



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**  
**Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**

---

# **Radiační ochrana při mamografickém vyšetření**

## **Radiation Protection during Mammographic Examination**

Bakalářská práce

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví

Studijní obor: Radiologický asistent

Autor bakalářské práce: Michaela Golišová

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Žaneta Honová, MBA, DBA

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Golišová** Jméno: **Michaela** Osobní číslo: **491671**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**  
Studijní program: **Specializace ve zdravotnictví**  
Studijní obor: **Radiologický asistent**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Radiační ochrana při mamografickém vyšetření**

Název bakalářské práce anglicky:

**Radiation Protection during Mammographic Examination**

Pokyny pro vypracování:

Předmětem bakalářské práce bude problematika radiační ochrany během mamografického vyšetření. V teoretické části bude popsán vznik a vlastnosti rentgenového záření, biologické účinky rentgenového záření, jednotky a veličiny dozimetrie a radiační ochrany, ochrana před rentgenovým zářením jak u pacientů, tak i personálu. V závěru teoretické části bude zpracována kapitola o mamografickém vyšetření. V praktické části studentka stanoví glandulární dávky ve stanovených tloušťkách komprimovaného prsu (2,1 cm, 3,2 cm, 4,3-4,7 cm, 5,1-5,5 cm, 5,8-6,2 cm, 7,3-7,7 cm, 8,5-9-5 cm) v daném časovém období. Rovněž se studentka v této části bakalářské práce zaměří na radiační ochranu jednak žen, které podstupují mamografické vyšetření, tak radiologických asistentů provádějící toto vyšetření. V závěru bakalářské práce budou jednak získané hodnoty vyhodnoceny a porovnány se zkouškami dlouhodobé stability, tak i s místními diagnostickými referenčními úrovněmi. V závěru budou rovněž popsány postupy, které vedou k co nejnižší dávce jednak během mamografického vyšetření, tak při intervenčním mamografickém výkonu.

Seznam doporučené literatury:

- [1] PODZIMEK, František, Radiologická fyzika: fyzika ionizujícího záření, ed. , V Praze: České vysoké učení technické, 2015, ISBN 978-80-01-05319-5
- [2] SÚKUPOVÁ, Lucie, Radiační ochrana při rentgenových výkonech - to nejdůležitější pro praxi, ed. , Praha: Grada Publishing, 2018, ISBN 978-80-271-0709-4
- [3] DANĚŠ, Jan, Screening a diagnostika karcinomu prsu: pro každodenní praxi, ed. 1. vydání, Praha: Grada Publishing, 2021, ISBN 978-80-271-1239-5

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Mgr. Žaneta Honová, MBA, DBA**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **14.02.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **23.09.2023**

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Radiační ochrana při mamografickém vyšetření* vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne 09.08.2022

.....

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych ráda poděkovala paní Mgr. Žanetě Honové, MBA za odborné vedení mé bakalářské práce, trpělivost, ochotu, a především za její čas a vstřícný přístup.

## **ABSTRAKT:**

Předmětem bakalářské práce „Radiální ochrana při mamografickém vyšetření“ je problematika radiální ochrany během mamografického vyšetření. Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je popsán vznik a vlastnosti rentgenového záření, biologické účinky rentgenového záření, jednotky a veličiny dozimetrie a radiální ochrany, ochrana před rentgenovým zářením jak u pacientů, tak i personálu. V závěru teoretické části je zpracována kapitola o mamografickém vyšetření. V praktické části jsou stanoveny glandulární dávky ve stanovených tloušťkách komprimovaného prsu (2,1 cm, 3,2 cm, 4,3 – 4,7 cm, 5,1 – 5,5 cm, 5,8 – 6,2 cm, 7,3 – 7,7 cm, 8,5 – 9,5 cm) v daném časovém období. Rovněž je v této části bakalářské práce zaměřeno na radiální ochranu jednak žen, které podstupují mamografické vyšetření, tak radiologických asistentů provádějící toto vyšetření. V závěru bakalářské práce jsou jednak získané hodnoty vyhodnoceny a porovnány se zkouškami dlouhodobé stability, tak i s místními diagnostickými referenčními úrovněmi. V závěru jsou rovněž popsány postupy, které vedou k co nejnižší dávce jednak během mamografického vyšetření, tak při intervenčním mamografickém výkonu.

## **Klíčová slova:**

Mamografie, screening, radiální ochrana, komprese, dávka

## **ABSTRACT:**

The subject of the bachelor's thesis "Radiation protection during mammographic examination" is the issue of radiation protection during mammographic examination. The bachelor's thesis is divided into a theoretical and a practical part. The theoretical part describes the origin and properties of X-rays, biological effects of X-rays, units and quantities of dosimetry and radiation protection, protection against X-rays for both patients and staff. At the end of the theoretical part, a chapter on mammographic examination is prepared. In the practical part, glandular doses are determined in specified thicknesses of the compressed breast (2,1 cm, 3,2 cm, 4,3 – 4,7 cm, 5,1 – 5,5 cm, 5,8 – 6,2 cm, 7,3 – 7,7 cm, 8,5 – 9,5 cm) in the given time period. This part of the bachelor's thesis also focuses on the radiation protection of both women undergoing mammography examinations and radiological assistants performing this examination. At the end of the bachelor's thesis, both the obtained values are evaluated and compared with long-term stability tests, as well as with local diagnostic reference levels. The conclusion also describes procedures that lead to the lowest possible dose both during the mammographic examination and during the interventional mammographic procedure.

## **Keywords:**

Mammography, screening, radiation protection, compression, dose

## **OBSAH**

1	ÚVOD .....	1
2	CÍLE PRÁCE.....	2
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU .....	3
3.1	RENTGENOVÉ ZÁŘENÍ.....	3
3.1.1	IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ .....	3
3.1.2	Vznik rentgenového záření .....	4
3.1.3	Vlastnosti rentgenového záření .....	6
3.2	BIOLOGICKÉ ÚČINKY RENTGENOVÉHO ZÁŘENÍ.....	7
3.2.1	Mechanismus účinku záření na živou tkáň .....	7
3.2.2	Vztah dávky a biologického účinku.....	8
3.3	VELIČINY DOZIMETRIE A RADIAČNÍ OCHRANY .....	10
3.3.1	Veličiny dozimetrie ionizujícího záření .....	10
3.3.2	Veličiny používané v ochraně před ionizujícím zářením .....	12
3.4	OCHRANA PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM.....	16
3.4.1	Principy a cíle radiační ochrany .....	16
3.4.2	Kategorizace pracovníků.....	17
3.5	MAMOGRAFICKÉ SCREENINGOVÉ VYŠETŘENÍ .....	19
3.5.1	Screeningové mamografické vyšetření .....	19
3.5.2	Radiační zátěž při mamografickém vyšetření .....	23
4	METODIKA .....	24
5	VÝSLEDKY PRÁCE .....	27
6	DISKUZE.....	43
7	ZÁVĚR .....	45
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	46
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	47
10	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ .....	50
11	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK .....	51

# 1 ÚVOD

Bakalářskou práci na téma Radiační ochrana při mamografickém vyšetření jsem si zvolila, protože v současné době počet onemocnění rakoviny prsu stoupá a snižuje se i věková hranice vzniku tohoto onemocnění. Screeningový preventivní program zaměřený na vyhledávání žen s rakovinou je unikátní, ucelený a vysoce účinný. Touto prací mohu být alespoň částečně jeho součástí.

