znamenal stabilizaci a dobrý trend v radiační ochraně na pracovišti navzdory rostoucímu počtu výkonů.

4.2 *Intervenční kardiologie*

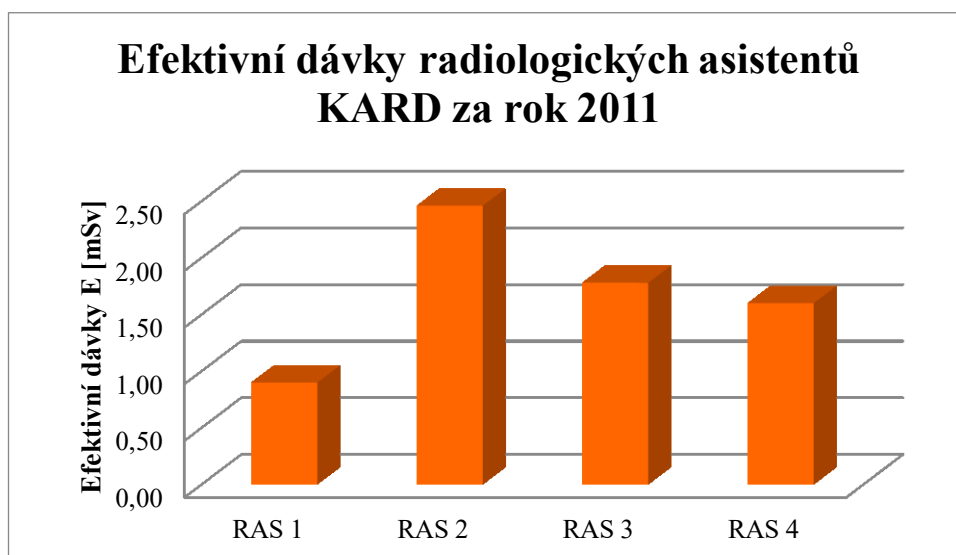
V roce 2011 na oddělení intervenční kardiologie pracovalo pět lékařů, čtyři radiologičtí asistenti a čtyři zdravotní sestry.



Graf 26: Efektivní dávky lékařů KARD za rok 2011

Zdroj: vlastní

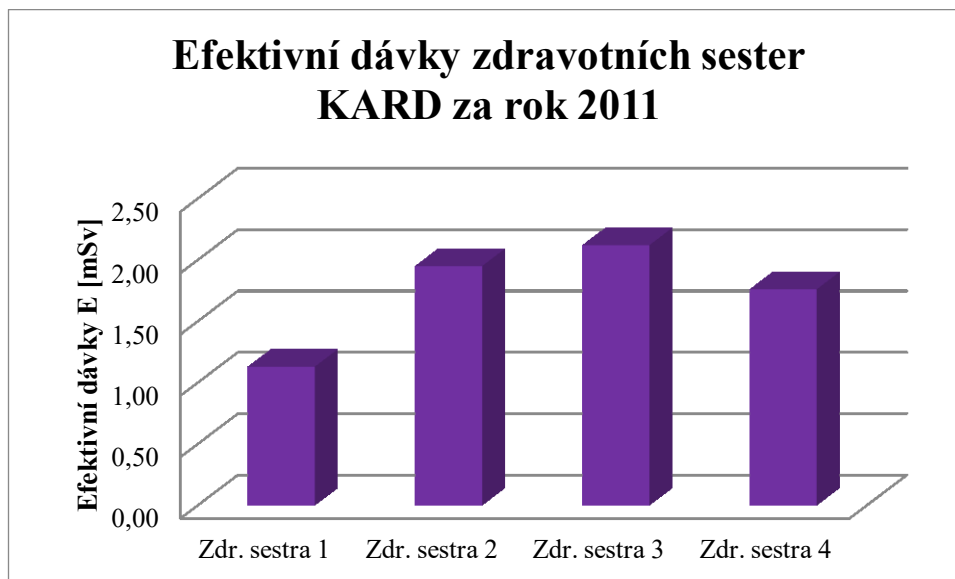
Graf 26 ukazuje nejvyšší hodnoty efektivních dávek u lékaře 4. Naopak nejnižší dávky měl lékař 3.



Graf 27: Efektivní dávky radiologických asistentů KARD za rok 2011

Zdroj: vlastní

V grafu 27 obdržel nejvyšší hodnoty efektivních dávek radiologický asistent 2 a nejnižší dávky byly zjištěny u radiologického asistenta 1.

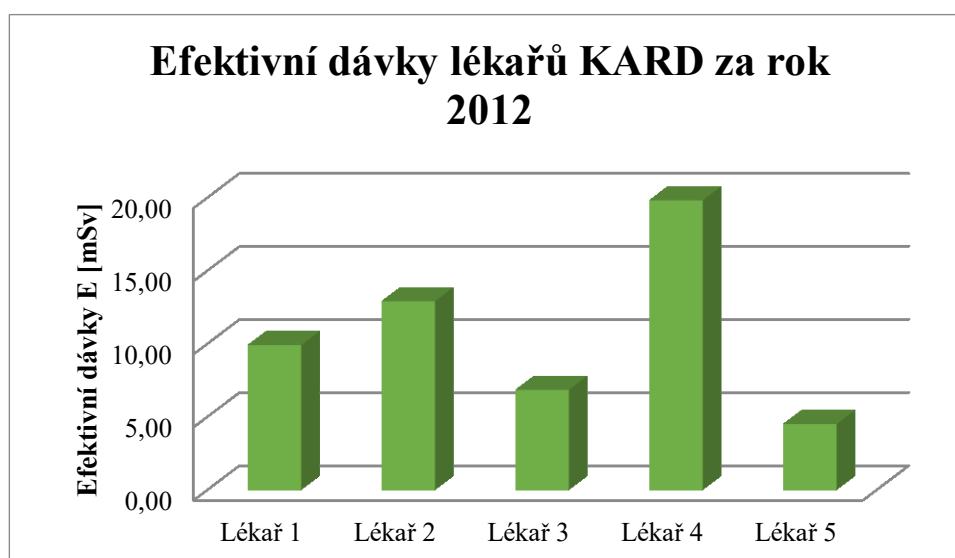


Graf 28: Efektivní dávky zdravotních sester KARD za rok 2011

Zdroj: vlastní

Graf 28 popisuje přehled efektivních dávek u zdravotních sester. Nejvyšší efektivní dávku obdržela zdravotní sestra 3 a nejnižší efektivní dávku zdravotní sestru 1.

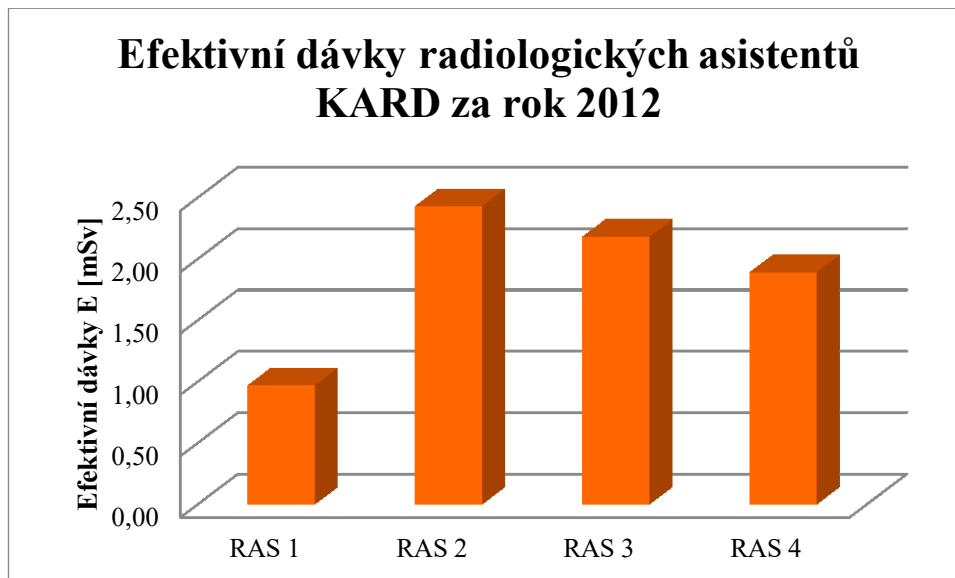
V roce 2012 na oddělení intervenční kardiologie pracovalo celkem pět lékařů, čtyři radiologičtí asistenti a čtyři zdravotní sestry. V tomto roce zastupovala zdravotní sestra 5 za zdravotní sestru 4.



Graf 29: Efektivní dávky lékařů KARD za rok 2012

Zdroj: vlastní

V roce 2012 obdržel nejvyšší hodnoty efektivních dávek lékař 4, naopak nejnižší dávky měl naměřené lékař 5.



Graf 30: Efektivní dávky radiologických asistentů KARD za rok 2012

Zdroj: vlastní

Graf 30 ukazuje, že nejvyšší hodnoty obdržel radiologický asistent 2 a nejnižší hodnoty efektivních dávek byly naměřeny radiologickému asistentovi 1.

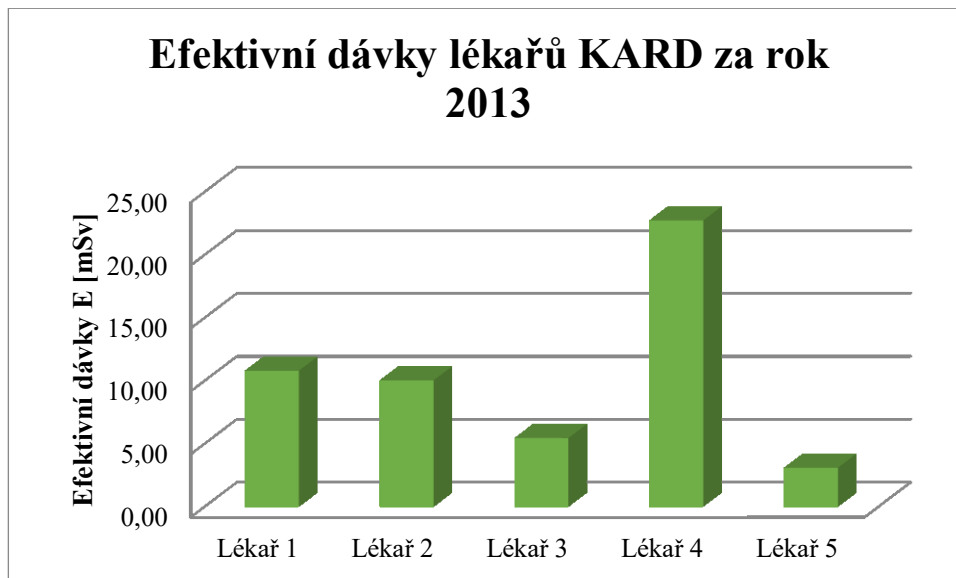


Graf 31: Efektivní dávky zdravotních sester KARD za rok 2012

Zdroj: vlastní

V roce 2012 nejvyšší hodnoty efektivních dávek byly naměřeny u zdravotní sestry 5. Zbylé tři zdravotní sestry měly naměřené hodnoty efektivních dávek srovnatelné.

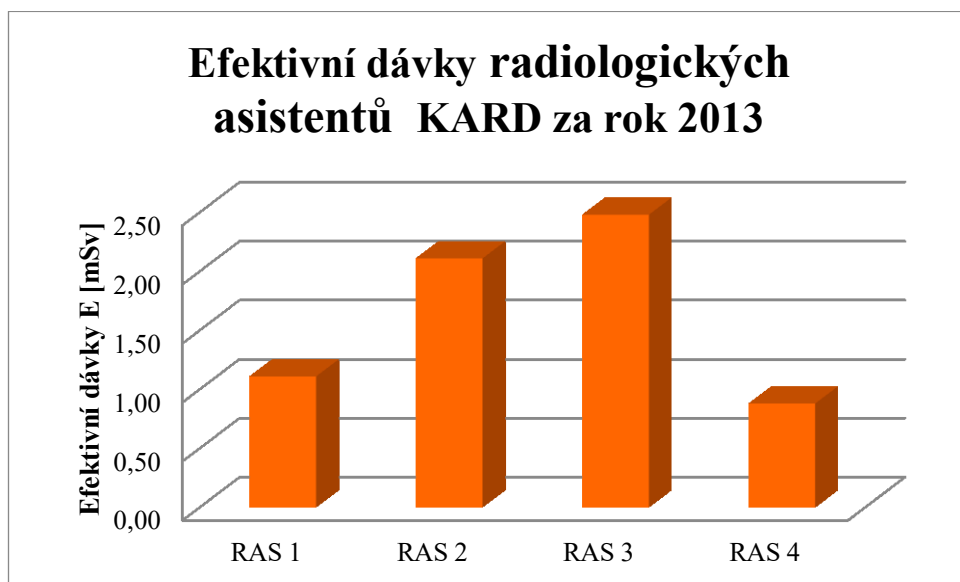
V roce 2013 pracovalo na oddělení intervenční kardiologie celkem pět lékařů, čtyři radiologičtí asistenti a pět zdravotních sester.



Graf 32: Efektivní dávky lékařů KARD za rok 2013

Zdroj: vlastní

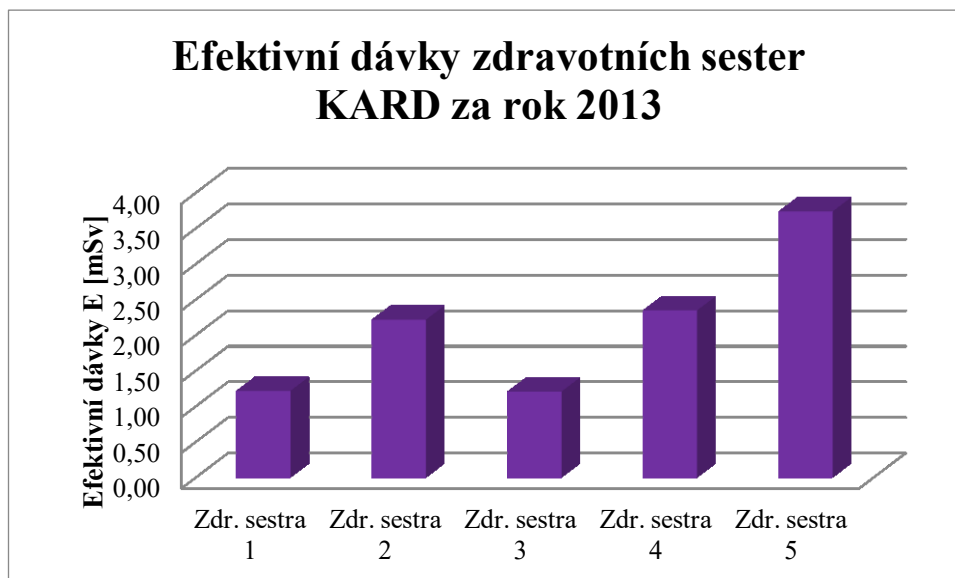
Z grafu 32 je patrné, že nejvyšší hodnoty osobních dávek byly naměřeny u lékaře 4.



Graf 33: Efektivní dávky radiologických asistentů KARD za rok 2013

Zdroj: vlastní

Za rok 2013 radiologický asistent 3 obdržel nejvyšší hodnoty efektivních dávek a radiologický asistent 4 měl naměřeny nejnižší hodnoty efektivních dávek.