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části bakalářské práce jsou kapitoly popisující rentgenové záření, jednotky a veličiny radiační ochrany. V teoretické části bakalářské práce jsou uvedeny biologické účinky rentgenového záření a rovněž kapitola o ochraně před ionizujícím zářením. Poslední kapitola teoretické části bakalářské práce je věnována screeningovému mamografickému vyšetření.

Praktická část bakalářské práce se zabývá hodnocením glandulární dávky ve stanovených tloušťkách prsní tkáně (2,1 cm, 3,2 cm, 4,3 – 4,7 cm, 5,1 – 5,5, 5,8 – 6,2, 7,3 – 7,7 cm, 8,5 – 9,5 cm) za měsíc březen v roce 2022 pro akreditované screeningové mamografické pracoviště EUC Kliniky Kladno s.r.o. Získaná data jsou vyhodnocena a zároveň srovnána s místními diagnostickými referenčními úrovněmi a rovněž jsou porovnány s hodnotami ze zkoušek dlouhodobé stability. Poslední kapitola v praktické části bakalářské práce je zaměřena na radiační ochranu jednak žen, které podstupují mamografické vyšetření, tak radiologických asistentů provádějící toto vyšetření.

V závěru bakalářské práce jsou výsledky shrnuty. Zároveň v závěru bakalářské práce jsou popsány postupy, které vedou k co nejnižší dávce jednak během mamografického vyšetření, tak při intervenčním mamografickém výkonu.



## 2 CÍLE PRÁCE

Cíle bakalářské práce s názvem Radiační ochrana při mamografickém vyšetření prsu jsou rozděleny na:

Cíle v teoretické části bakalářské práce:

- popsání vzniku a vlastností rentgenového záření;
- popsání veličin a jednotek dozimetrie a radiační ochrany;
- popsání biologických účinků rentgenového záření a ochrany před ionizujícím zářením;
- popsání screeningového mamografického vyšetření.

Cíle v praktické části bakalářské práce:

- sběr dat pro stanovené tloušťky prsní tkáně (2,1 cm, 3,2 cm, 4,3 – 4,7 cm, 5,1 – 5,5, 5,8 – 6,2, 7,3 – 7,7 cm, 8,5 – 9,5 cm);
- analýza dat;
- tabulky a grafy ze získaných dat;
- porovnání získaných dat s hodnotami ze zkoušky dlouhodobé stability a místními diagnostickými úrovněmi;
- popsání radiační ochrany jak u klientek, které podstupují mamografické vyšetření, tak radiologických asistentů, kteří toto vyšetření provádějí.

## 3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

### 3.1 RENTGENOVÉ ZÁŘENÍ

Rentgenové záření je elektromagnetické vlnění, o vlnové délce v rozmezí od  $10^{-8}$  m do  $10^{-12}$  m. Toto záření je lidským okem nezpozorovatelné a pohybuje se rychlostí světla. Vzniká v elektronovém obalu při interakci elektronů s hmotou. Je to forma ionizujícího záření, která dokáže proniknout látkou, hmotou. (1, 2)

#### 3.1.1 IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

Ionizující záření je tok hmotných částic nebo fotonů elektromagnetického záření, které mají schopnost ionizovat atomy a molekuly prostředí nebo excitovat jejich jádra. Vzniká jako průvodní jev jaderných procesů (u rentgenového záření se procesy odehrávají v elektronovém obalu atomů). Při těchto procesech se dostává jádro (nebo obal) atomu do excitovaného stavu, stává se tak energeticky nestabilní. Stabilní stav získá právě vyzářením energie, buď ve formě částic nebo fotonů elektromagnetického záření. (1, 8, 9, 10)

**Přímo ionizující záření** je tvořeno nabitými částicemi (elektrony, pozitrony, protony, částice  $\alpha$ ,  $\beta$ ), které mají dostatečnou kinetickou energii k tomu, aby mohly vyvolat ionizaci. (1, 8, 9, 10)

**Nepřímo ionizující záření** zahrnuje nenabité částice (fotony, neutrony), které samy prostředí ionizovat nedokážou, ale při interakcích s prostředím uvolňují sekundární, přímo ionizující částice. Ionizace prostředí je pak způsobena těmito sekundárními částicemi. (1, 8, 9, 10)

**Korpuskulární ionizující záření** je charakterizováno elektrickým nábojem, klidovou hmotností a kinetickou energií. Podle hmotnosti dělíme částice na: (1, 8, 9, 11)

- těžké (částice  $\alpha$ , protony, neutrony);
- středně těžké (mezony);
- lehké (elektrony, pozitrony).

**Fotonové ionizující záření** má duální charakter (má vlastnosti jak elektromagnetického vlnění, tak i vlastnosti částic o nulové hmotnosti). Rozeznáváme fotonové záření  $\gamma$  a rentgenové záření. Z fyzikálního hlediska jde v podstatě o stejný typ záření, rozdíl je ve vlnové délce a v tom, že záření  $\gamma$  vzniká v atomovém jádře (přírodní a umělá radioaktivita) a rentgenové záření vzniká interakcí elektronu z obalu s těžkými atomy v materiálu anody (rentgenové přístroje, betatron, lineární urychlovač částic). (1, 8, 11)

Vznik ionizujícího záření souvisí se strukturou atomů a atomových jader. Atomy všech látek se v principu skládají ze tří druhů částic – protonů, neutronů a elektronů. Protony a neutrony (společně nazýváme nukleony) tvoří jádro atomu. Elektrony obíhají kolem jádra po vymezených drahách. (1, 8, 11)

Počet částic v jádře charakterizují nukleové (hmotnostní) a protonové (atomové) číslo. Hmotnostní číslo  $A$ , udává celkový počet protonů a neutronů v jádře. Protonové číslo  $Z$  udává počet protonů v jádře (a tím i počet elektronů v obalu). (1, 8, 11)

Toto číslo udává také postavení prvku v Mendělejevově periodickém systému, což znamená, že prvek jednoznačně identifikuje i z chemického hlediska. Rozdíl  $A-Z$  pak určuje počet neutronů v jádře. (1, 8, 11)

### 3.1.2 Vznik rentgenového záření

Rentgenové záření objevil roku 1895 německý fyzik Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923) při studiu výbojů v plynech. Během svých pokusů objevil, že při dopadu katodového záření (proud elektronů urychlených elektrickým polem) na kovovou anodu vzniká záření, které proniká i neprůhlednými předměty. Röntgen poté provedl řadu pokusů, jimiž zjistil vlastnosti tohoto neznámého záření, tehdy zvaného „paprsky  $X$ “. (5)

Podařilo se mu například zjistit, že emulze fotografické desky zabalené do černého papíru a umístěné v blízkosti výbojové trubice po vyvolání zčernala. (5)

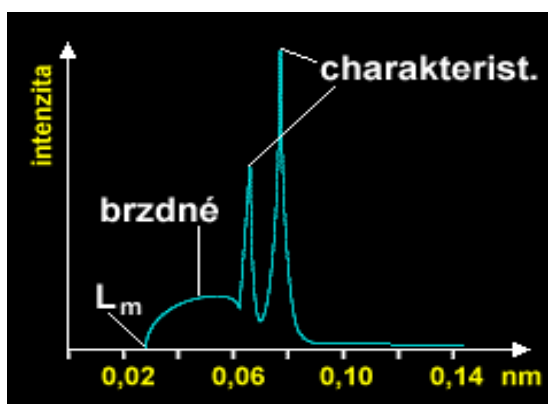
To se však nestalo, když na desku položil kovový předmět. Tímto způsobem Röntgen vytvořil první rentgenový snímek ruky. Za své objevy obdržel v roce 1901 první Nobelovu cenu za fyziku. (5)

Ovšem až v roce 1912 se zjistilo, že průchodem rentgenového záření krystalem vzniká ohybový obrazec. Tím bylo dokázáno, že paprsky  $X$  tvoří vlnění o velmi malé vlnové délce. (5)

Rentgenové záření vzniká dopadem urychleného elektronu na anodu. Anoda může být pevná či rotační, která je v dnešní době více využívána díky jejímu lepšímu chlazení. Vzniklé rentgenové záření se dělí na brzdné a charakteristické: (1)

- Brzdné záření vzniká změnou směru a rychlosti elektronu při zabrzdění na anodě. Vzniká tak 99 % tepelné energie a 1 % elektromagnetického rentgenového záření. Spektrum brzdného záření je spojité, takže jsou zastoupeny fotony s energií od nuly až po maximum. (1)

- Charakteristické rentgenové záření vzniká při dopadu rychlých elektronů (elektronů s vysokou energií) na anodu. Přitom elektrony odevzdávají svoji kinetickou energii některému z elektronů vnitřní slupky elektronového obalu, což vede k jeho přemístění do vyšší energetické hladiny (excitace) nebo k úplnému vyražení z atomu (ionizace). Excitovaný nebo ionizovaný atom je nestabilní a stabilitu získává návratem do základního stavu (přechodem elektronu z vyšší energetické hladiny na uvolněné místo). Při přechodu z vyšší energetické hladiny na nižší energetickou hladinu se elektron zbaví přebytku energie. Příslušný rozdíl energie se vyzáří ve formě fotonu elektromagnetického záření, tzv. charakteristického rentgenového záření pro danou elektronovou vrstvu. Spektrum charakteristického záření je nespojité (čárové). (1)



Obrázek 3.1.: Rentgenové záření (7)

### 3.1.3 Vlastnosti rentgenového záření

Zdrojem umělého rentgenového záření je rentgenka. Rentgenka je vakuová skleněná trubice obsahující zpravidla wolframovou katodu a anodu, mezi nimiž je připojeno vysoké napětí, které zvyšuje kinetickou energii elektronů. Ze žhavené záporné katody se uvolní elektrony, které po dopadu na kladnou anodu produkují rentgenové záření. Rentgenové záření tedy vzniká zabrzděním elektronů na anodě o vysokém protonovém čísle. K zabránění přehřívání je potřeba rentgenku chladit olejovou lázní. Mezi jednotlivými expozicemi potřebuje anoda časové prodlevy, aby stačila vychladnout. Lokálnímu přehřívání rentgenky se může zabránit rotací anody, kdy se teplo rozprostře na větší plochu. Takovéto řešení se nazývá rentgenka s rotační anodou. (1)

Rentgenka s rotační anodou obsahuje zdroj anodového, žhavicího a rotačního napětí. Čím je větší napětí, tím vzniká kratší vlnová délka rentgenového záření. Delší vlnová délka, tedy i měkčí záření, se ve tkáni více pohlcuje. (2)

Část rentgenového záření se při průniku látkou absorbuje, část se rozptýlí a zbytek projde. Rentgenový obraz zobrazí různé absorpční vlastnosti tkání, což umožňuje rozdílné tkáně rozeznat. V mamografii se používá měkké rentgenové záření, neboť nálezy v prsu mají velmi podobnou strukturu jako u zdravé tkáně, tudíž by na klasickém rentgenovém snímku nebyl viditelný rozdíl. (2)

## **3.2 BIOLOGICKÉ ÚČINKY RENTGENOVÉHO ZÁŘENÍ**

Účinky rentgenového záření vycházejí z jeho ionizujících vlastností. Ionizující záření vyvolává změny fyzikální, chemické i biologické. Změny vznikají následkem absorbování energie ve tkáni a jsou závislé na druhu záření, době expozice, počtu opakování a na aktuálním stavu ozařovaného organismu. Fyzikálním účinkem ionizujícího záření je především vzrůstání teploty vyvolané ionizací a excitací atomů. Chemickým účinkem je poškození nositelky genetické informace (DNA) a vznik volných radikálů. Biologickým účinkem je poškození a smrt buněk. (1, 4)

Biologické účinky se rozdělují na účinky stochastické a účinky deterministické. Tyto účinky jsou následně popsány v samostatné podkapitole „Vztah dávky a biologického účinku“. (3)

Ionizující záření je ve větších dávkách nebezpečné, protože poškozuje tkáně a způsobuje genetické změny. Účinky ionizujícího záření ve tkáních se liší dle radiosenzitivity a schopnosti reparace dané tkáně. Nejcitlivější jsou rychle dělicí se tkáně, jako jsou krevní buňky, střevní epitel a gonády. Nejméně citlivá je naopak svalová a nervová tkáň. (1) Buňky jsou schopny radiační poškození reparovat, proto se kumulovaná dávka nezvyšuje úměrně s časem. Ke stanovení deterministických účinků se používá ekvivalentní dávka a ke stanovení stochastických účinků efektivní dávka. (1, 3)

### **3.2.1 Mechanismus účinku záření na živou tkáň**

Ionizující záření má za následek u buňky apoptózu, reparaci či mutaci. Apoptóza je programovaná buněčná smrt, která se od nekrózy odlišuje koordinovanou autodestrucí a chrání tak organismus před nádorovým bujením, které by vzniklo poškozením DNA. Buňka, která nezvládá včas opravit své poškození, se pro organismus stává rizikovou, je tudíž výhodnější ji zničit a nahradit buňkou novou. Pokud kontrolní mechanismy selžou, buňka zmutuje, a i nadále si nese své poškození, které předává svým klonům. (1, 2, 6)

Tímto mechanismem vzniká nádorové bujení. Reparace je schopnost zasažené buňky opravit samu sebe, pouze u reverzibilních (vratných) změn. Jedná se o konečný výsledek působení ionizujícího záření na buňku a tkáně (1, 2, 6)

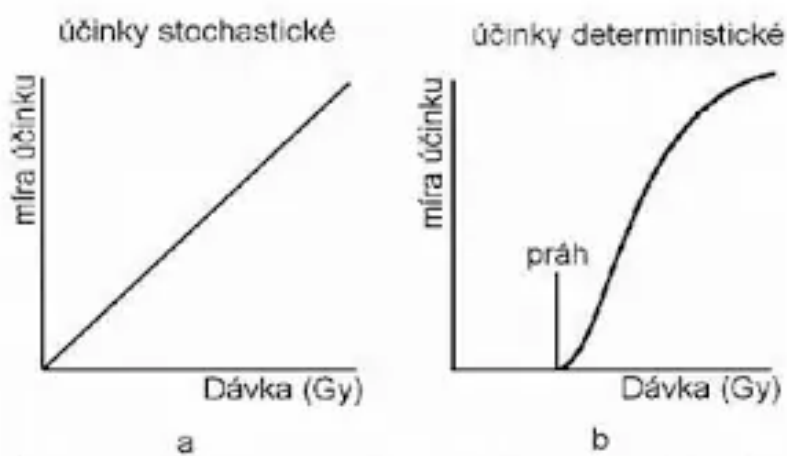
Proces účinku ionizujícího záření na živou tkáň probíhá ve čtyřech na sebe navazujících etapách, které se od sebe odlišují svou rychlostí a druhem probíhajících procesů: (1, 2)