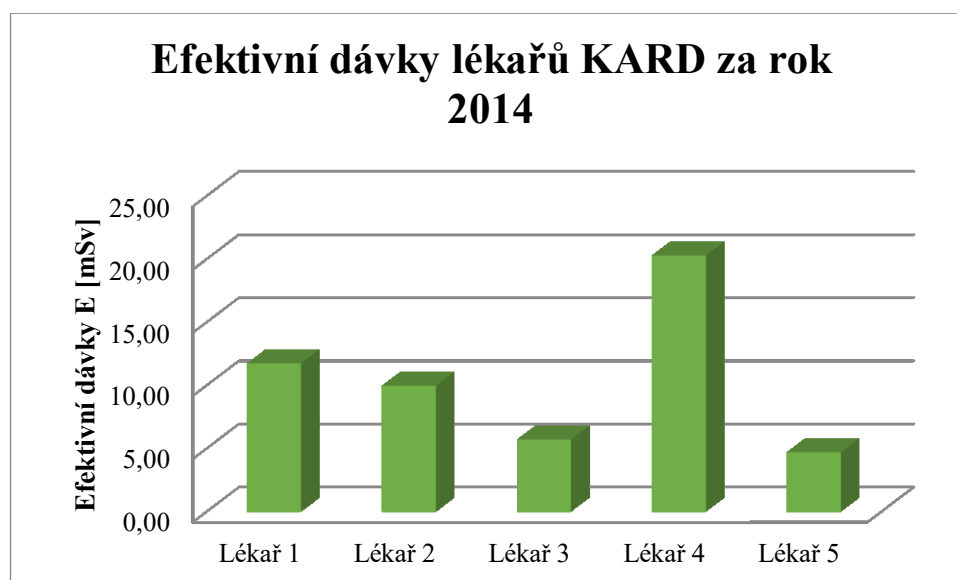


Graf 34: Efektivní dávky zdravotních sester KARD za rok 2013

Zdroj: vlastní

Z grafu 34 je patrné, že zdravotní sestra 5 obdržela nejvyšší hodnoty efektivních dávek.

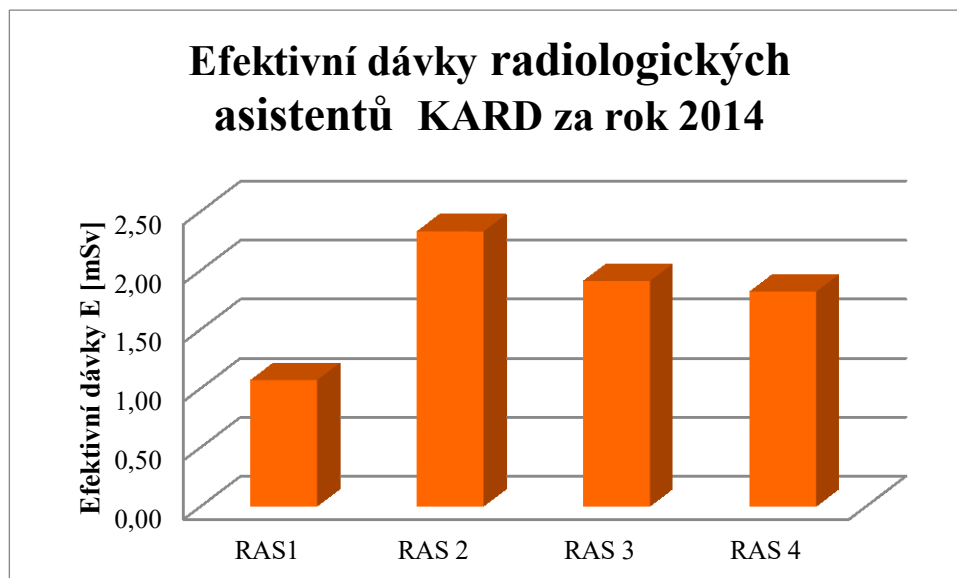
Podobně jako u předchozích zkoumaných let pracovalo na oddělení intervenční kardiologie celkem pět lékařů, čtyři radiologičtí asistenti a čtyři zdravotní sestry. V tomto roce zdravotní sestra 5 zastupovala za zdravotní sestru 4, jako v roce 2012.



Graf 35: Efektivní dávky lékařů KARD za rok 2014

Zdroj: vlastní

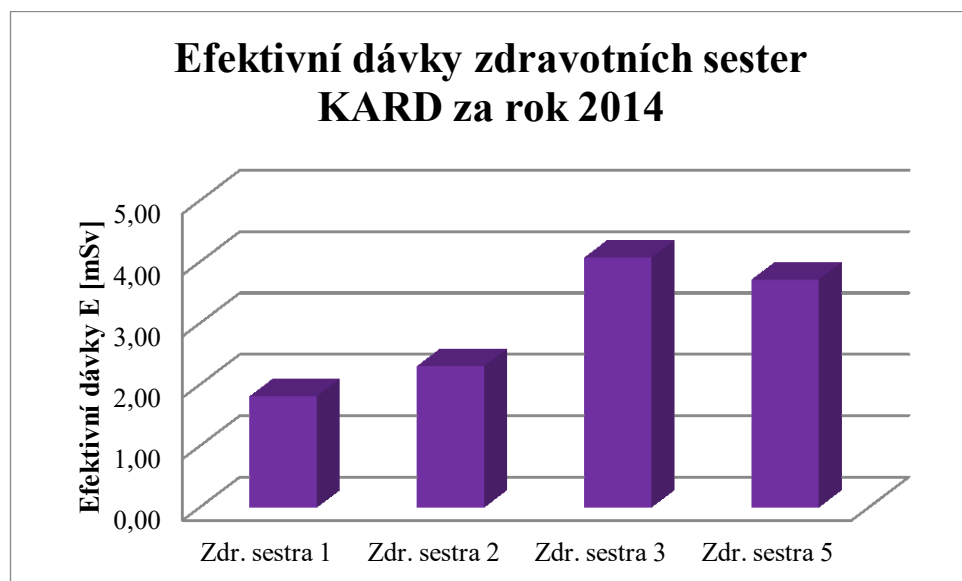
U grafu 35 můžeme vidět, že nejvyšší efektivní dávky obdržel lékař 4. Naopak nejnižší hodnoty osobních dávek měl naměřeny lékař 5.



Graf 36: Efektivní dávky radiologických asistentů KARD za rok 2014

Zdroj: vlastní

Graf 36 popisuje, že radiologický asistent 2 v roce 2014 obdržel nejvyšší hodnoty efektivních dávek a radiologický asistent 1 měl nejnižší hodnoty efektivních dávek.

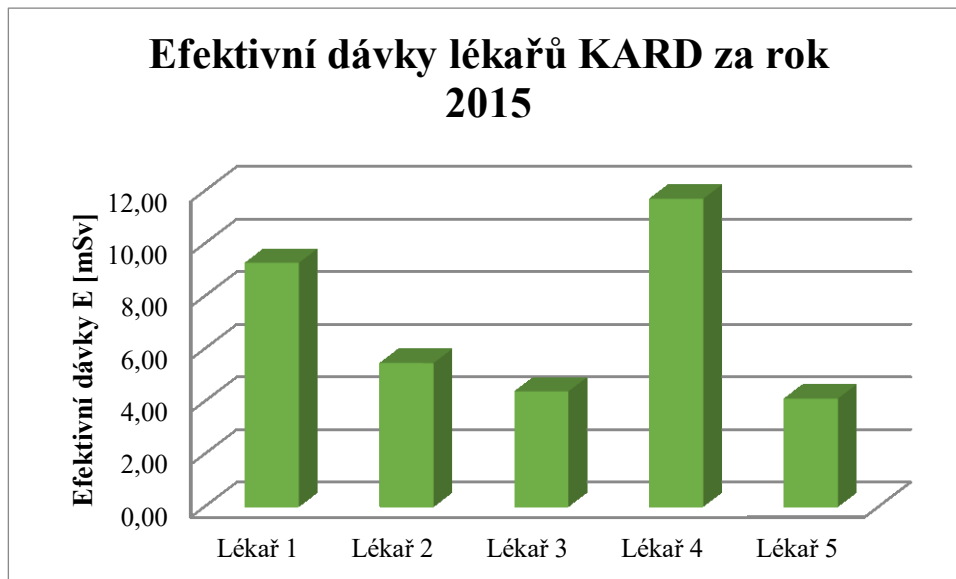


Graf 37: Efektivní dávky zdravotních sester KARD za rok 2014

Zdroj: vlastní

V roce 2014 obdržela zdravotní sestra 3 nejvyšší hodnoty efektivních dávek, naopak nejnižší efektivní dávku v tomto roce měla zdravotní sestra 1.

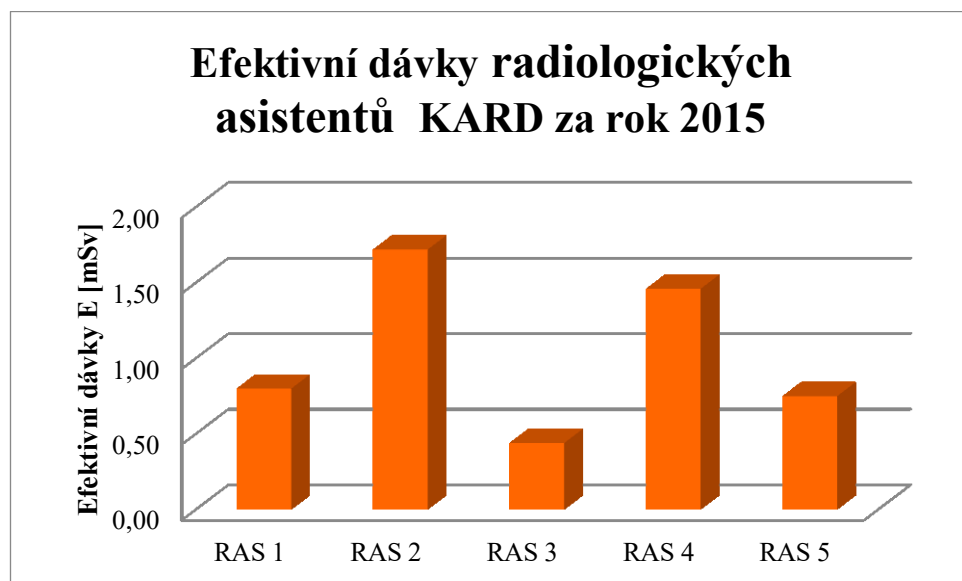
V roce 2015 bylo personální složení na oddělení intervenční kardiologie stejné jako v předešlém roce.



Graf 38: Efektivní dávky lékařů KARD za rok 2015

Zdroj: vlastní

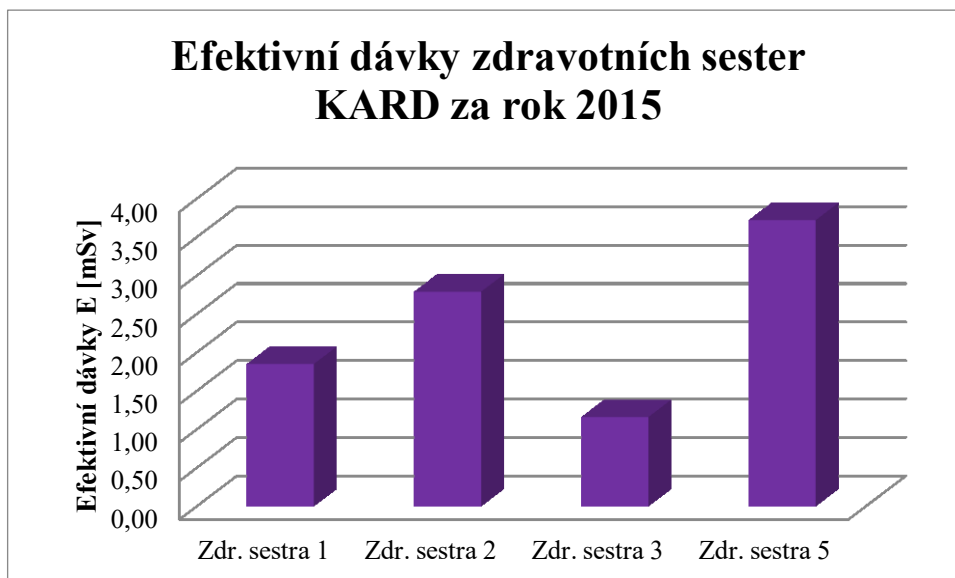
Graf 38 ukazuje, že nejvyšší hodnoty efektivních dávek obdržel lékař 4 a nejnižší hodnoty efektivních dávek byla indikována u lékaře 5.



Graf 39: Efektivní dávky radiologických asistentů KARD za rok 2015

Zdroj: vlastní

V roce 2015 nejvyšší hodnoty efektivních dávek obdržel radiologický asistent 2 a o něco nižší hodnoty efektivních dávek byly naměřeny u radiologického asistenta 4.

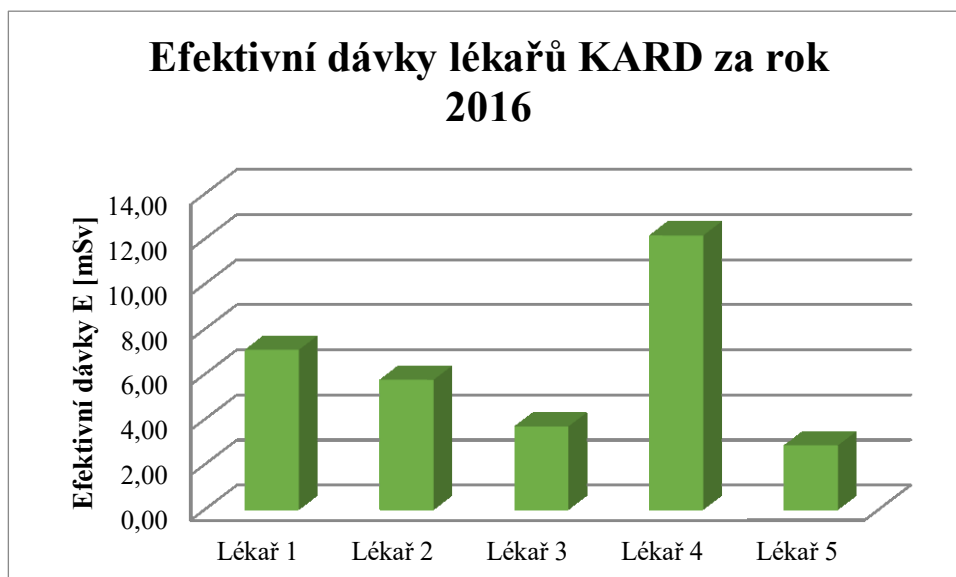


Graf 40: Efektivní dávky zdravotních sester KARD za rok 2015

Zdroj: vlastní

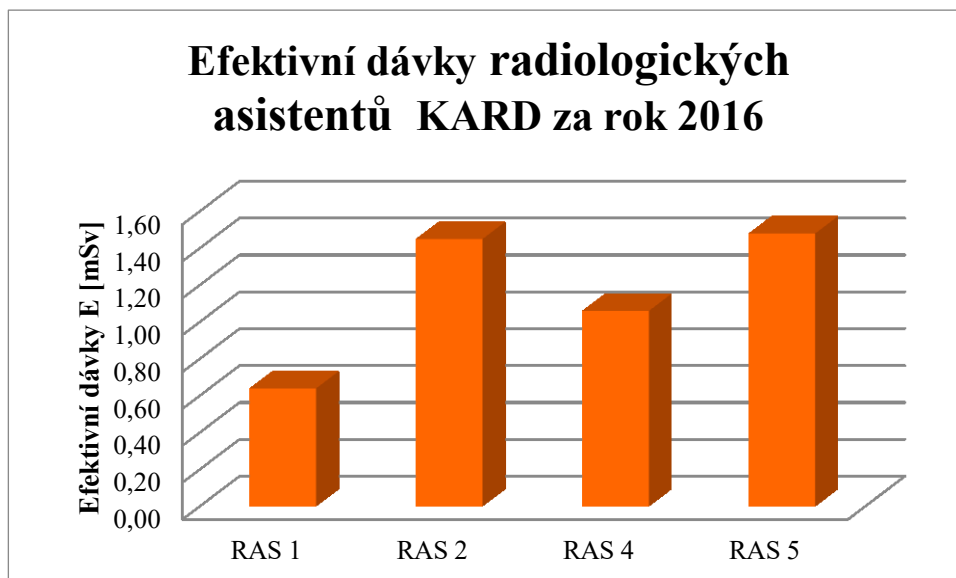
Graf 40 ukazuje, že nejvyšší hodnoty efektivních dávek obdržela zdravotní sestra 5. Nejnižší hodnoty efektivních dávek obdržela zdravotní sestra 3.

Na intervenční kardiologii v roce 2016 bylo zaměstnáno pět lékařů, čtyři radiologičtí asistenti a pět zdravotních sester. Radiologický asistent 3 ukončil pracovní poměr na tomto pracovišti a nastoupil nový radiologický asistent 5.