- *Fyzikální stádium* – ionizující záření předává energii ozářené hmotě (především orbitálním elektronům) formou ionizace a excitace. Excitace je vybuzený nestabilní stav, po kterém následuje deexcitace s vyzářením fotonu charakteristického záření. Tento proces je primární a nastává ihned po vystavení ionizujícímu záření. Ionizace je stav, kdy elektron získá energii dostatečnou nejen k přeskočení na vyšší energetickou hladinu, ale dostatečnou i k odtržení se od atomu. Vzniká tak volný záporně nabitý elektron a z atomu se stává kladně nabitý iont. Volný elektron může mít dostatečnou energii k další ionizaci prostředí. (1, 2)
- *Fyzikálně – chemické stádium* – ionizace a excitace naruší chemické vazby mezi atomy, ionty reagují s atomy, dochází k chemickým změnám a k tvorbě volných radikálů. (1, 2)
- *Chemické stádium* – vzniklé ionty a volné radikály reagují s organickými molekulami, jako je DNA, enzymy a proteiny, dochází ke změnám složení a funkce, především k jednoduchým a dvojitým zlomům molekuly DNA a atypickým vazbám. (1, 2)
- *Biologické stádium* – zahrnuje morfologické a funkční změny v celém organismu. Na buněčné úrovni dochází ke změnám v rámci sekund, v rámci celého organismu mohou změny probíhat celé roky – jako pozdní stochastické účinky. Mutace somatických buněk vede k rozvoji rakoviny a mutace reprodukčních buněk k dědičným chorobám potomků. (1, 2)

### 3.2.2 Vztah dávky a biologického účinku

Biologický účinek záření je závislý na velikosti absorbované dávky a s rostoucí dávkou se zvyšuje. Z hlediska vztahu dávky a účinku rozlišujeme dva základní typy účinků – deterministické a stochastické. (1) Vztah mezi dávkou a účinkem je schematicky zobrazen na obrázku 3.2: (4)

- *Deterministické účinky* – vznikají akutně po vysokých dávkách v důsledku poškození buněk po přesáhnutí prahové hodnoty. V diagnostice deterministické účinky nehrozí, protože diagnostické dávky jsou nesrovnatelně nižší. Mezi deterministické účinky se řadí akutní nemoc z ozáření, radiační dermatitida a radiační katarakta. S rostoucí dávkou se zhoršují klinické projevy.
- *Stochastické účinky* – jsou bezprahové a mohou vznikat i při nízkých dávkách. Se zvyšující dávkou se zvyšuje pravděpodobnost vzniku stochastických účinků. Vznikají poškozením genetické informace. Zcela bezpečná není žádná dávka. (1)



Obrázek 3.2: Grafické vyjádření stochastických (a) a deterministických účinků (b) (4)

Na obrázku 3.2 je možné vidět, že u stochastických účinků (a) se zobrazuje lineární vztah mezi dávkou a účinkem. Vyšší dávka úměrně zvyšuje pravděpodobnost vzniku pozdních změn.

Deterministické účinky (b) mají práh, od kterého lze odhadovat možné následky ozáření. S vyšší dávkou roste intenzita projevů ozáření. Zobrazuje se esovitou křivkou, která zohledňuje funkční rezervu buněk. Efekt poklesu buněk je totiž znatelný až po překročení prahu. (1, 3)



### 3.3 VELIČINY DOZIMETRIE A RADIAČNÍ OCHRANY

Veličiny a jednotky v oblasti ionizujícího záření představují důležitý nástroj pro kvantifikaci záření, především pokud jde o jejich biologické účinky, tak i co se týká jeho měření a monitorování, které v radiační ochraně mají zásadní význam. Zde je důležité rozlišovat mezi dozimetrickými veličinami, které mají čistě fyzikální povahu, a veličinami, které byly zavedeny pro potřeby radiační ochrany. (8)

Veličiny radiační ochrany jsou obvykle definovány jako součin fyzikální (dozimetrické) veličiny a veličin (váhových faktorů), které berou v úvahu biologickou odezvu živé tkáně nebo orgánu, jsou tedy biofyzikální. neboť umožňují kvantifikovat určité biologické účinky na základě zohlednění všech nejdůležitějších vlastností ionizujícího záření, jako je druh a energie záření, způsob ozáření a radiosenzitivitu nejdůležitějších tkání a orgánů. (8)

#### 3.3.1 Veličiny dozimetrie ionizujícího záření

Mezi veličiny dozimetrie ionizujícího záření se řadí šest veličin. Obecně se u ionizujícího záření stanovuje absorbovaná dávka a dávkový příkon. Pro nepřímo ionizující záření se využívá kerma a kermový příkon a pro záření gama a X ve vzduchu expozice a expoziční příkon. U dávky a kermu se při udávání výsledku měření či výpočtu specifikuje nejen veličina a jednotka, ale i druh záření a absorbátor. (1, 8)

#### *Absorbovaná dávka $D$*

$$D = \frac{d_\varepsilon}{dm} \quad (\text{Gy})$$

kde:  $d_\varepsilon$  – střední energie ionizujícího záření (J);

$dm$  – hmotnost objemového elementu (kg).

Absorbovaná dávka je definována jako podíl střední energie  $d_\varepsilon$  ionizujícího záření sdělené v objemovém elementu dávky o hmotnosti  $d_m$  a hmotnosti tohoto elementu. Tato veličina sloužící k posouzení biologických účinků záření se nedá přímo měřit. (1, 8)

Je základem k výpočtu veličin radiační ochrany. Nebere v potaz biologický účinek různých druhů záření. Jednotka se nazývá gray (Gy) s rozměrem  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . (1, 8)

Absorbovaná dávka 1 Gy odpovídá absorpci energie 1 J absorbované v 1 kg hmotnosti ozářené látky. Je to bodová veličina a musí být uvedeno prostředí, ve kterém byla měřena – např. v měkké tkáni, ve vzduchu. (1, 8)

### ***Dávkový příkon $\dot{D}$***

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1})$$

kde:  $dD$  – přírůstek absorbované dávky (Gy);  
 $dt$  – časový interval (s).

Dávkový příkon je definován jako poměr přírůstku absorbované dávky  $d_D$  za časový interval  $d_t$  změna dávky za jednotku času. Vyjadřuje okamžitou situaci. Jednotkou je  $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$ . Společně s dávkou se používá k hodnocení přímo ionizujícího záření. Pro zhodnocení nepřímo ionizujícího záření se používá veličina kerma a expozice. (1, 8, 11)

### ***Kerma $K$***

$$K = \frac{dE_k}{dm} \quad (\text{Gy})$$

kde:  $dE_k$  – kinetická energie ionizujícího záření (J);  
 $dm$  – hmotnost objemového elementu (kg).

Kerma je součet počátečních kinetických energií všech nabitých částic uvolněných nenabitými ionizujícími částicemi v určitém objemu látky o hmotnosti  $d_m$ . Tato bodová veličina charakterizuje působení nepřímo ionizujícího záření, tedy fotonového, tj. záření gama a neutronů, a to z hlediska předávání energie primárních nenabitých částic částicím nabitým v jakémkoliv prostředí. Využívá se v metrologii. Jednotkou je 1 Gy. (1, 8)

### ***Kermový příkon $K$***

$$K = \frac{dK}{dt} \quad (\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1})$$

kde:  $dK$  – přírůstek kermy (Gy);

$dt$  – časový interval (s).

Kermový příkon je přírůstek kermy za časový interval. Udává se v  $\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$ . (8)

### ***Expozice $X$***

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (\text{C} \cdot \text{kg}^{-1})$$

kde:  $dQ$  – celkový elektrický náboj (C);

$dm$  – hmotnost objemového elementu (kg).

Expozice je bodová veličina definovaná výhradně pro fotonové záření ve vzduchu, a to poměrem celkového elektrického náboje iontů jednoho znaménka vzniklých ve vzduchu při úplném zabrzdění všech elektronů a pozitronů, které byly uvolněny fotony v objemovém elementu vzduchu o hmotnosti  $dm$ . Jednotkou je  $\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$ . (1, 8)

Expozice se používá k popisu ionizačních účinků fotonového záření – rentgenového a gama záření. Dnes se využívá prakticky jen v etalonáži ionizujícího záření a používá se místo ní spíše kerma (dávka) ve vzduchu nebo tkáni. Přírůstek expozice za časový interval se nazývá expoziční příkon. (1, 8)

### **3.3.2 Veličiny používané v ochraně před ionizujícím zářením**

Biologický účinek ionizujícího záření závisí nejen na absorbované dávce, ale také na druhu ionizujícího záření. Poměr dávek záření potřebných u dvou druhů záření k vyvolání téhož stupně biologického účinku se nazývá relativní biologická účinnost (RBÚ). Efektivní dávka, ekvivalentní dávka a další níže uvedené neměřitelné veličiny jsou stanoveny k posouzení účinku různých druhů ionizujícího záření. (3, 8)

Měřitelné veličiny neboli operační, jsou tři – prostorový dávkový ekvivalent  $H^*(d)$ , směrový dávkový ekvivalent  $H'(d, \Omega)$  a osobní dávkový ekvivalent  $H_p(d)$ . Tyto veličiny jsou používány k limitování v radiační ochraně. (1, 8)

### ***Dávkový ekvivalent $H$***

$$H = D \cdot Q \quad (\text{Sv})$$

kde:  $D$  – absorbovaná dávka (J);

$Q$  – jakostní součinitel.

Dávkový ekvivalent  $H$  je součin dávky  $D$  v uvažovaném bodě tkáně a jakostního činitele  $Q$ . Na dávkovém ekvivalentu jsou založeny operační veličiny pro praktické měření jak při monitorování osob, tak i prostředí. Jakostní činitel vyjadřuje rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření, pro rentgenové záření, záření gama a elektrony je roven 1. Jeho hodnoty jsou funkcí lineárního přenosu energie  $L$ . Jednotkou je sievert (Sv) s rozměrem  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ . (1, 8)

### ***Osobní dávkový ekvivalent $H_p$***

Osobní dávkový ekvivalent je určen k monitorování osob a měření probíhá za pomoci osobního dozimetru. Je to dávkový ekvivalent v bodě pod povrchem těla v hloubce měkké tkáně  $d$ . Využívá se pro limitování, pro hodnocení efektivní dávky v hloubce 10 mm a pro hodnocení dávky na kůži, ruce a nohy osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07 mm. Hloubka 3 mm je navržena pro vzácný případ monitorování dávky na oční čočku. (1, 8)

### ***Prostorový dávkový ekvivalent $H^*(d)$***

Prostorový dávkový ekvivalent je určen k monitorování prostředí v daném bodě. Měření je realizováno v odpovídajícím rozšířeném a usměrněném poli v ICRU kouli v hloubce ( $d$ ) 10 mm. (1, 8)

Prostorový dávkový ekvivalent se používá k odhadu efektivní dávky, kterou pracovník obdrží v místě, kde se provádí měření pomocí vhodného monitoru kalibrovaného v mSv, neboť se jedná o nízké ozáření v oblasti stochastických biologických účinků. (1, 8)

### ***Ekvivalentní dávka $H_T$***

$$H_T = \sum(w_r \cdot D_{TR}) \quad (\text{Sv})$$

kde:  $w_r$  – příslušný radiační váhový faktor;

$D_{TR}$  – střední absorbovaná dávka záření ve tkáni nebo orgánu (Gy).

Ekvivalentní dávka je stanovena pro celé tělo a používá se ke stanovení deterministických účinků. Biologický účinek ionizujícího záření závisí nejen na absorbované dávce, ale i na jeho druhu. Je to součet součinů střední absorbované dávky orgánu či zasažené tkáně a radiačního váhového faktoru, který závisí na druhu a energii dopadajícího záření a vyjadřuje relativní biologickou účinnost jednotlivých typů záření vzhledem k fotonovému záření. Příspěvky od jednotlivých druhů záření se sčítají. Jednotkou je sievert (Sv). (1, 8, 11)

Radiační váhový faktor plní stejnou funkci jako jakostní součinitel  $Q$ , ale navíc zohledňuje i další okolnosti ozáření, jako je orientace těla vůči směru záření. Radiační váhový faktor je největší pro neutrony (hlavně středních energií) a částice  $\alpha$  a nejmenší ( $= 1$ ) pro fotony a elektrony. Z toho vyplývá, že biologické účinky záření beta a gama jsou stejné, a pro alfu jsou konkrétně dvacetkrát větší. (1, 3)

### ***Efektivní dávka E***

$$E = \sum(w_T \cdot H_T) \quad (\text{Sv})$$

kde:  $w_T$  – příslušný tkáňový váhový faktor;

$H_T$  – ekvivalentní dávka (Sv).

Efektivní dávka se používá pro limitování dávek, k hodnocení stochastických účinků, ale také k plánování a optimalizaci radiační ochrany a jako důkaz nepřekročení dávkových limitů. Je to součet ekvivalentních dávek v jednotlivých tkáních či orgánech vážených tkáňovým váhovým faktorem  $w_T$ , jež vyjadřuje rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání. Jednotkou je sievert. (1, 8)

Součet všech váhových faktorů příslušných jednotlivým orgánům a tkáním je roven 1,0. Jinými slovy, tkáňové váhové faktory vyjadřují podíl jednotlivých orgánů a tkání na celkovém riziku stochastických poškození při celotělovém ozáření. Zásadní výhodou efektivní dávky je možnost vyjádřit (při nerovnoměrném ozáření) radiační zátěž těla jediným číslem; značně nerovnoměrné ozáření těla pacienta je typické pro všechna lékařská vyšetření pomocí ionizujícího záření i pro expozici profesionální. (1, 3, 8)

Největší  $w_T$  je pro gonády (= 0,20) a dále 0,12 pro červenou kostní dřeň, tlusté střevo, plíce a žaludek. Nejmenší (= 0,01) je pro kosti a kůži. Dohromady dá vše 1 = 100 %. (1, 3, 8)