Graf 41: Efektivní dávky lékařů KARD za rok 2016

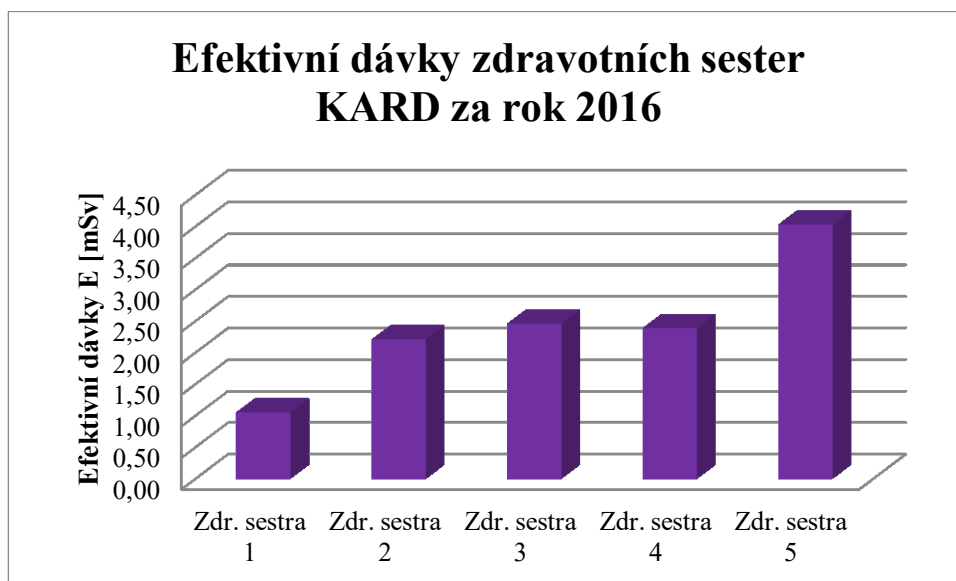
Zdroj: vlastní



Graf 42: Efektivní dávky radiologických asistentů KARD za rok 2016

Zdroj: vlastní

V roce 2016 obdržel nejvyšší hodnoty efektivních dávek radiologický asistent 5. Nejnižší hodnota byla indikována radiologickému asistentovi 1.

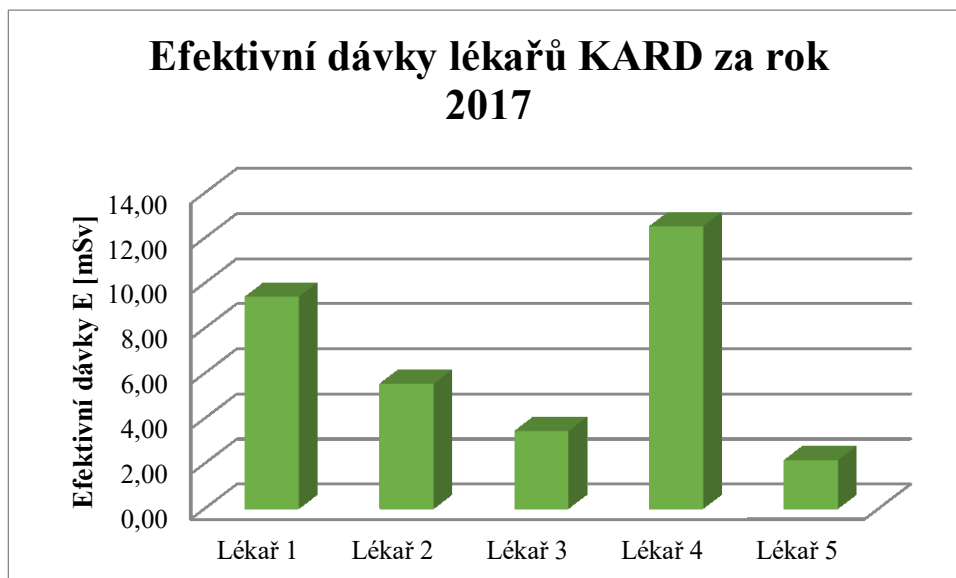


Graf 43: Efektivní dávky zdravotních sester KARD za rok 2016

Zdroj: vlastní

Z grafu 43 můžeme vidět, že zdravotní sestra 5 obdržela nejvyšší hodnoty efektivních dávek a nejnižší dávky byly naměřeny u zdravotní sestry 1.

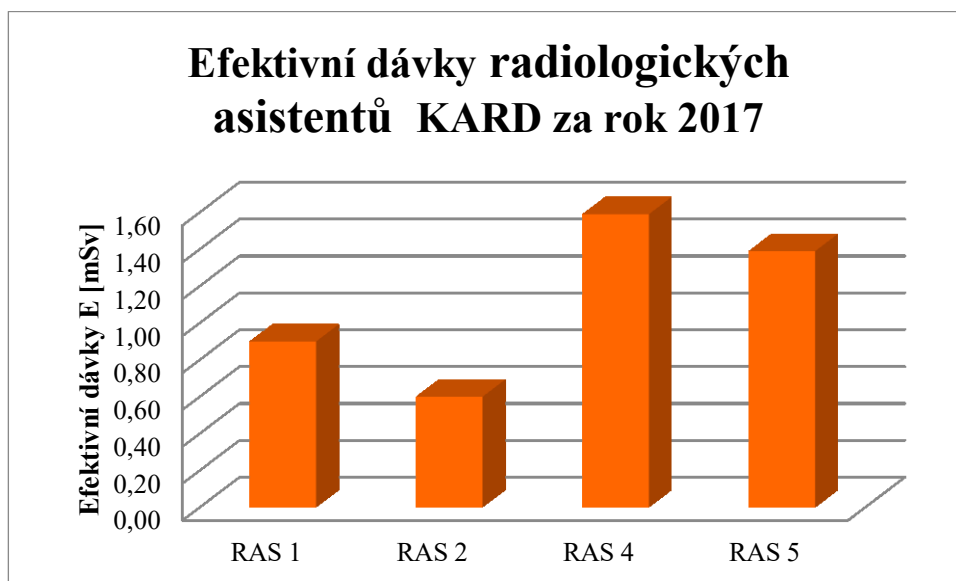
Poslední zkoumaný rok 2017 měl stejné personální obsazení jako rok 2016. Celkem pět lékařů, čtyři radiologičtí asistenti a pět zdravotních sester.



Graf 44: Efektivní dávky lékařů KARD za rok 2017

Zdroj: vlastní

V posledním zkoumaném roce 2017 obdržel nejvyšší hodnoty efektivních dávek lékař 4 a lékař 5 měl indikované nejnižší hodnoty efektivních dávek.



Graf 45: Efektivní dávky radiologických asistentů KARD za rok 2017

Zdroj: vlastní

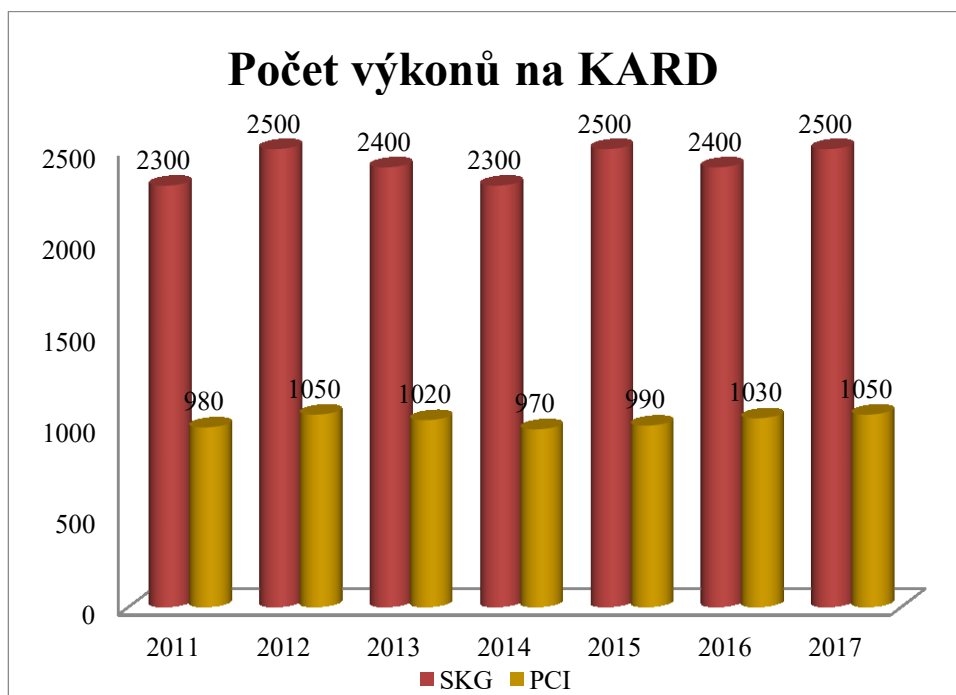
Graf 45 popisuje, že radiologický asistent 4 měl nejvyšší hodnoty efektivních dávek a radiologický asistent 2 obdržel nejnižší hodnotu efektivních dávek.



Graf 46: Efektivní dávky zdravotních sester KARD za rok 2017

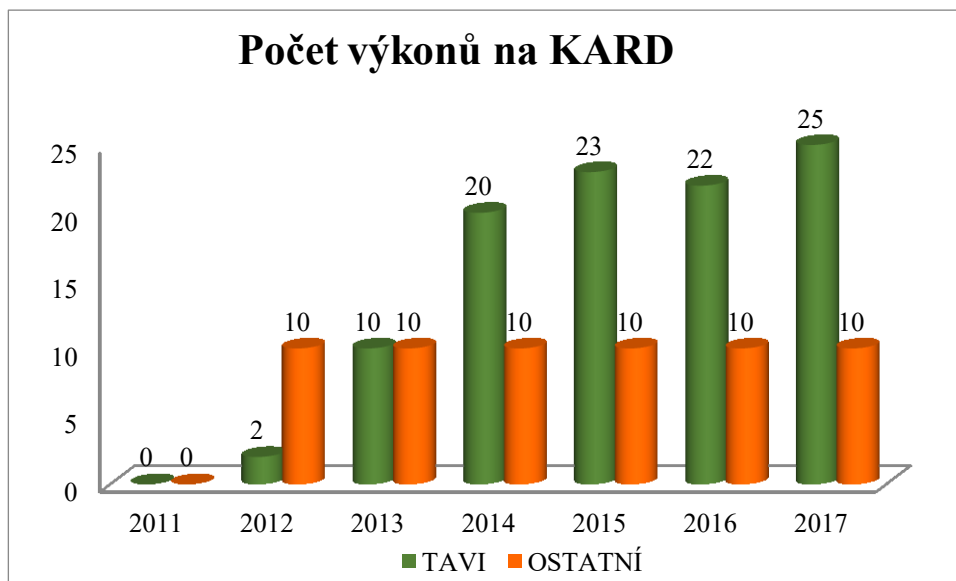
Zdroj: vlastní

V roce 2017 obdržela nejvyšší hodnoty efektivních dávek zdravotní sestra 5, naopak nejnižší hodnoty efektivních dávek zdravotní sestra 2.



Graf 47: Počet výkonů KARD

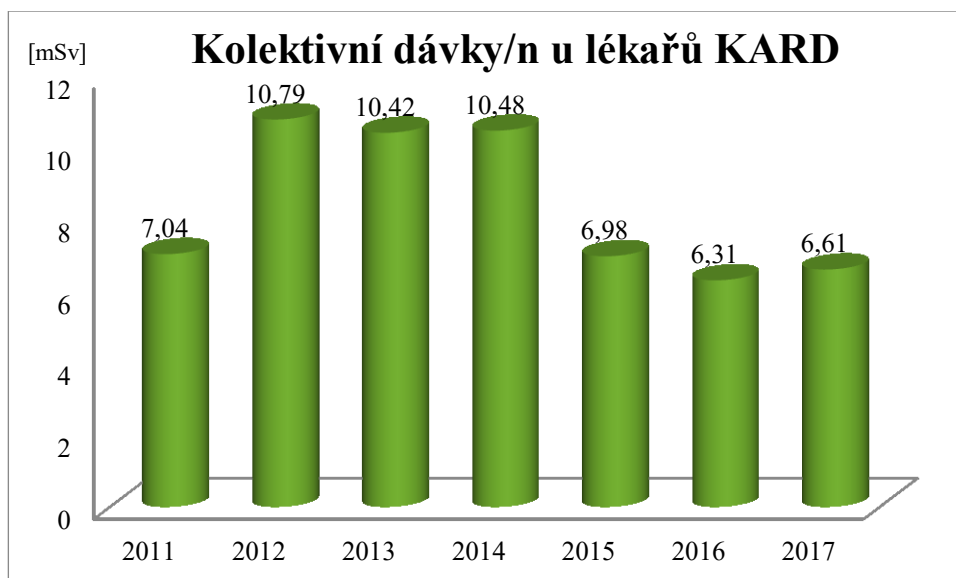
Zdroj: vlastní



Graf 48: Počet výkonů na KARD

Zdroj: vlastní

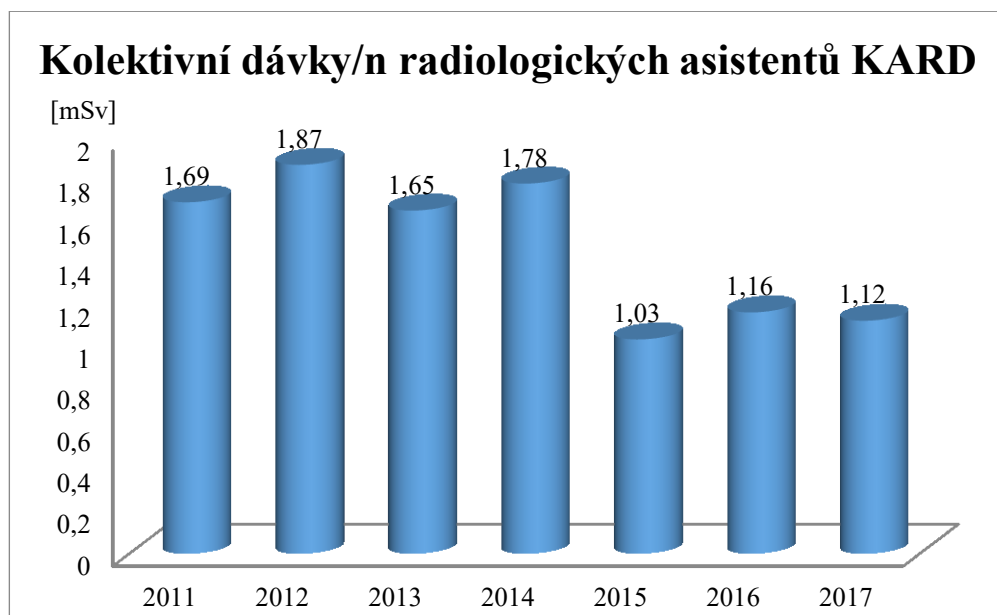
Na pracovišti intervenční kardiologie se počet výkonů selektivní koronarografie téměř neměnil, průměrný počet za celé sledované období se dá říci, že byl 2400. U perkutánní koronární intervence to bylo podobně jako u SKG, průměrný počet výkonů byl 1000. U katetrové implantace aortálních chlopní, které se ve FN Plzeň začaly vykonávat od roku 2012, v roce 2013 se pozvolna vykonávají a počet této léčby pomalu stoupá. U ostatních výkonů je po celou dobu sledování počet výkonů neměnný.