### ***Kolaterální dávka S***

Kolektivní dávka je součtem efektivních, případně ekvivalentních dávek všech jedinců určité skupiny. Jednotkou je sievert a ke zdůraznění, že se jedná o dávku kolektivní, se někdy používá jednotka man-Sv. (3)

### 3.4 OCHRANA PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM

Základním legislativním souborem pro práci s ionizujícím zářením je zákon č. 263/2016 Sb., zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon). Zákon č. 263/2016 Sb. stanovuje nejobecnější pravidla pro práci se zdroji ionizujícího záření, především pro radiační ochranu – vyloučení deterministických účinků a omezení stochastických účinků na minimum, dále principy práce s IZ – zdůvodnění činností (riziko, profit), optimalizace (ozáření lidí, náklady na zmenšení ozáření), limitování (přírodní zdroje, lékařské expozice...). Účelem je provést vyšetření při co nejnižší dávce, ale s co největší kvalitou umožňující stanovení diagnózy. (3, 6, 12, 13)

K ochraně proti rozptýlenému záření se uplatňují následující tři způsoby ochrany: (3, 6, 13, 14)

- *ochrana vzdáleností* – dávka klesá se čtvercem (druhou mocninou) vzdálenosti, s rostoucí vzdáleností od ZIZ ubývá počet dopadajících částic, tím dochází ke snížení obdržené dávky;
- *ochrana časem* – dávka je přímo úměrná době ozáření, je nutné zkrátit dobu expozice na co nejkratší;
- *ochrana stíněním* – záření se stíní ochrannými pomůckami z vhodného absorbujícího materiálu, stínit se musí radiosenzitivní orgány a tkáně, hlavně gonády a ovaria, jsou-li blízko primárního svazku a nejsou-li oblastí zájmu.

#### 3.4.1 Principy a cíle radiační ochrany

Cílem radiační ochrany je usměrňovat expozici ionizujícího záření tak, aby se zabránilo deterministickým účinkům a snížilo se riziko stochastických účinků na rozumnou míru. (2)

Principy radiační ochrany: (2, 6, 14)

- Princip zdůvodnění – vystavení ionizujícímu záření musí být zdůvodněné porovnáním veškerých přínosů, ztrát a nákladů. Přínosy musejí vyvážit škodlivé účinky IZ.

- Princip optimalizace ochrany – snížit na co nejnižší úroveň velikost individuálních dávek, zakládá se na principu ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Dávky záření mají být tak nízké, jak je rozumně dosažitelné.
- Princip aplikace dávkových limitů – celková dávka jedince při plánovaných expozicích nemá překročit stanovené limity. Ty se týkají jak zdravotnického personálu, tak i obecné populace. Výjimkou je lékařské ozáření, které nepodléhá limitům.
  - Princip zajištění zdroje – musí se zabránit možnému zneužití radioaktivních zářičů neoprávněnými osobami. A to především díky preventivním bezpečnostním opatřením.

### 3.4.2 Kategorizace pracovníků

Radiační pracovníci jsou vystaveni profesnímu ozáření. podle možné míry zdravotního rizika spojeného s ozářením se dělí na pracovníky kategorie A nebo B. Při zařazování pracovníků do kategorií je určující očekávané ozáření pracovníka za běžného provozu a potenciální ozáření pracovníka. (20, 22)

Kontrolované pásmo je všude tam kde efektivní dávka může překročit 6mSv/rok nebo kde ekvivalentní dávka může překročit 3/10limitu pro pracovníky. Je to jednoznačně určená část pracoviště, která je zajištěna proti vstupu nepovolaných osob, označená znakem radiačního nebezpečí a monitorovaná. Mohou zde pracovat pouze pracovníci kategorie A. (6, 20, 22)

Sledované pásmo je všude tam kde efektivní dávka může překročit 1mSv/rok nebo kde ekvivalentní dávka může překročit 1/10 limitu pro pracovníky. Je to jednoznačně určená část pracoviště, označená (bez znaku radiačního nebezpečí) a monitorovaná. V tomto pásmu pracují pracovníci kategorie B. (6, 20, 22)

Pracovník kategorie A pracuje a pohybuje se v kontrolovaném pásmu, který obsluhuje ZIZ. Může obdržet efektivní dávku větší než 6mSv/rok a ekvivalentní dávku přesahující 3/10 limitu pro ční čočku, končetiny a kůži. Stanovují se monitorovací úrovně a postupy při jejich překročení. Zajištěno osobní monitorování pracovníka pomocí osobního dozimetru. Dozimetry se pravidelné mění vyhodnocují 1x za měsíc. (20, 22)



K okamžitému vyhodnocení a výměně osobního dozimetru dochází při podezření na neplánované ozáření. Pracovníkovi se poskytují výsledky o jeho osobního monitorování. Vstupní/výstupní lékařskou prohlídku, periodickou lékařskou prohlídku (1x ročně), mimořádnou lékařskou prohlídku (při překročení některého z limitů). (20, 22)

Pracovník kategorie B jsou ostatní pracovníci, mohou pracovat nebo pobývat v kontrolovaném pásmu. Nesmí dojít k překročení Efektivní dávky nad 1mSv/rok a ekvivalentní dávky pro oční čočku, končetiny, kůži 1/10 limitu. Pracovníci jsou monitorováni pomocí osobního dozimetru 1x za 3 měsíce. Osobní dozimetr je umístěn na retenčním místě (přední levá strana hrudníku). (20, 22) Do této kategorie také spadá i pracovník mamografického pracoviště.

### 3.5 MAMOGRAFICKÉ SCREENINGOVÉ VYŠETŘENÍ

Mamografické screeningové vyšetření slouží ke zjištění nádorového onemocnění prsu u žen, které doposud nemají žádné známky nebo příznaky onemocnění. (15, 16) Vyšetření se provádí u žen nad 45 let jednou za dva roky. V České republice se provádí v akreditovaných mamografických centrech od roku 2002. Tato věková skupina žen má toto vyšetření plně hrazené z veřejného zdravotního pojištění. Do screeningového programu se mohou zapojit i ženy od 40 let a také ženy starší nad 69 let, pokud se tak rozhodnou. Účast na screeningovém programu je dobrovolná. Karcinom prsu je jedním z nejčastějších nádorových onemocnění u žen, z tohoto důvodu je nutné ho včas odhalit a zároveň nezpůsobit zbytečnou radiační zátěž. (3, 17, 27)

Při mamografickém vyšetření se používají fotonů s nízkou energií, které umožňují zachytit malé rozdíly v absorbování rentgenového záření v prsní tkáni. (3, 17)

#### 3.5.1 Screeningové mamografické vyšetření

V praxi je nutné odlišit screening a diagnostiku. Ve screeningu, který spadá do tzv. sekundární prevence, se vyhledávají karcinomy většinou v počátečním stadiu. Jsou vyšetřovány ženy bez příznaků onemocnění prsu od 40 let jednou za dva roky. Screeningová metoda musí být proto jednoduchá, relativně levná, rychlá, vhodná pro opakovaná vyšetřování velkého množství žen, dostupná, spolehlivá, bez podstatných nežádoucích účinků a pro ženy přijatelná. (3, 17)

Při diagnostickém vyšetření jsou vyšetřovány ženy, které již mají příznaky onemocnění prsu a také ženy, u nichž byla při screeningovém mamografickém vyšetření zjištěna abnormalita, která vyžaduje další vyšetření k potvrzení či vyloučení malignity. (17)