Graf 49: Kolektivní dávky lékařů vydělené počtem lékařů KARD

Zdroj: vlastní

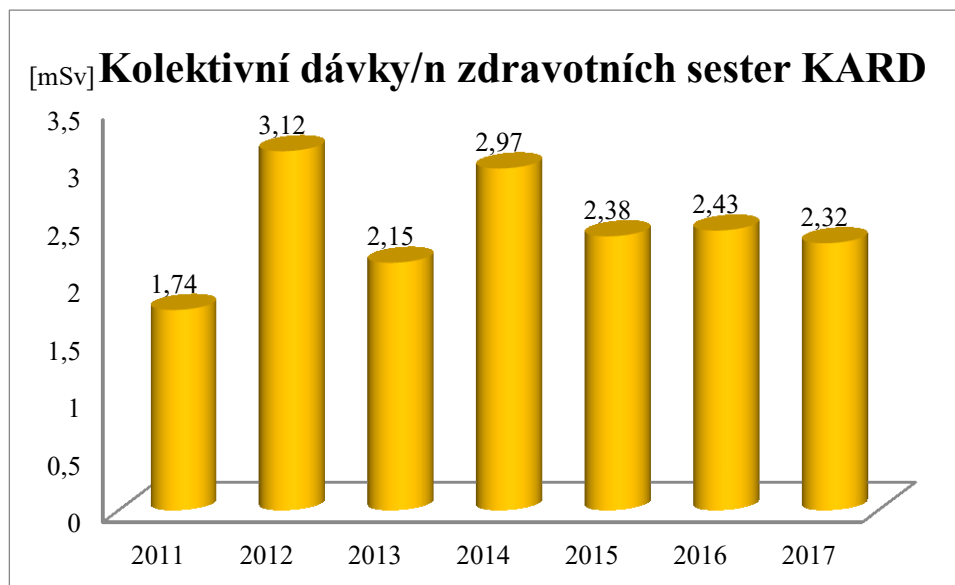
Na začátku sledovaného období kolektivní dávky lékařů stouply, ale od roku 2014 se snižovaly.



Graf 50: Kolektivní dávky radiologických asistentů vydělené počtem radiologických asistentů KARD

Zdroj: vlastní

Od roku 2011 do roku 2014 střídavě kolektivní dávky radiologických asistentů klesaly a stouply, ale rok 2015 zaznamenal větší pokles dávek. Poslední dva roky se mírně dávky zvýšily a snížily. V absolutních hodnotách se tyto dávky pohybují vzhledem ke kolektivním dávkám lékařů vztáženým k počtu sledovaných osob nízko, popsaná fluktuace nese svědčí o porušování pravidel radiační ochrany. Naopak mezi lety 2014 a 2015 došlo k významnějšímu poklesu kolektivní dávky navzdory nárůstu počtu výkonů i nárůstu počtu radiologických asistentů. To naznačuje zlepšení úrovně radiační ochrany.



Graf 51: Kolektivní dávky zdravotních sester vydělené počtem zdravotních sester KARD

Zdroj: vlastní

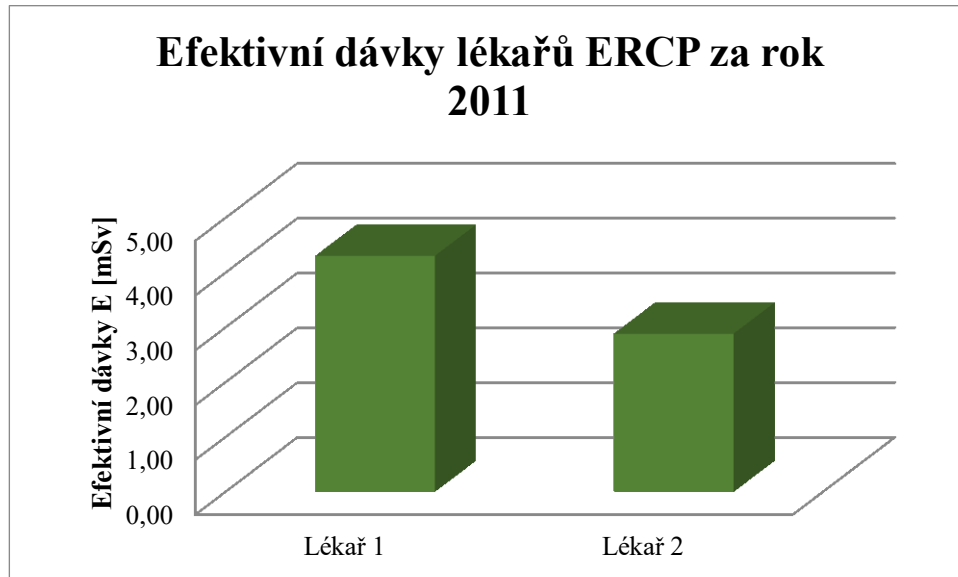
Celé sledované období probíhalo ve stejném duchu pravidelným střídání dávek. V absolutních hodnotách se tyto dávky pohybují velmi nízko (max. hodnota 3,12 mSv), popsané fluktuace mohou souviset s chybou měření osobních dozimetrů, která činí v oblasti 0,05-0,1 mSv až 50%, pravděpodobně souvisí také s charakterem konkrétních výkonů v monitorovacím období.

4.3 Gastroenterologie – ERCP

Na oddělení gastroenterologie FN Plzeň, které představuje zkoumané vyšetření ERCP – Endoskopická retrográdní cholangiopankreatikografie, pracují celkem tři lékaři a pět zdravotních sester. Vzhledem k situaci, kdy se při tomto vyšetření střídá velký počet radiologických asistentů, nelze jasně identifikovat konkrétní radiologické asistenty a jejich naměřené efektivní dávky pouze při tomto vyšetření. Tito radiologičtí asistenti se střídají mezi jednotlivými pracovišti, jako například skiaskopie, pojízdný rentgen nebo operační sály, kde je velká pravděpodobnost obdržení radiační dávky. Proto u tohoto vyšetření neudávám naměřené efektivní dávky radiologických asistentů, protože by získané hodnoty nebyly adekvátní a vázané pouze na pracoviště ERCP.

V roce 2011 prováděli vyšetření ERCP na oddělení gastroenterologie dva specializovaní lékaři a pět zdravotních sester. Je nutné podotknout, že při každém takovém vyšetření je přítomen jeden lékař a dvě zdravotní sestry, které se pravidelně střídají. Oddělení gastroenterologie se nezabývá pouze vyšetřením ERCP, ale i jinými

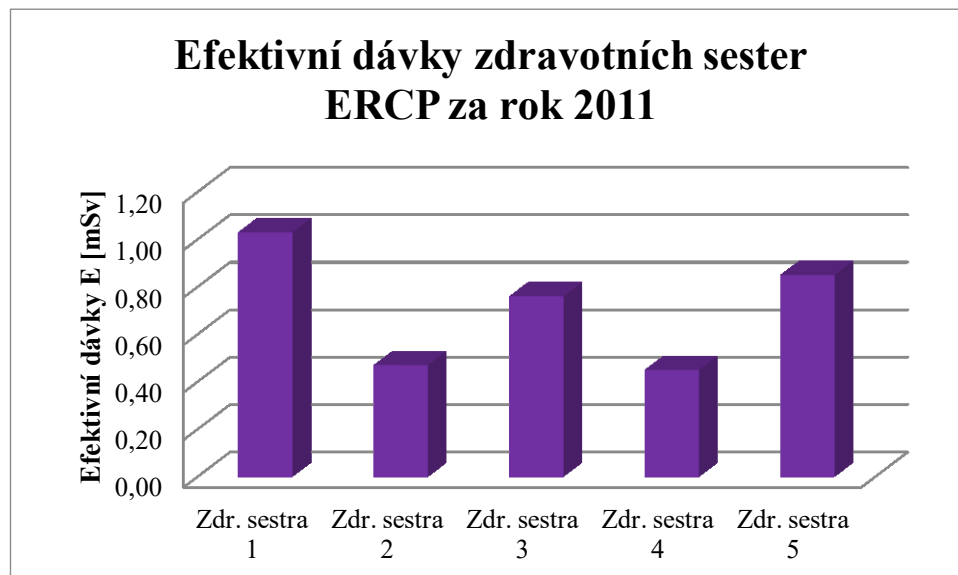
zákroky. Vyšetření ERCP se provádí v převážné většině každý den, ale počet zákroků se liší podle počtu pacientů. Proto je toto oddělení rozdílné ve srovnání s Intervenční kardiologií nebo s Digitální subtrakční angiografií, kde je mnohem větší počet vyšetřených pacientů.



Graf 52: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2011

Zdroj: vlastní

Graf 52 jednoznačně ukazuje, že lékař 1 měl nejvyšší hodnoty osobních dávek.

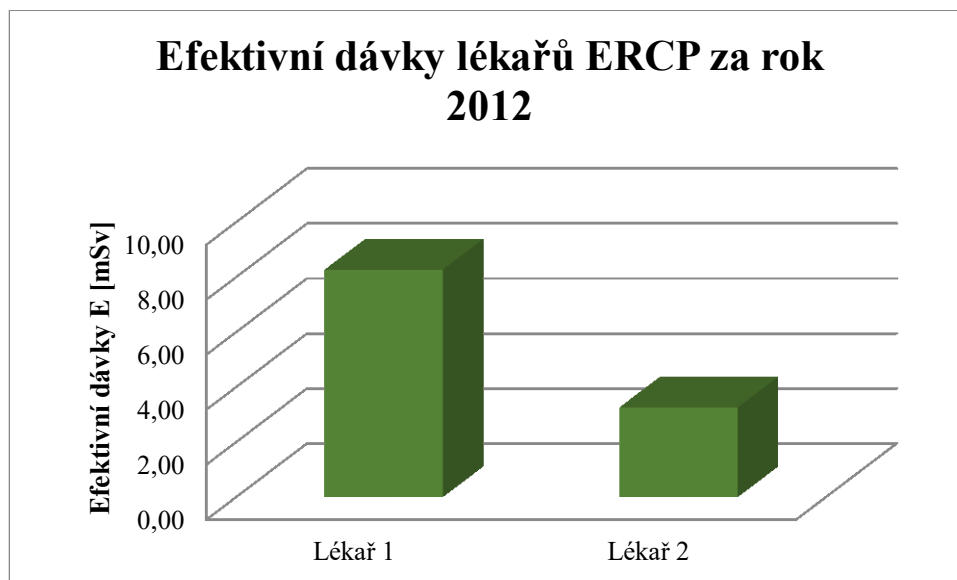


Graf 53: Efektivní dávky zdravotních sester ERCP za rok 2011

Zdroj: vlastní

Za rok 2011 obdržela nejvyšší hodnoty osobních dávek zdravotní sestra 1. O něco nižší hodnoty osobních dávek byly indikovány u zdravotní sestry 5.

Při vyšetření ERCP v roce 2012 pracoval stejný počet zdravotnického personálu jako v roce 2011.



Graf 54: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2012

Zdroj: vlastní

Podobně jako v předchozím roce 2011 obdržel nejvyšší hodnoty osobních dávek lékař 1.

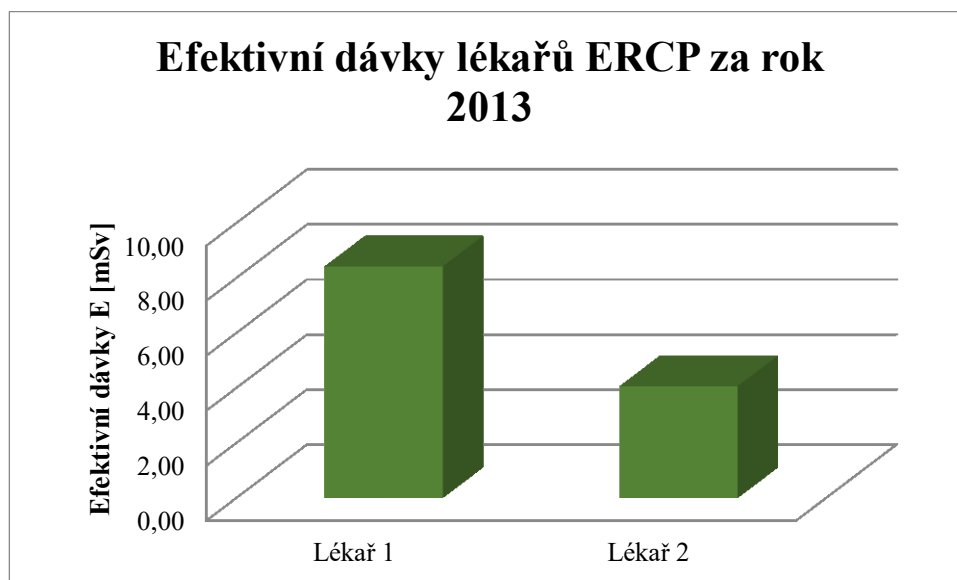


Graf 55: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2012

Zdroj: vlastní

Z grafu 55 je zřejmé, že u zdravotní sestry 1 byly naměřeny nejvyšší hodnoty osobních dávek a u zdravotní sestry 2 byly indikovány nejnižší hodnoty osobních dávek.

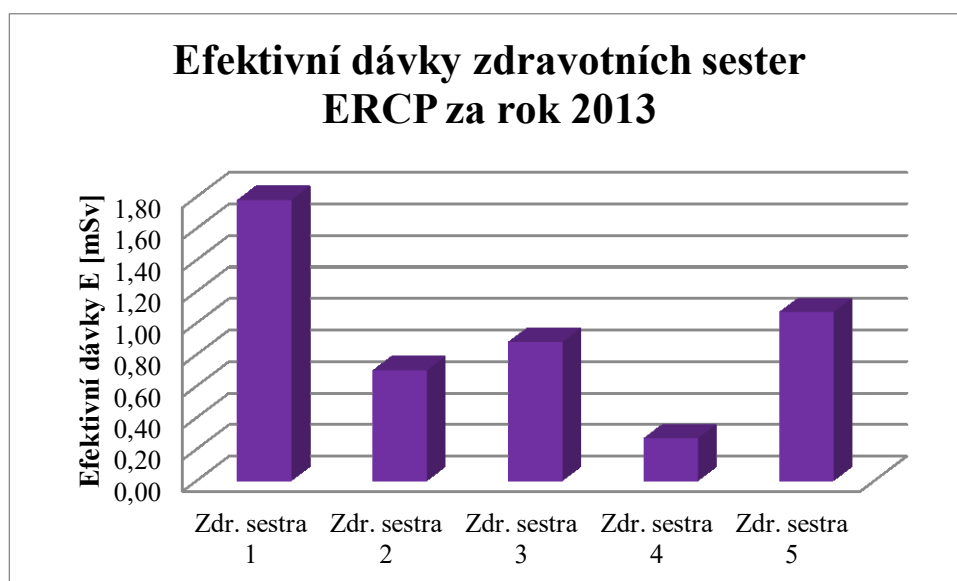
I v roce 2013 pracovalo při vyšetření ERCP stejně zdravotnického personálu jako v předešlých dvou zkoumaných letech.



Graf 56: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2013

Zdroj: vlastní

I v roce 2013 byly naměřeny jednoznačně nejvyšší hodnoty u lékaře 1.

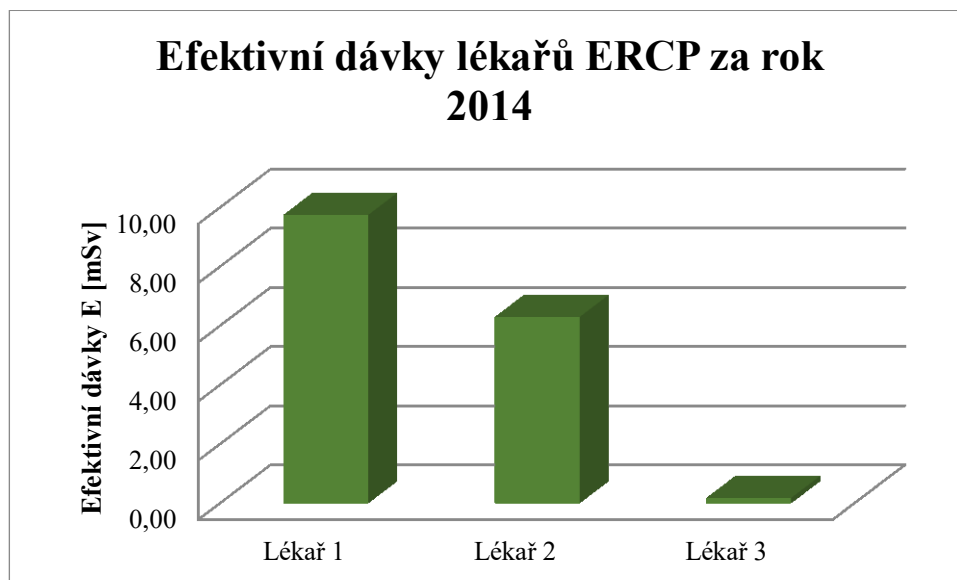


Graf 57: Efektivní dávky zdravotních sester ERCP za rok 2013

Zdroj: vlastní

Zdravotní sestra 1 obdržela nejvyšší hodnoty osobních dávek a nejnižší hodnoty osobních dávek byly naměřeny u zdravotní sestry 4.

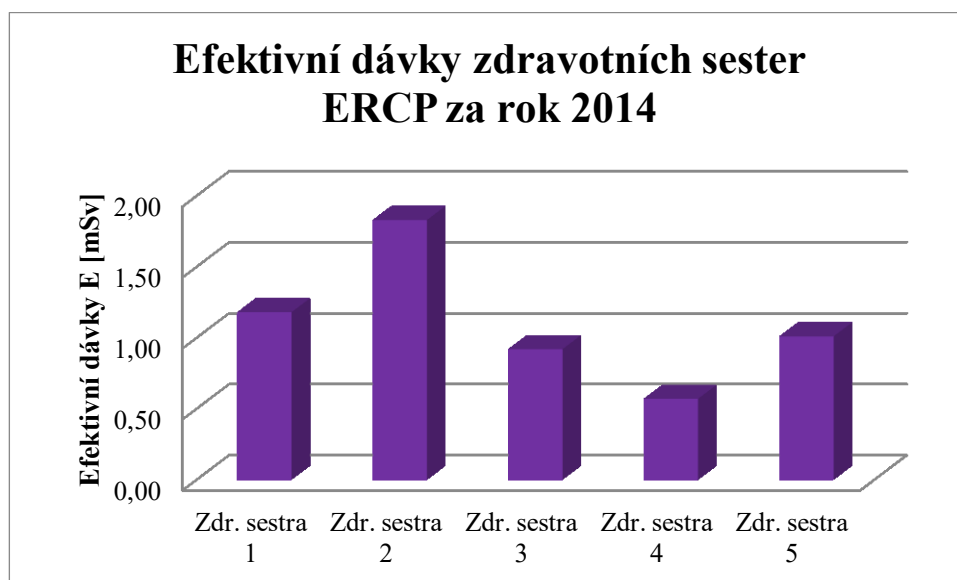
V roce 2014 nastoupil jeden nový lékař, se specializací na vyšetření ERCP. Počet zdravotních sester zůstává stejný.



Graf 58: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2014

Zdroj: vlastní

Graf 58 ukazuje, že nejvyšší hodnoty osobních dávek obdržel lékař 1.

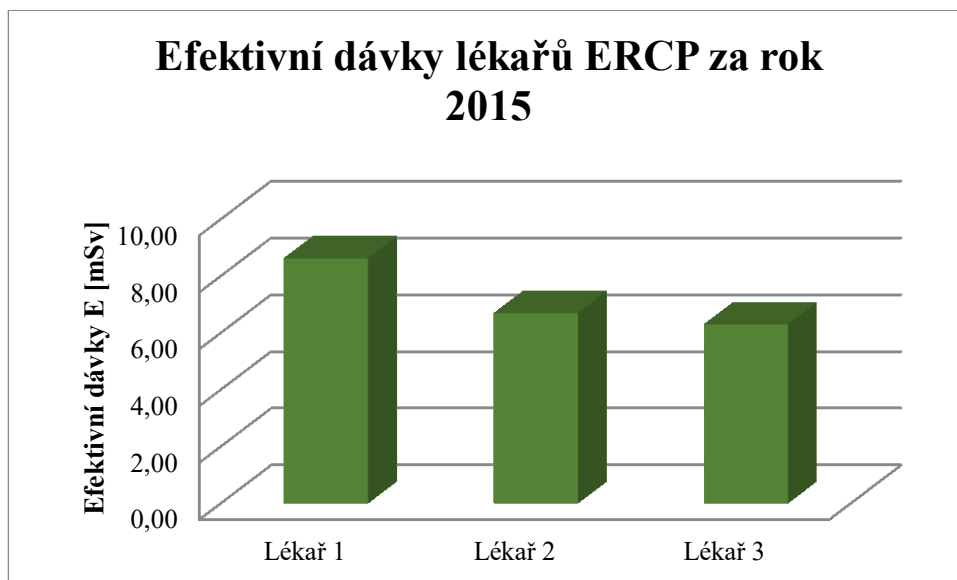


Graf 59: Efektivní dávky zdravotních sester ERCP za rok 2014

Zdroj: vlastní

U zdravotní sestry 2 byly zjištěny nejvyšší hodnoty osobních dávek. Nejnižší hodnoty osobních dávek obdržela zdravotní sestra 4.

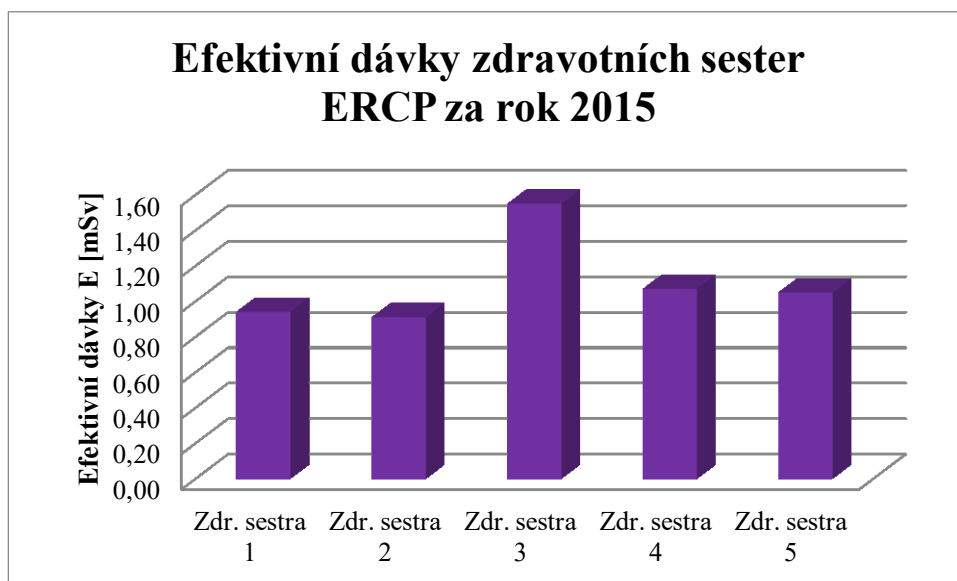
V následujících třech letech, do konce zkoumaného období se počet zdravotnického personálu nemění.



Graf 60: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2015

Zdroj: vlastní

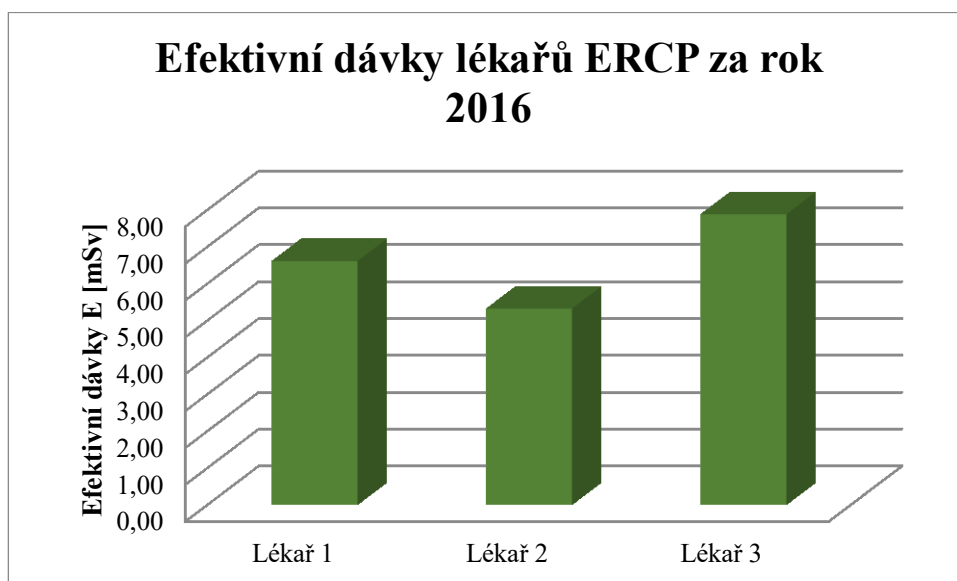
Graf 60 ukazuje, že nejvyšší hodnoty osobních dávek obdržel lékař 1. Nižší, téměř shodné hodnoty byly naměřeny u lékařů 2 a 3.



Graf 61: Efektivní dávky zdravotních sester ERCP za rok 2015

Zdroj: vlastní

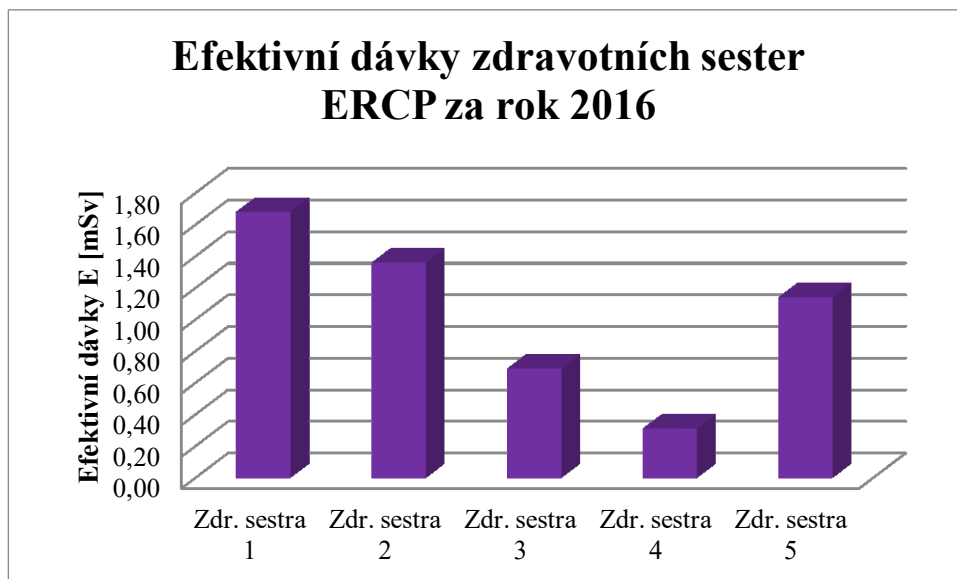
Z grafu 61 byly nejvyšší hodnoty osobních dávek naměřeny u zdravotní sestry 3. U zdravotních sester 1 a 2 a poté u 4 a 5 byly naměřené téměř shodné hodnoty osobních dávek.



Graf 62: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2016

Zdroj: vlastní

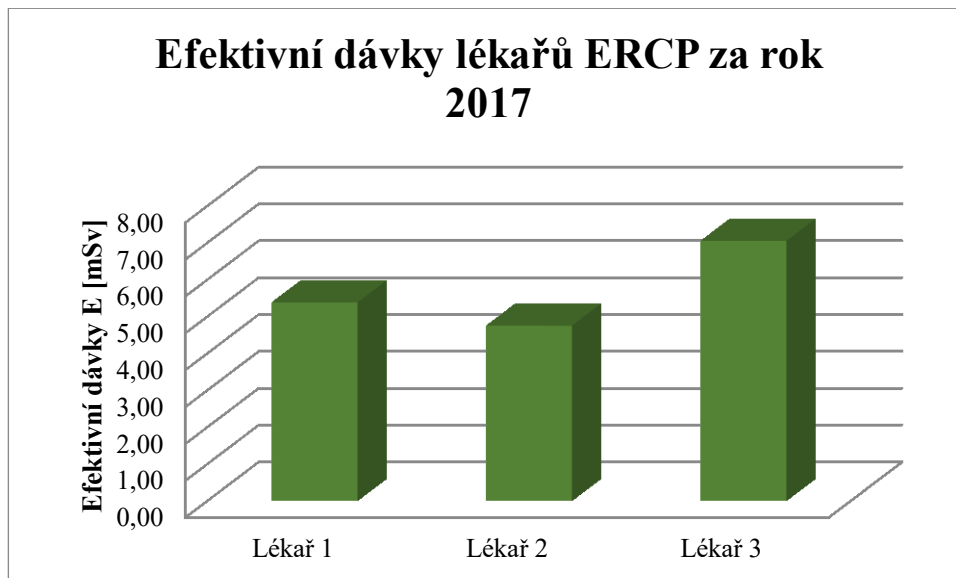
Graf 62 ukazuje, že došlo ke změně, kdy nejvyšší hodnoty osobních dávek byly naměřeny u lékaře 3, který je na oddělení Gastroenterologie nejkratší dobu.



Graf 63: Efektivní dávky zdravotních sester ERCP za rok 2016

Zdroj: vlastní

Nejvyšší hodnoty osobních dávek obdržela zdravotní sestra 1 a naopak nejnižší hodnoty osobních dávek zdravotní sestra 4.



Graf 64: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2017

Zdroj: vlastní

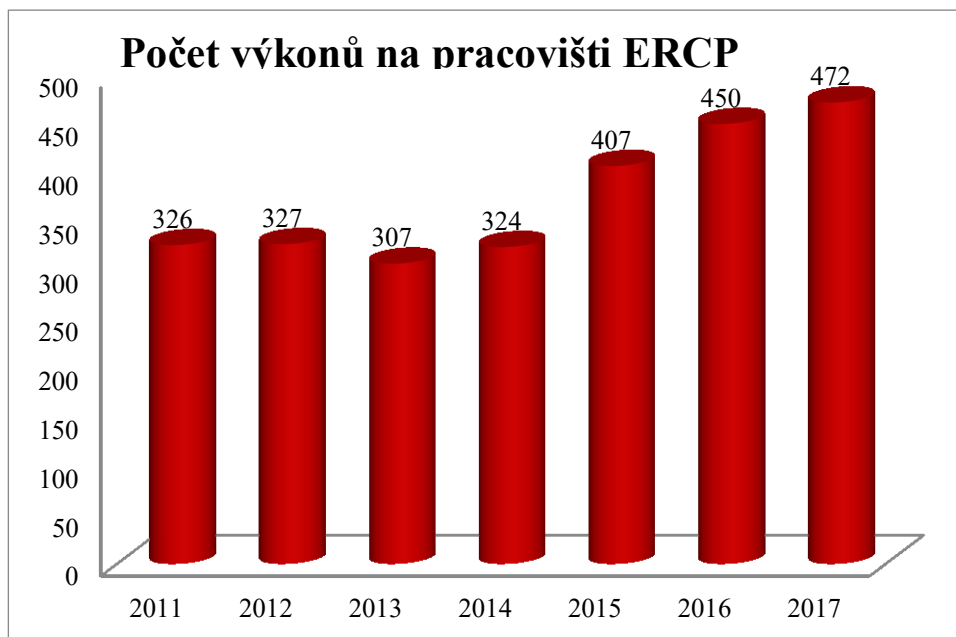
Nejnižší hodnoty osobních dávek byly indikovány u lékaře 2 a nejvyšší hodnoty osobních dávek byly naměřeny u lékaře 3.



Graf 65: Efektivní dávky zdravotních sester ERCP za rok 2017

Zdroj: vlastní

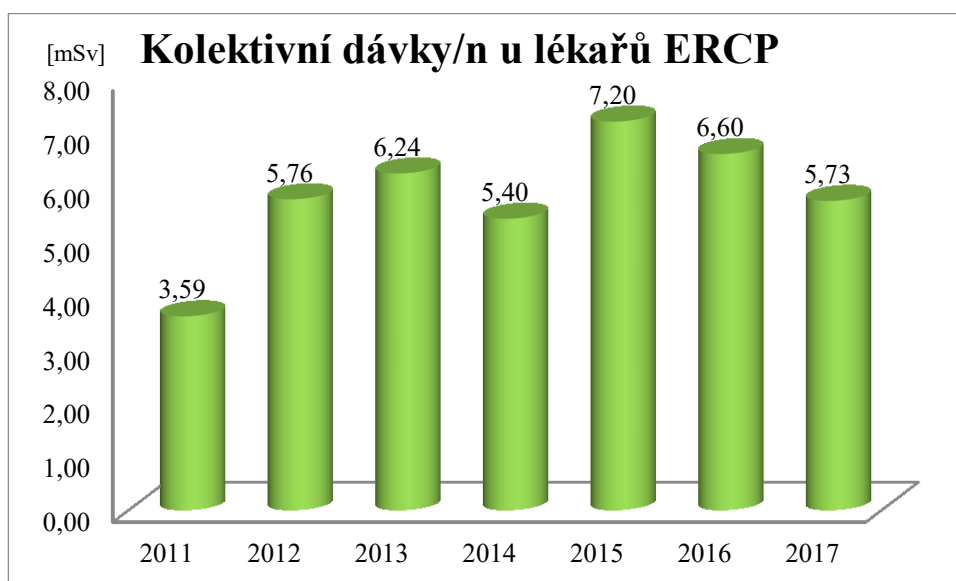
Z grafu 65 je zřejmé, že u zdravotních sester 1 a 3 byly naměřeny téměř shodné hodnoty osobních dávek.