Ve světě existují v zásadě dva modely do vyšetřování abnormalit zjištěných ve screeningu. V tom prvním pracoviště provádějí jen screeningová vyšetření a ženy s abnormalitou jsou posílány na jiné pracoviště k do vyšetření – screening a do vyšetření jsou odděleny. V druhém modelu jsou screening a do vyšetření na jednom místě. Česká republika preferuje způsob, při kterém jsou screening a kompletní do vyšetření na jednom místě. (17)

Je to systém přívětivější ke klientkám a rychlejší ve stanovení závěrečné diagnózy. Vyžaduje však hlubší znalosti a zkušenosti radiologů, a to nejen v hodnocení mamogramů, ale také v sonografii a intervenčních výkonech. (17)

### ***Screeningové metody***

Přímá digitální mamografie, při které se standardně provádějí dvě projekce pro každý prs, projekce kraniokaudální (CC) a mediolaterární šikmá (MLO). Druhou alternativou je digitální tomosyntéza (DTB), která je v podstatě 3D modifikace digitální mamografie. Pro DTB se využívají 2D syntetizované obrazy, které se porovnávají s minulými mamogramy z DM. Standardem u DTB jsou dvě projekce, někteří však doporučují ke zkrácení času a snížení dávky provést vyšetření jen v šikmé projekci. (17)

### ***Mamografický přístroj***

Vlastní přístroj je tvořen rentgenkou, anodou, kompresní deskou, proti rozptylovou mřížkou, Buckyho clona, receptorem obrazu a automatikou (automatic exposure control, AEC). Rentgenka použitá při mamografických vyšetření se odlišuje od rentgenek používaných CT či skiagrafičeských metod. Má dvě ohniska větší používané pro běžné snímkování a menší pro doplňující snímky se zvětšením. Mamografické rentgenky mají i jiná produkovaná rentgenová spektra a energie mezi 20 a 40 kV. Pro získání spektra s vhodnou energií pro zobrazení malých, tukových, velkých i denzních prsů je třeba použít vhodný materiál anody (klasicky Mo či Rh, nově u digitálních systémů W) v kombinaci s filtry (Mo či Rh, u moderních spíše Ag, Rh nebo Al). Filtry potlačují fotony, které nejsou žádoucí pro tvorbu obrazu (s nižší a vyšší energií). (17)

Buckyho clona je pohyblivá sekundární clona, která pohlcuje podstatnou část rozptýlených paprsků. Současně také pohlcuje část užitečného záření, z tohoto důvodu je nutné navýšit její intenzitu, pro vytvoření kvalitního obrazu, tím se zvyšuje dávka pacientovy. (3, 18)

Rentgenový svazek vycházející z rentgenky prochází ještě tzv. beryliovým okénkem, které odfiltruje fotony s velmi nízkými energiemi, dále jde přes kompresní desku, stlačený prs, proti rozptylovou mřížku a dopadá na detektor. Expoziční automatika (AEC) je poslední část zařízení, která ukončuje rtg expozici tehdy, dopadne-li na receptor obrazu dostatečné množství záření. U mamografie je AEC obvykle součástí detektoru (flat panelu). (17)

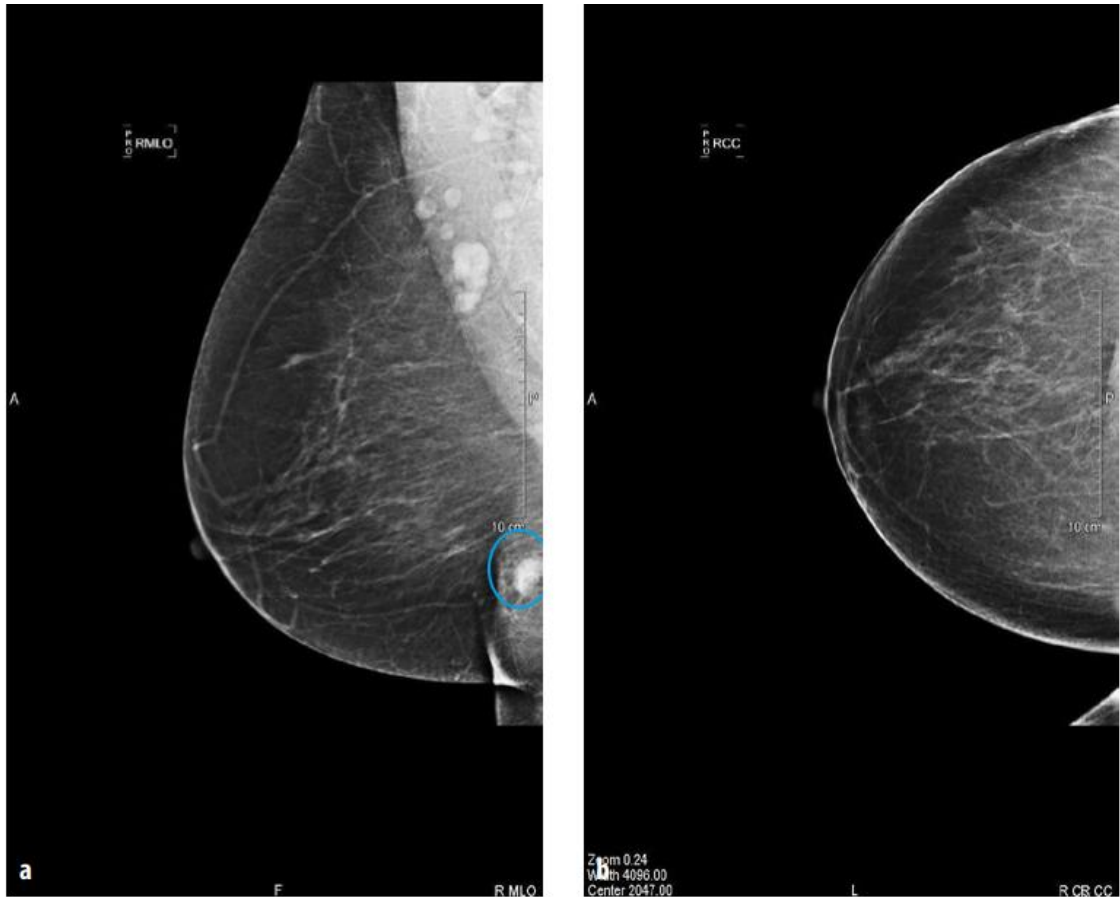
### ***Provedení vyšetření***

Radiologická asistentka provede vyšetření a radiologický lékař, specializovaný v mamární diagnostice, snímky hodnotí. (17)

Standardní screeningová mamografie zahrnuje pro každý prs 2 snímky ve dvou projekcích – projekce mediolaterální šikmá (MLO) a kraniokaudální (shora dolů, CC). Pouze šikmé projekce zachytí co největší část prsu, a to včetně axily. Celkem jsou provedeny 4 snímky u jedné klientky. (17)

Při diagnostické mamografii, kdy se vyšetřují pacientky s příznaky onemocnění prsu či se podrobněji zkoumají abnormality, se často doplňují další projekce – spot compression, snímky cílené na určité místo nebo magnification snímky se zvětšením. Prs se při snímkování komprimuje mezi kompresní desku a podložní desku s detektorem. Pro různé velikosti prsů se volí různé kompresní desky, díky tomu lze prakticky vyšetřit všechny typy prsů (velké i malé, včetně prsu mužského). Jedinou výjimku tvoří extrémně velká prsa, pro které je detektor obrazu příliš malý, z tohoto důvodu je nutné prs snímkovat několikrát. (17)