Graf 66: Počet výkonů na pracovišti ERCP

Zdroj: vlastní

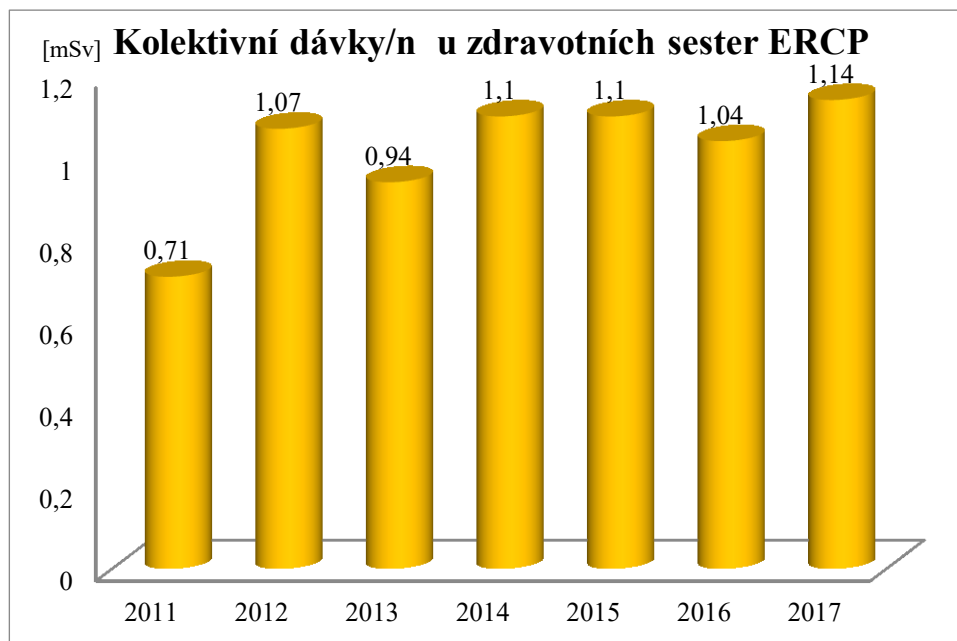
První dva roky zkoumaného období byly téměř stejné, následující rok byl zaznamenán menší pokles, ale od roku 2014 počet výkonů stoupal.



Graf 67: Kolektivní dávky lékařů vydělené počtem u lékařů ERCP

Zdroj: vlastní

Od roku 2011 do roku 2013 kolektivní dávky stoupaly. Rok 2014 představuje mírný pokles kolektivní dávky a následně od roku 2015 dávky klesaly.



Graf 68: Kolektivní dávky zdravotních sester vydělené počtem zdravotních sester ERCP

Zdroj: vlastní

Celé zkoumané období kolektivní dávky u zdravotních sester střídavě klesaly a stupaly, fluktuace jsou nízké, od roku 2014 v řádu do 10%.

5 Diskuze

Obecně platí, že dávku u radiačních pracovníků ovlivňuje počet provedených výkonů, typ a tedy i náročnost prováděných výkonů. U lékaře zde pak hraje roli jeho specializace k určitým typům výkonů v rámci pracoviště. Dalším důležitým faktem je jistý styl práce a zkušenost lékaře. Četnost a míra použití ionizujícího záření se do jisté míry může u jednotlivých lékařů mírně lišit u totožných výkonů. Některý potřebuje častěji kontrolovat dané vyšetření pomocí rentgenového záření pro větší jistotu, jiný naopak častější kontrolu nepotřebuje, což se odvíjí od zkušenosti lékaře a hlavně typu výkonu. Dávku u radiologických asistentů a zdravotních sester ovlivňuje pozice, kde se nachází (instrumentáři), zda může poodstoupit při expozici nebo odejít. Současně ji ovlivňuje do jisté míry i styl práce lékaře. V pozitivním směru dávku ovlivňuje úroveň dodržování zásad a principů radiační ochrany jednotlivými radiačními pracovníky, dále množství, druh a funkčnost ochranných prostředků a pomůcek a jejich efektivní používání na pracovišti. V souvislosti s tím je důležité vzdělávání radiačních pracovníků při školeních radiační ochrany. Radiační ochrana by měla být v rámci optimalizace předmětem neustálého sledování vývojových trendů ochranných pomůcek a výzkumu v oblasti radiační ochrany. Při zvážení všech zmíněných faktorů lze při znalosti vývoje dávek na pracovišti usuzovat o míře optimalizace radiační ochrany na pracovišti.

Pracoviště DSA

Při posuzování optimalizace míry úrovně radiační ochrany a výsledků osobní dozimetrie v jednotlivých letech je nutno brát v úvahu počty jednotlivých výkonů. Studie ukázala trend nárůstu prováděných výkonů. Zjistila jsem, že na oddělení digitální subtrakční angiografie narostly v porovnání roků 2011 a 2017 výkony o cca 50 %. Počty výkonů rostly kontinuálně od roku 2011 do roku 2015. V roce 2016 narostl skokově v důsledku sloučení pracoviště DSA Lochotín a pracoviště digitální subtrakční angiografie v borském areálu FN Plzeň. Pracoviště DSA Lochotín tedy převzalo veškeré intervenční radiologické výkony prováděné ve FN Plzeň. V roce 2017 byl otevřen další zákrokový sál, ale počet výkonů se prakticky nezměnil. Zvýšil se komfort práce, pracoviště bylo vybaveno novou moderní intervenční linky firmy Siemens s technologií šetřící dávku pacientovi a tedy i okolním radiačním pracovníkům prostřednictvím grid-controlled, pulzní skioskopie.

Také důležitou roli při posuzování radiační ochrany má počet radiačních pracovníků. Jejich počet mezi lety 2011 a 2017 vzrostl. Od začátku sledovaného období až do roku 2015 pracoval na tomto oddělení stejný počet zdravotního personálu. Tedy čtyři lékaři, tři radiologičtí asistenti a dvě zdravotní sestry, celkem 9 radiačních pracovníků. Nárůst v počtu radiačních pracovníků nastal po sloučení pracoviště Lochotín a Bory, tedy v roce 2016. V posledním roce sledovaného období se počet zdravotnického personálu navýšil o dva lékaře, jednoho radiologického asistenta a o tři zdravotní sestry. Takže konečný počet zdravotnického personálu činí šest lékařů, pět radiologických asistentů a šest zdravotních sester, celkem 17 radiačních pracovníků.

Logicky s růstem vykonaných vyšetření by měla růst dávka radiačních pracovníků na sledovaném oddělení, ale podle předložených podkladů této diplomové práce jsem zjistila, že naměřené individuální dávky radiačních pracovníků ve většině případů klesaly. Kolektivní dávky lékařů vydělené celkovým počtem lékařů ukazují, že za celé sledované období tyto dávky klesly téměř na polovinu. V porovnání s dávkami lékařů můžeme konstatovat, že radiologičtí asistenti mají v průměru cca 20 x nižší dávky a zdravotní sestry cca 7 x nižší než lékaři. Lékaři patří na tomto pracovišti mezi nejexponovanější pracovníky. Souvisí to s tím, že lékaři nemohou při expozici odstupovat od vyšetřovacího stolu a jsou tedy většinou v bezprostřední blízkosti pacienta a jsou exponováni rozptýleným zářením z těla pacienta.

Pracoviště KARD

Pracovišti KARD je co se týče typů výkonů a zejména rozdílné náročnosti radiační zátěže významné a od ostatních zkoumaných pracovišť rozdílné. Při hodnocení úrovně radiační ochrany a optimalizace v jednotlivých letech je nutné také sledovat spektrum prováděných výkonů a jejich náročnost z hlediska použití ionizujícího záření.

Intervenční kardiologie má široké spektrum výkonů s rozdílnou intenzitou záření při jednotlivých výkonech, proto nelze zcela jednoduše a objektivně hodnotit celkový počet výkonů. Provádí se zde dva druhy výkonů, koronární a nekoronární vyšetření. Mezi koronární výkony patří selektivní koronarografie – SKG. Je to vyšetření, které provádí všichni lékaři, a průměrný počet výkonů za celé sledované období se příliš nemění a pohybuje okolo 2400 za rok. Při tomto vyšetření je využíváno radiační záření v menším rozsahu než u léčby perkutánní koronární intervence - PCI. Tedy zatížení radiačních pracovníků ionizujícím zářením je při SKG relativně k ostatním metodám

nízké. Zmíněnou léčbu PCI provádí celkem čtyři lékaři. Průměrný počet výkonů za celé sledované období je téměř konstantní a za celé sledované období je průměrný počet vyšetření okolo 1000 za rok. Mezi nekoronární výkony řadíme katetrovou implantaci aortální chlopně – TAVI a ostatní léčby. Tyto typy nekoronárních výkonů provádí jen dva specializovaní lékaři. Katetrová implantace aortální chlopně se za celé sledované období pohybuje kolem 20 – 25 výkonů za rok. Na oddělení kardiologie počet výkonů SKG a PCI vykazuje konstantní úroveň, narůstá počet TAVI a ostatních výkonů. TAVI a ostatní výkony představují sice cca 2% z celkového počtu výkonů, ale dávkově představují pro radiační pracovníky minimálně čtyřnásobek dávky od SKG a PCI. TAVI oproti ostatním výkonům se neprovádí tak často, ale k tomuto výkonu je potřeba velké množství rentgenového záření. V porovnání s vyšetřením SKG je u výkonu TAVI několikanásobně vyšší dávka záření. U ostatních léčebných výkonů je dávka záření vyšší než léčba TAVI a průměrný počet výkonů za celé sledované období je kolem 10 za rok. Z pohledu radiační zátěže můžeme konstatovat, že nejméně náročné je vyšetření SKG a naopak nejnáročnější jsou ostatní léčby.

Na oddělení intervenční kardiologie se po celou dobu zkoumaného období počet zdravotního personálu téměř neměnil, pouze narostl o jednu zdravotní sestru. Zdravotnický tým oddělení intervenční kardiologie je složen z pěti lékařů, z pěti radiologických asistentů a pěti zdravotních sester. Dávky u všech sledovaných skupin od roku 2015 klesaly.

Pracoviště gastroenterologie - vyšetření ERCP

Z počátku sledovaného období se počet výkonů u vyšetření ERCP téměř neměnil, zaznamenali jsme jen mírný nárůst. Od roku 2015 byl pomocí statistického sledování zjištěn skokový nárůst počtu výkonů, a to v porovnání s rokem 2011 o 24%. Od roku 2015 do konce sledovaného období se počet výkonů stále navyšoval. Když porovnáme počet výkonů v roce 2011 a v roce 2017, můžeme říci, že počet vyšetření ERCP se zvýšil o 45%.

Od začátku sledovaného období do roku 2013 bylo pracoviště ERCP zastoupeno stejným počtem zdravotnického personálu. V roce 2014 začal toto vyšetření vykonávat nový lékař. Jsou zde tři lékaři a pět zdravotních sester.

Od počátku sledovaného období až do roku 2014 efektivní dávky narůstaly, ale od roku 2014 průběžně klesaly. Tímto výsledkem se i přes zvyšující se počet vyšetření ukázalo, že dávky jsou nižší a optimalizace radiační ochrany je i na tomto pracovišti na vysoké úrovni.

Zhodnocení

Dalo by se předpokládat nárůst osobních dávek radiačních pracovníků v důsledku rostoucího počtu výkonů na všech sledovaných pracovištích

Provedla jsem analýzu předložených záznamů a posoudila je dle dokumentace pro používání zdrojů ionizujícího záření ve FN Plzeň, která odpovídá požadavkům platné legislativy – programu monitorování. Bylo zjištěno, že na pracovištích byly překračovány záznamové úrovně a v ojedinělých případech i vyšetřovací úrovně. Výsledky pro jednotlivá pracoviště znázorňují dvě následující tabulky.

Pracoviště, která byla předmětem výzkumu, měla vypracovaný program monitorování podle požadavků platné legislativy včetně stanovení monitorovacích úrovní (dříve tzv. referenčních monitorovacích úrovní).

Tabulka 11: Přehled překročení záznamové monitorovací úrovně

Přehled překročení záznamové monitorovací úrovně							
Rok	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pracoviště							
DSA	21	24	26	28	23	22	22
KARD	38	29	27	24	16	13	13
ERCp	0	4	7	7	8	7	3

Zdroj: vlastní

Záznamové úrovně byly překračovány v drtivé většině u lékařů, jen jednou byly zaznamenány u zdravotní sestry 2 DSA.

Tabulka 12: Přehled překročení vyšetřovací monitorovací úrovně

Přehled překročení vyšetřovací monitorovací úrovně							
Rok	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pracoviště							
DSA	4	3	1	1	0	1	0
KARD	0	0	0	0	0	0	0
ERCp	0	0	0	0	0	0	0

Zdroj: vlastní

Vyšetřovací úrovně byly výlučně překračovány u lékařů. Jednalo se vždy o zkušené lékaře, kteří provádí nejkomplicovanější výkony, popřípadě se účastnily edukace nových lékařů, čímž se častěji účastnily výkonů.

Současně byla sledována celková osobní efektivní dávka radiačních pracovníků v jednotlivých letech a pětiletých obdobích. Byla stanovena roční úroveň osobní efektivní dávky 20 mSv, při jejímž překročení byla provedena analýza obdržných měsíčních dávek v daném roce. Limit pro radiační pracovníky dle platné legislativy byl do konce roku 2016 50 mSv/rok, současně muselo být splněno, že za 5 po sobě jdoucích let nebude dávka vyšší než 100 mSv. Od 1.1. 2017 je stanoven nový nižší limit 20mSv/rok. Pro účely analýzy jsem si zvolila hranici 20 mSv efektivní dávky za rok a sledovala jsem její překročení u radiačních pracovníků. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 13: Překročení roční efektivní dávky 20 mSv u radiačních pracovníků

Překročení roční efektivní dávky 20 mSv u radiačních pracovníků							
Rok	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pracoviště							
DSA	2	1	1	1	-	-	1
KARD	-	-	1	1	-	-	-
ERCP	-	-	-	-	-	-	-

Zdroj: vlastní

V roce 2011 překročili roční efektivní dávku 20 mSv lékař 2 a lékař 4 z DSA. Ostatní roky bylo zjištěno překročení této dávky jen u lékaře 4 z DSA. Z oddělení intervenční kardiologie měl překročenu sledovanou efektivní dávku v roce 2013 a 2014 lékař 4. Tito dva lékaři, u nichž bylo zjištěno překročení efektivní dávky 20 mSv/rok patří k nejzkušenějším a nejerudovanějším pracovníkům zmíněných pracovišť. U těchto pracovníků, u kterých nastalo překročení, byly sepsány protokoly a byl proveden rozbor důvodů překročení. Ve všech případech bylo zjištěno, že šlo o expozice soustavně mírně vyšší, které ale jsou zdůvodnitelné tím, že zmiňovaní lékaři 4 DSA a KARD, jsou nejzkušenější a nejerudovanější pracovníci z celého angiografického i kardiologického kolektivu. Tím pádem jsou nejvytíženějšími lékaři těchto oddělení. Jednotlivé vyšší expozice kopírují pracovní vytížení pracovníka. Toto šetření bylo provedeno jako veřejné v rámci jednotlivých pracovišť v návaznosti na jednotlivé expozice. Výsledné stanovisko radiologického fyzika a dohlížející osoby zhodnotilo, že nebyl nalezen fyzikální ani organizační důvod se domnívat, že došlo k osobnímu zvýšení dávky u pracovníků nad povolený limit nebo k neodůvodněné expozici nedodržením principů radiační ochrany.

Uvedené efektivní dávky jsou naměřeny na zástěře po započtení stínícího efektu ochranné zástěry, jsou cca 8x nižší. Legislativně stanovené limity (50 mSv) nebyly u těchto pracovníků reálně překročeny.

Je vhodné ponechat záznamové monitorovací úroveň na dosud používané relativně nízké hladině pro snazší odhalování případných nežádoucích trendů ve vývoji dávek

u radiačních pracovníků, kteří se nevyskytují při výkonu v bezprostřední blízkosti zdroje rtg záření.

Vývoj dávek radiačních pracovníků

Porovnáním jednotlivých osobních dávek u radiologických asistentů a sester na všech sledovaných pracovištích bylo zjištěno, že odrážejí především jejich pracovní vytížená. Dá se předpokládat i výraznější ovlivnění naměřených hodnot chybou měření dozimetřů. Generálně u nich osobní dávky fluktovaly kolem středních hodnot v rozmezí do 10%, popřípadě v posledních zkoumaných letech na některých pracovištích systematicky klesaly.

Z výzkumu této diplomové práce můžeme říci, že vývoj průměrných efektivních dávek u lékařů DSA byl na počátku sledovaného období vyšší a postupně se dávky snižovaly i za podmínek zvyšování se počtu výkonů. Jednalo se v průměrné hodnotě o pokles o cca 9 mSv. Když porovnáme ostatní zdravotnický personál s lékaři, zjistili jsme, že u radiologických asistentů jsou v průměru dávky cca 20 x nižší než u lékařů. V případě posuzování dávek zdravotních sester vzhledem k lékařům jsou dávky cca 7x nižší než dávky naměřené u lékařů. Fluktuace průměrných dávek u radiologických asistentů je v rozmezí 0,3 mSv. U zdravotních sester fluktuace dělá max. 1,5 mSv.

U lékařů KARD se dávky od roku 2012 postupně navýšily, ale od roku 2015 byl zaznamenán výraznější pokles dávek o cca 4 mSv. Při porovnání ostatního zdravotnického personálu s lékaři, jsou dávky radiologických asistentů průměrně 20 x nižší a dávky zdravotních sester cca 9 x nižší. U obou skupin lze sledovat nejprve postupný růst průměrných dávek a následně od roku 2015 výrazný pokles. Fluktuace u radiologických asistentů činí max. 0,8 mSv, u zdravotních sester 1,5 mSv.

U vyšetření ERCP se průměrné dávky lékařů v prvních 3 letech postupně navyšovaly, rok 2014 zaznamenal mírný pokles. V roce 2015 se dávky lékařů opět navýšily, ale do konce sledovaného období dávky intenzivně klesaly. Zaznamenané fluktuace v průměrných dávkách jsou v rozmezí 3,5 mSv. Když porovnáme průměrné dávky lékařů a zdravotních sester, dojdeme k závěru, že dávky zdravotních sester byly cca 7 x nižší než u lékařů s fluktuací 0,4 mSv.

Je zde zapotřebí zmínit, že již zmíněné výkyvy v dávkách mohou být způsobeny mnoha faktory. Například druhem a náročností výkonů, zkušeností provádějícího

lékaře, zaškolováním nových radiačních pracovníků, vytížeností zaměstnanců v době dovolených, nárůstem výkonů a osobním přístupem všech zaměstnanců k dodržování zásad a pravidel radiační ochrany. V roce 2015 bylo zavedeno do praxe FN Plzeň desatero zásad o správné a bezpečné práci se zdrojem ionizujícího záření při intervenčních výkonech. Lékaři na oddělení intervenční kardiologie byli nově vybaveni přímoodečítací dozimetry, které radiační pracovníci zodpovědně využívají. Bylo zjištěno, že tento nový druh dozimetru byl vhodně a výstižně aplikován, a to hlavně díky možnosti nastavení alarmové úrovně okamžitého příkonu prostorového dávkového ekvivalentu a alarmové úrovně absorbované dávky. Všichni zaměstnanci (nejenom lékaři) si přímoodečítací dozimetry velice chválí. Díky této metodě, „určitého zviditelnění neviditelného“, mohou velmi dobře regulovat svou obdrženou dávku záření. Dle mého názoru je zavedení přímoodečítacích dozimetrů jedním z významných důvodů, proč na pracovišti navzdory rostoucímu počtu náročných výkonů klesají osobní dávky radiačních pracovníků, především lékařů. Můžeme konstatovat, že na všech sledovaných pracovištích jsou v posledních letech dobře akceptována a správně dodržována pravidla a naplňovány principy radiační ochrany. Tudíž je zřejmé, že optimalizace radiační ochrany je na velmi dobré úrovni. Z mého zkoumání v rámci předložené diplomové práce doporučuji aplikovat důsledně tyto dozimetry i na digitální subtrahční angiografii. Na tomto pracovišti mají přímoodečítací dozimetry k dispozici, ale jejich používání není rutinní. Tady je prostor k dalšímu snižování dávek na pracovišti DSA.

Všichni pracovníci každoročně absolvují školení z radiační ochrany a jsou seznamováni s nejaktuálnějšími zásadami bezpečné práce se zdroji ionizujícího záření. Můžeme pozorovat, že pokud se na pracovišti pracuje s moderními zdroji ionizujícího záření, pracovníci uvádějí v praxi nová doporučení a poznatky z radiační ochrany, používají kvalitní ochranné prostředky a dodržují způsoby radiační ochrany, daří se navzdory rostoucímu počtu výkonů osobní dávky radiačních pracovníků snižovat.

Tato skutečnost dává předpoklad, že optimalizace radiační ochrany na sledovaných pracovištích bude na velmi dobré úrovni. Na počátku roku 2015 byli pracovníci intervenčních pracovišť v rámci pravidelného školení seznámeni s desaterem pravidel, který vydal SÚJB a SÚRO. Současně byli lékaři vybaveni přímoodečítacími dozimetry s nastavenými alarmovými úrovněmi okamžitého dávkového příkonu a kumulované dávky, které personál upozorňují operativně a dávají lepší a okamžitou představu

o obdržené dávce. Další ochranou výbavou pracoviště DSA a KARD jsou vedle ochranných zástěr, límců a brýlí i ochranné štíty a ochranné stínící dečky, které se pokládají na pacienty a snižují tak dávku radiačním pracovníkům.

6 Závěr

Tato diplomová práce je zaměřena na sledování, analýzu a zhodnocení vývoje naměřených efektivních dávek (dále obecně dávek) u lékařů, radiologických asistentů a zdravotních sester pracujících na třech pracovištích: Digitální subtrakční angiografie, Intervenční kardiologie a vyšetření ERCP pod Gastroenterologickým oddělením. Obecným zjištěním této práce je skutečnost, že na všech pracovištích se počty výkonů postupně zvyšovaly, počet zaměstnanců se navýšil nepatrně, ale zkoumané dávky od přelomu let 2014/2015 systematicky postupně klesaly.

Na pracovišti Digitální subtrakční angiografie při porovnávání počtu výkonů pro roky 2011 a 2017 (jeden angiografický sál) se počet výkonů navýšil o cca 50 %. Poslední dva roky sledovaného období se počet zaměstnanců navýšil o dva lékaře, dva radiologické asistenty a tři zdravotní sestry. Průměrné dávky radiačních pracovníků se navzdory výraznému zvýšení počtu výkonů od roku 2015 soustavně snižovaly.

Na pracovišti intervenční kardiologie se počet nekoronárních výkonů téměř neměnil. Od roku 2013 se začala provádět katetrová implantace aortální chlopně. Je to léčba, kterou provádí pouze dva specializovaní lékaři, a představuje kolem 20 – 25 výkonů za rok, ale radiační dávka u jednoho výkonu je několikanásobná v porovnání s ostatními koronárními druhy výkonů. Tím lze konstatovat, že radiační zátěž i na tomto pracovišti stoupá. Výsledná efektivní dávka ale klesá, což ukazuje na velmi vysokou úroveň optimalizace radiační ochrany.

Při vyšetření ERCP byl zjištěn nárůst vyšetření o 44 % ve srovnání mezi rokem 2011 a rokem 2017. Celé sledované období byl na tomto pracovišti téměř stejný počet zdravotnického personálu, jen v roce 2014 začal toto vyšetření provádět nový doktor. Dávky radiačních pracovníků byly víceméně konstantní, popř. u lékařů v posledních letech mírně klesaly.

Rozborem zpracovávaných dat a údajů z pracovišť jsem zjistila, že navzdory významnému nárůstu počtu výkonů na pracovištích, nebyl zaznamenán růst dávek radiačních pracovníků. Toto zjištění vede k vyloučení stanovené hypotézy, která měla

představu, že se s zvyšujícím se počtem prováděných výkonů poroste i radiační zátěž radiačních pracovníků. Tuto hypotézu můžeme vyloučit předloženou diplomovou prací. Dávky naopak od přelomu let 2014/2015 systematicky klesaly. Osobní návštěvou pracovišť jsem zjistila, že radiační pracovníci respektují a dodržují veškeré správné zásady pro zacházení se zdroji ionizujícího záření. Proto je vysvětlitelné, že dávky klesají. Moje práce dokazuje, že ve FN Plzeň na sledovaných pracovištích je optimalizace radiační ochrany na velmi dobré úrovni.

Od počátku sledovaného období v některých případech dávky mírně fluktovaly, ale kolem roku 2015 nastává systematický mírný pokles z důvodu správné aplikace způsobů a zásad radiační ochrany, které jsou v pravidelných intervalech opakovány při školení radiačních pracovníků. Samozřejmostí je modernizace ochranných prostředků dle posledních trendů a aplikace nejnovějších poznatků v oblasti radiační ochrany do praxe.

Na závěr lze konstatovat, že optimalizace radiační ochrany ve FN Plzeň na sledovaných pracovištích je na vysoké úrovni, což má za důsledek pozitivní vývoj v obdržených efektivních dávkách radiačních pracovníků jako důsledek používání a akceptování pravidel a zásad radiační ochrany, který předložená práce jasně doložila.

7 Seznam literatury

BROUNKOVÁ A KOL., 2007. *Vstupní školení do Jaderné elektrárny Temelín*. Temelín.

BROUNKOVÁ, Dana, 2007. *Radiační ochrana: Pro vybrané pracovníky služeb významných z hlediska radiační ochrany*.

DÍTĚ, Petr. *Základy digestivní endoskopie*. Praha: Grada, 1996. ISBN 80-7169-237-9.

ERCP. *Medicína, studium, studium na I. LF UK* [online]. 2011 [cit. 2016-01-14]. Dostupné z: <http://www.stefajir.cz/?q=ercp>

FERDA, Jiří, Hynek MÍRKA, Jan BAXA a Alexander MALÁN. *Základy zobrazovacích metod*. Praha: Galén, 2015, 148 s. ISBN 978-80-7492-164-3.

FRANK, Eugene D, Bruce W LONG, Barbara J SMITH a Vinita MERRILL. *Merrill's atlas of radiographic positioning & procedures*. 11th ed. St. Louis, Mo.: Mosby/Elsevier c2007. ISBN 978-03-2304-212-3.

HÁLA, Jiří. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*. Brno : Konvoj, 1998. ISBN 80-85615-56-8.

HERRING, William. *Learning radiology: recognizing the basics*. 2nd ed. Philadelphia: Elsevier Mosby, c2012. ISBN 978-0-323-07444-5.

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

I. interní klinika [online]. 2012 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <http://1ik.fnplzen.cz/>

Ionizující záření: Fyzika v moderním lékařství [online]. [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <http://cz7asm.wz.cz/fyz/index.php?page=iozar>

Kardiologické oddělení FN Plzeň: Komplexní kardiovaskulární centrum [online]. 2010 [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <http://kard.fnplzen.cz/>

KIBUS, Miroslav, Radim FIGALLA a Dušan HANZAL, 2018. *Program monitorování pracoviště: Systémový provozní předpis OTS628*. Temelín.

KLENER, Vladislav. *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. ISBN 8023837036.

KLÍMEK, František a Dušan HANZAL, 2016. *Program monitorování pracoviště: ČEZ_ME_0456r09*. Temelín.

KOLÁČEK A KOL., 2017. *Radiační ochrana*. Brno.

KOLEKTIV AUTORŮ, 2003. *Ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření: Sborník učebních textů*. Ostrava. ISBN 80-02-01529-0.

KRAJÍČEK, Milan. *Chirurgická a intervenční léčba cévních onemocnění*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-0607-8.

KUNA, Pavel a Leoš NAVRÁTIL. *Klinická radiobiologie*. Praha: Manus, 2005. ISBN 8086571092.

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína: [učební text]*. Praha: P3K, c2007. ISBN 9788090358492.

MUSÍLEK, Ladislav, Josef ŠEDA a Jaroslav TROUSIL. *Dozimetrie ionizujícího záření: (integrující metody)*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1992, ISBN 8001008126

MUSÍLEK, Ladislav. *Základy dozimetrie 2., Ochrana před zářením*. 1. vyd., Praha: ČVUT, 1986

NEKULA, Josef. *Radiologie*. 3. vyd. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2005, 205 s. ISBN 80-244-1011-7.

Pokroky v zajištění radiační ochrany [online]. Praha: SÚJB, 2016 [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/zajimavosti-z-praxe-radiacni-ochrany/pokroky-v-zajisteni-radiacni-ochrany/>

Radiobiologie: Filmová dozimetrie [online]. 2010 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/16/163.html>

ROSINA, Jozef, Hana KOLÁŘOVÁ a Jiří STANEK. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2006, 230 s. ISBN 8024713837

ŘIHÁKOVÁ, Věra. *Měření osobního dávkového ekvivalentu na oční čočku Hp (3) pomocí termoluminiscenčních dozimetrů*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Masarykova univerzita v Brně, Lékařská fakulta, Katedra Radiologických metod. Vedoucí bakalářské práce Mgr. Kateřina Krkavcová

SABOL, Jozef. *Základy dozimetrie*. Praha: ČVUT, 1992. ISBN 8001008479.

SEIDL, Zdeněk. *Radiologie pro studium i praxi*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 368 s., iv s. obr. příl. ISBN 978-80-247-4108-6.

SINGER, Jan a Jindřiška HEŘMANSKÁ. *Principy radiační ochrany*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2004. ISBN 8070407085.

SINGER, Jan. *Dozimetrie ionizujícího záření*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita (České Budějovice). Zdravotně sociální fakulta, 2005, 67 s. ISBN 8070407522

Státní úřad pro jadernou bezpečnost: Nové atomové právo [online]. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/legislativa/nove-atomove-pravo/>

Státní úřad pro jadernou bezpečnost: Radiační ochrana [online]. 2015 [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske_ozareni/plakaty_RDG/desatero_RO_IK.pdf

Státní úřad pro jadernou bezpečnost: Radiační ochrana [online]. 2015 [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske_ozareni/plakaty_RDG/desatero_RO_pacienti_skiaskop.pdf

Státní úřad pro jadernou bezpečnost: Radiační ochrana [online]. 2015 [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske_ozareni/plakaty_RDG/desatero_RO_personal_skiaskop.pdf

SÚJB. *Radiační ochrana* [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/zajimavosti-z-praxe-radiacni-ochrany/pokroky-v-zajisteni-radiacni-ochrany/>

SÚKUPOVÁ, Lucie. *Radiační ochrana při rentgenových výkonech - to nejdůležitější pro praxi*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0709-4.

TODD H. BARON, RICHARD A. KOZAREK a DAVID L. CARR-LOCKE. *ERCP*. 2nd ed. Philadelphia, PA: Elsevier/Saunders, 2013. ISBN 1455723673.

ULMANN, Vojtěch. *Astrofyzika: Fotografická detekce ionizujícího záření. Materiálové detektory*[online]. 2008 [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm#2>

VENDIŠ, Tomáš a Jan BAXA. Základní informace: Angiografie. *Radiologieplzen.eu: Informační portál Kliniky zobrazovacích metod* [online]. Plzeň, 2018 [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: <http://radiologieplzen.eu/zakladni-informace-angiografie/>

VÍTOVEC, Jiří a Jana ŠTĚPÁNKOVÁ. Dokumentace k atomovému zákonu - Nakládání se ZIZ v radiodiagnostice a intervenční radiologii: Směrnice SME/9/003/04. Plzeň. FN Plzeň: Interní dokumentace FN Plzeň, 2017.

VOKURKA, Martin. *Praktický slovník medicíny*. 6. rozš. vyd. Praha: Maxdorf, 2000. ISBN 8085912384.

VOMÁČKA, Jaroslav, Josef NEKULA a Jiří KOZÁK. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. 1. vyd. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2012, 153 s. ISBN 978-80-244-3126-0.

Vyhláška č. 422/2016 Sb.: Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016. In: *Sbírka zákonů ČR*. ročník 2016.

Zákon č. 263/2016, Atomový zákon. In: *Sbírka zákonů*. Česká republika, částka 102.

ŽÁČKOVÁ, Helena. *Kurz radiační ochrany při nakládání se zdroji ionizujícího záření ve zdravotnictví: Skripta*. Praha: Insitut postgraduálního vzdělávání ve zdravotnictví, 2011.

8 Zkratky

ALARA – As low As Reasonably Achievable

CT – výpočetní tomografie

DNA – deoxyribonukleová kyselina

DSA – Digitální subtrakční angiografie

E – efektivní dávka

ERCP – Endoskopická retrográdní cholangiopankreatikografie

Hp – osobní dávkový ekvivalent

IAEA – International Atomic Energy Agency

ICD – Implantabilní kardioverter-defibrilátor

ICRP – International Commission on Radiological Protection

OSL – opticky stimulovaná luminiscence

PACD – poly-allyl-diglycerol carbonate

PCI – perkutánní koronární intervence

PET/CT – pozitronová emisní tomografie

PLD – Photo Luminiscence Dosimetry

RAS – radiologický asistent

SKG – selektivní koronografie

TAVI – katetrová implantace aortální chlopně

TLD – termoluminiscenční dozimetr

9 Seznam obrázků

Obrázek 1: Osobní filmový dozimetr	36
Obrázek 2: Termoluminiscenční a OSL dozimetr	38
Obrázek 3: Elektronický osobní dozimetr MDC 2000S.....	40
Obrázek 4: Elektronický osobní varovný dozimetr RAD - 60S	41

10 Seznam tabulek

Tabulka 1: Obecné limity pro obyvatele	21
Tabulka 2: Limity pro radiačního pracovníka	22
Tabulka 3: Limity pro žáka a studenta	23
Tabulka 4: Odvozené limity	23
Tabulka 5: Hodnoty tkáňových faktorů.....	28
Tabulka 6: Jakostní faktor	30
Tabulka 7: Počty provedených výkonů na všech sledovaných pracovištích.....	53
Tabulka 8: Počty jednotlivých výkonů na KARD	54
Tabulka 9: Kolektivní dávky radiačních pracovníků za sledované období.....	55
Tabulka 10: Kolektivní dávky S_{celk} vydělené počtem n_{celk}	55
Tabulka 11: Přehled překročení záznamové monitorovací úrovně.....	96
Tabulka 12: Přehled překročení vyšetřovací monitorovací úrovně	97
Tabulka 13: Překročení roční efektivní dávky 20 mSv u radiačních pracovníků	98

11 Seznam grafů

Graf 1: Efektivní dávky lékařů DSA za rok 2011	56
Graf 2: Efektivní dávky radiologických asistentů DSA za rok 2011	57
Graf 3: Efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2011	57
Graf 4: Efektivní dávky lékařů DSA za rok 2012.....	58
Graf 5: Efektivní dávky radiologických asistentů DSA za rok 2012.....	58
Graf 6: Efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2012	59
Graf 7: Efektivní dávky lékařů DSA za rok 2013.....	59
Graf 8: Efektivní dávky radiologických asistentů DSA za rok 2013	60
Graf 9: Efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2013	60
Graf 10: Efektivní dávky lékařů DSA za rok 2014.....	61
Graf 11: Efektivní dávky radiologických asistentů DSA za rok 2014.....	61
Graf 12: Efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2014.....	62
Graf 13: Efektivní dávky lékařů DSA za rok 2015.....	62
Graf 14: Efektivní dávky radiologických asistentů DSA za rok 2015	63
Graf 15: Efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2015.....	63
Graf 16: Efektivní dávky lékařů DSA za rok 2016.....	64
Graf 17: Efektivní dávky radiologických asistentů DSA za rok 2016	64
Graf 18: Efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2016.....	65
Graf 19: Efektivní dávky lékařů DSA za rok 2017.....	66
Graf 20: Efektivní dávky radiologických asistentů DSA za rok 2017	66
Graf 21: Efektivní dávky zdravotních sester DSA za rok 2017.....	67
Graf 22: Počet výkonů na pracovišti DSA za sledované období.....	67
Graf 23: Kolektivní dávky lékařů vydělené počtem lékařů DSA za sledované období..	68
Graf 24: Kolektivní dávky radiologických asistentů vydělené počtem radiologických asistentů DSA za sledované období.....	68
Graf 25: Kolektivní dávky zdravotních sester vydělené počtem zdravotních sester DSA za sledované období.....	69
Graf 26: Efektivní dávky lékařů KARD za rok 2011	70
Graf 27: Efektivní dávky radiologických asistentů KARD za rok 2011	70
Graf 28: Efektivní dávky zdravotních sester KARD za rok 2011	71
Graf 29: Efektivní dávky lékařů KARD za rok 2012.....	71
Graf 30: Efektivní dávky radiologických asistentů KARD za rok 2012.....	72

Graf 31: Efektivní dávky zdravotních sester KARD za rok 2012	72
Graf 32: Efektivní dávky lékařů KARD za rok 2013	73
Graf 33: Efektivní dávky radiologických asistentů KARD za rok 2013	73
Graf 34: Efektivní dávky zdravotních sester KARD za rok 2013	74
Graf 35: Efektivní dávky lékařů KARD za rok 2014	74
Graf 36: Efektivní dávky radiologických asistentů KARD za rok 2014	75
Graf 37: Efektivní dávky zdravotních sester KARD za rok 2014	75
Graf 38: Efektivní dávky lékařů KARD za rok 2015	76
Graf 39: Efektivní dávky radiologických asistentů KARD za rok 2015	76
Graf 40: Efektivní dávky zdravotních sester KARD za rok 2015	77
Graf 41: Efektivní dávky lékařů KARD za rok 2016	77
Graf 42: Efektivní dávky radiologických asistentů KARD za rok 2016	78
Graf 43: Efektivní dávky zdravotních sester KARD za rok 2016	78
Graf 44: Efektivní dávky lékařů KARD za rok 2017	79
Graf 45: Efektivní dávky radiologických asistentů KARD za rok 2017	79
Graf 46: Efektivní dávky zdravotních sester KARD za rok 2017	80
Graf 47: Počet výkonů KARD	80
Graf 48: Počet výkonů na KARD	81
Graf 49: Kolektivní dávky lékařů vydělené počtem lékařů KARD	81
Graf 50: Kolektivní dávky radiologických asistentů vydělené počtem radiologických asistentů KARD	82
Graf 51: Kolektivní dávky zdravotních sester vydělené počtem zdravotních sester KARD	83
Graf 52: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2011	84
Graf 53: Efektivní dávky zdravotních sester ERCP za rok 2011	84
Graf 54: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2012	85
Graf 55: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2012	85
Graf 56: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2013	86
Graf 57: Efektivní dávky zdravotních sester ERCP za rok 2013	86
Graf 58: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2014	87
Graf 59: Efektivní dávky zdravotních sester ERCP za rok 2014	87
Graf 60: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2015	88
Graf 61: Efektivní dávky zdravotních sester ERCP za rok 2015	88
Graf 62: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2016	89

Graf 63: Efektivní dávky zdravotních sester ERCP za rok 2016.....	89
Graf 64: Efektivní dávky lékařů ERCP za rok 2017.....	90
Graf 65: Efektivní dávky zdravotních sester ERCP za rok 2017.....	90
Graf 66: Počet výkonů na pracovišti ERCP	91
Graf 67: Kolektivní dávky lékařů vydělené počtem u lékařů ERCP	91
Graf 68: Kolektivní dávky zdravotních sester vydělené počtem zdravotních sester ERCP	92

12 Seznam příloh

Příloha 1: Pracoviště digitální subtrakční angiografie	114
Příloha 2: Pracoviště intervenční kardiologie	114
Příloha 3: Vyšetření ERCP	115
Příloha 4: Endoskop a pomůcky k vyšetření ERCP	115
Příloha 5: Desatero radiační ochrany personálu při skiaskopii.....	116

13 Přílohy

Příloha 1: Pracoviště digitální subtrakční angiografie



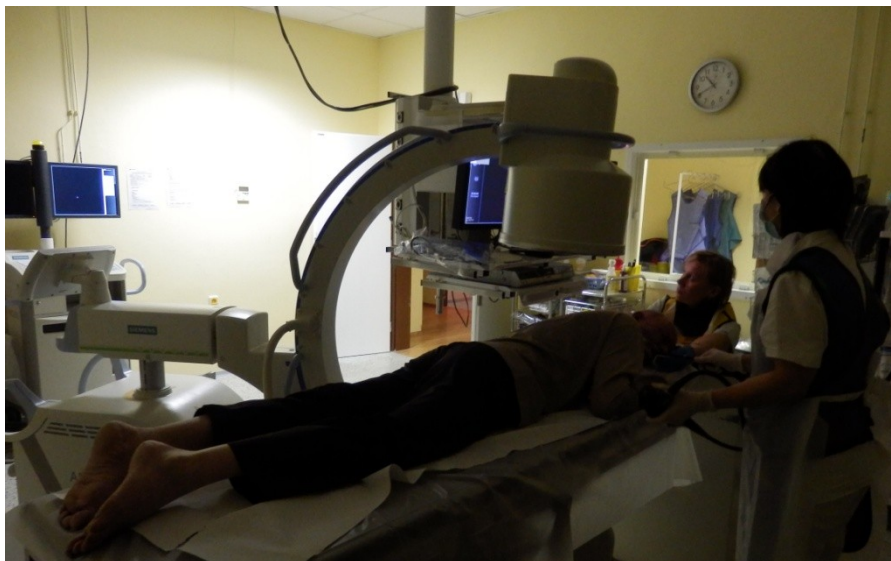
Zdroj: vlastní

Příloha 2: Pracoviště intervenční kardiologie



Zdroj: vlastní

Příloha 3: Vyšetření ERCP



Zdroj: vlastní

Příloha 4: Endoskop a pomůcky k vyšetření ERCP



Zdroj: vlastní

Desatero radiální ochrany **personálu** při skiaskopii

Snižení dávek pacientovi vede vždy ke snížení dávek personálu

1. Používejte ochranné pomůcky



Existují také dvoudílné ochranné zástěry (vesta + sukně), při jejichž nošení je váha stínění lépe rozložena a které přestože mají ekvivalent 0,25mm Pb, díky dvojitě-

mu překrytí vpředu poskytují stínění s ekvivalentem 0,5mm Pb

Poskytují více než 90% ochranu



Používejte ochranné brýle kvůli ochraně oční čočky (existují i s bočním stíněním)



Límeček chrání štítnou žlázu

2. Základní způsoby ochrany před zářením spočívají v ochraně časem, vzdáleností a stíněním

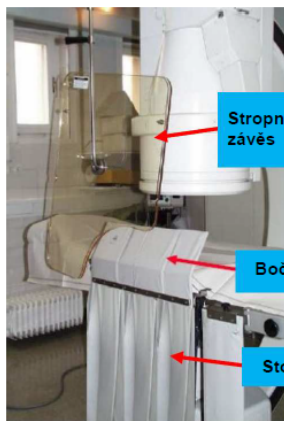
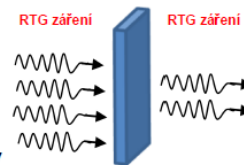
Minimalizujte skiaskopický čas



Zvětšete svou vzdálenost od RTG svazku, jak jen to je klinicky možné



Používejte všechny dostupné ochranné stínicí prostředky



Stropní ochranný závěs

Boční stínění

Stolní závěs

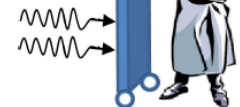
3. Používejte stropní ochranné závěsy, boční stínění a stolní závěsy

Zajistí **více než 90% ochrany** před rozptýleným zářením při skiaskopii

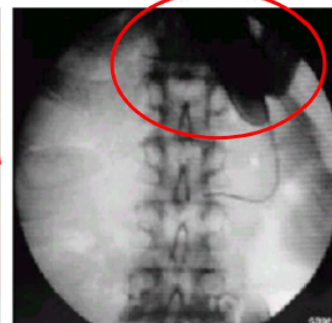
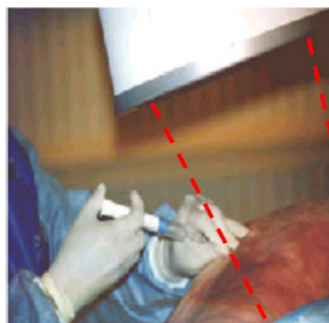
Doporučujeme používat pojízdné stínicí zástěny během akvizičního módu

Pojízdná stínicí zástěna

RTG záření



4. Pokud to není naprosto nevyhnutelné, nekládejte ruce do primárního RTG svazku



RPOP
Radiální ochrana
personálu



Více informací na:

česky: <http://www.sujb.cz>, <http://www.suro.cz>

anglicky: <http://rpop.iaea.org>, <http://www.imagegently.com>

Strana 1 ze 2
Skiaskopie
Radiální ochrana personálu

Desatero radiální ochrany **personálu** při skiaskopii

Snižení dávek pacientovi vede vždy ke snížení dávek personálu



Správně!



Špatně!

5. Přednostně stůjte na straně receptoru obrazu

Na straně receptoru obrazu je méně rozptýleného záření než na straně rentgenky

6. Používejte RTG zařízení přednostně s rentgenkou pod stolem

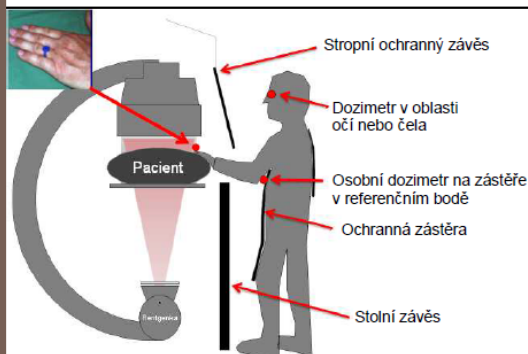
Při této projekci je ochrana před rozptýleným zářením účinnější



Správně!



Špatně!



7. Používejte osobní dozimetry

Vaší povinností je nosit alespoň jeden dozimetr na zástěře v referenčním místě (na levé straně hrudníku)

Další dodatečné možnosti osobní dozimetrie jsou:

- Prstýnkový dozimetr
- Dozimetr v oblasti očí nebo čela monitorující ozáření oční čočky
- Operativní přímo odečítací dozimetr pro okamžitou kontrolu ozáření

8. Vzdělávejte se v oblasti radiální ochrany



9. Jakékoli dotazy ohledně radiální ochrany směřujte na osoby s přímou odpovědností za radiální ochranu, dohlížející osoby, radiologické fyziky na vašem pracovišti a osoby provádějící přijímací zkoušku (PZ) a zkoušky dlouhodobé stability (ZDS)

Dotazy na velikost ozáření v místech, kde se nacházíte při skiaskopických výkonech směřujte na osoby, které měří rozptýlené záření (obvykle subjekty provádějící PZ a ZDS)

10. PAMATUJTE!

- Zkoušky provozní stálosti a dlouhodobé stability zajišťují bezpečný a stabilní provoz RTG zařízení
- Ujistěte se, že dobře znáte všechny možnosti vašeho zařízení, seznamte se s manuálem a ptejte se při instalaci a servisu
- Používejte zařízení a všechny jeho komponenty a programy optimálně, abyste redukovali ozáření pacientů a personálu na nutné minimum



RPOP
Radiální
ochrana
personálu



Více informací na:

česky: <http://www.sujb.cz>, <http://www.suro.cz>

anglicky: <http://rpop.iaea.org>, <http://www.imagegently.com>

Strana 2 ze 2
Skiaskopie
Radiální ochrana personálu