Při provádění vyšetření v různých projekcích a polohování prsu jsou nutné nejen znalosti, ale také zkušenosti radiologických asistentek, především nezachycení karcinomu, kvůli špatnému polohování prsu nebo nedojde k zachycení dané oblasti. (17)



*Obrázek 3.5: Zachycení karcinomu v inframamární rýze na mamogramu při kvalitně provedené MLO projekci (a), V CC projekci se stín tumoru neobjevil (b) (17)*

### ***Komprese***

Správnost vyšetření také ovlivňuje dostatečná komprese prsu. Silnou kompresí docílíme zmenšení tloušťky prsu (prozařovaného objemu), čímž se také omezí dávka, dojde k menší sumaci tkání a zvýší se kontrast snímku. Zároveň komprese zamezí pohyb prsu během expozice a eliminují se pohybové artefakty. (17)

### 3.5.2 Radiační zátěž při mamografickém vyšetření

U mamografického vyšetření je radiační zátěž poměrně nízká a přínos z vyšetření, včetně screeningového vyšetření, převažuje nad újmou. (17)

Štítná žláza při mamografickém vyšetření získá pouze malou dávku. Nedoporučuje se její stínění (ochranný límec) z důvodu zhoršení polohování pacientky během provedení mamografie a může negativně ovlivnit výslednou kvalitu snímku. (17)

Společně v souladu s principem optimalizace, není hlavním cílem dosáhnout co nejmenší dávky, ale provést vyšetření s tak nízkou dávkou, která je rozumně dosažitelná (princip ALARA – as low as reasonably achievable). (17) „Součástí optimalizace je i zavedení, využívání a také pravidelná aktualizace diagnostických referenčních úrovní. Jsou to úrovně dávek při různých tloušťkách prsu při vyšetření na daném přístroji za standardních podmínek. Při překračování se prošetřují příčiny vyšších dávek a zavádějí nápravná opatření.“ (17)

Typická efektivní dávka při mamografickém vyšetření se pohybuje okolo 0,4 mSv. Během jednoho mamografického snímku, při které pacientka do prsa, obdrží střední dávku v rozmezí od 1,35 – 1,98 mGy efektivní dávku okolo 0,1 mSv, pro porovnání tato dávka je podobná té, kterou obdržíme přibližně během 10 dní z přírodního pozadí. (17)

## 4 METODIKA

Sběr dat pro praktickou část bakalářské práce byl realizován na akreditovaném screeningovém mamografickém pracovišti EUC Kliniky Kladno s.r.o., v březnu 2022. V daném časovém období bylo evidováno 1217 screeningových mamografických vyšetření splňující parametry pro bakalářskou práci. Celkem v tomto období bylo provedeno 1655 všech mamografických vyšetření. Údaje o jednotlivých mamografických vyšetření byla získána z DICOM 3.

Na akreditovaném screeningovém mamografickém pracovišti je používán přístroj Planmed Clarity 2D z roku 2017 od výrobce Planmed OY. Tento mamografický přístroj umožňuje provádět screeningové mamografické vyšetření, diagnostické mamografické vyšetření, speciální mamografické projekce či stereotakticky intervenční výkon Součástí mamografického přístroje je obličejový štít zabraňující, nechtěnému pohybu hlavy klientky do primárního svazku rentgenového záření. Přístroj je ergonomický a šetrný k prsní tkáni. Příznivé uživatelské rozhraní pro radiologického asistenta, duální dotyková obrazovka, ergonomické uspořádání prvků ovládací jednotky. Přístroj indikuje kompresi prsní tkáně, potřebné napětí a elektrické množství se volí automaticky na základě tloušťky prsní tkáně při kompresi. Vzdálenost mezi ohniskem a receptorem je 65 cm. Přístroj má již flat panel detektor s amorfním křemíkem. (1, 4, 5)

Rozsah napětí se u přístroje pohybuje od 23 kV až po 35 kV. Zdrojem vysokého napětí tohoto mamografického přístroje je vysokofrekvenční generátor. Pro přídatnou filtraci jsou použity materiály rhodium a stříbro. (1)

Data nasbírána pro praktickou část bakalářské práce byla rozdělena na data, která splňovala požadované tloušťky komprimovaného prsu dle zadání bakalářské práce: Zároveň byly sbírána data, která byla porovnávána s místními diagnostickými referenčními úrovněmi, tak se zkouškou dlouhodobé stability.

Data, která byla shromážděna pro zpracování bakalářské práce:

- Tloušťka komprimovaného prsu:
  - 2,1 cm;
  - 3,2 cm;
  - 4,3 – 4,7 cm;
  - 5,1 – 5,5 cm;
  - 5,8 – 6,2 cm;
  - 7,3 – 7,8 cm;
  - 8,5 – 9,5 cm;
- Potřebné parametry, pro porovnání s místními diagnostickými úrovněmi a zkouškami dlouhodobé stability:
  - elektrické napětí – kV;
  - anoda;
  - filtr;
  - elektrické množství – mAs;
  - kompresní síla – N;
  - glandulární dávka – mGy.

Z celkového počtu 1655 mamografických vyšetření bylo ke statistickému zpracování vybráno 1217 screeningových mamografických vyšetření. Byly vyřazeny snímky od žen s implantáty, z diagnostického vyšetření prsu, cílené snímky a snímky mužů. Také snímky se zvětšením prsní tkáně do práce nebyly zařazeny, protože statistické měření v této práci se zaměřuje pouze na screeningové mamografické vyšetření splňující potřebné parametry.

Získaná data byla zpracována a zanesena do tabulek a grafů. Data byla následně porovnána s hodnotami ze zkoušek dlouhodobé stability a místními diagnostickými úrovněmi, zda pracoviště splňuje limity, popřípadě o kolik se vychyluje oproti normám.

Glandulární dávka je (střední dávka v mléčné žláze) průměrná absorbovaná dávka při kraniokaudální projekci. Tato veličina nejlépe vyjadřuje radiační riziko, které se pojí s mamografickým vyšetřením. Je vypočítávána z expozičních záznamů. Hodnoty pro stanovení glandulární dávky jsou: elektrického napětí (kV), elektrického množství (mAs), tloušťka komprimovaného prsu (mm), materiál ohniska anody (Mo, Rh, W) a filtru (Mo, Rh, Ag, Al). Během opakování snímků je nutné, aby tyto parametry byly zaznamenány. Veškeré údaje, včetně vstupní a výstupní dávky, jsou již v dnešní době automaticky zaznamenávány, vypočteny a uloženy jako součást ke každému snímku. Jednotkou je gray (Gy). (1, 2, 3)



$$D_g = K_i \cdot g \cdot s \cdot c$$

kde:

$K_i$  – kerma

$g$  – konverzní faktor

$s$  – spektrum

$c$  – korekční faktor (glandularita)

Výpočet glandulární dávky získáme vynásobením dopadající kermy, konverzního faktoru  $g$ , jenž převádějí dopadající kermu na střední dávku v mléčné žláze, korekčního faktoru na složení prsu  $c$  a korekčního faktoru na spektrum rentgenky  $s$ . (1, 2, 3)

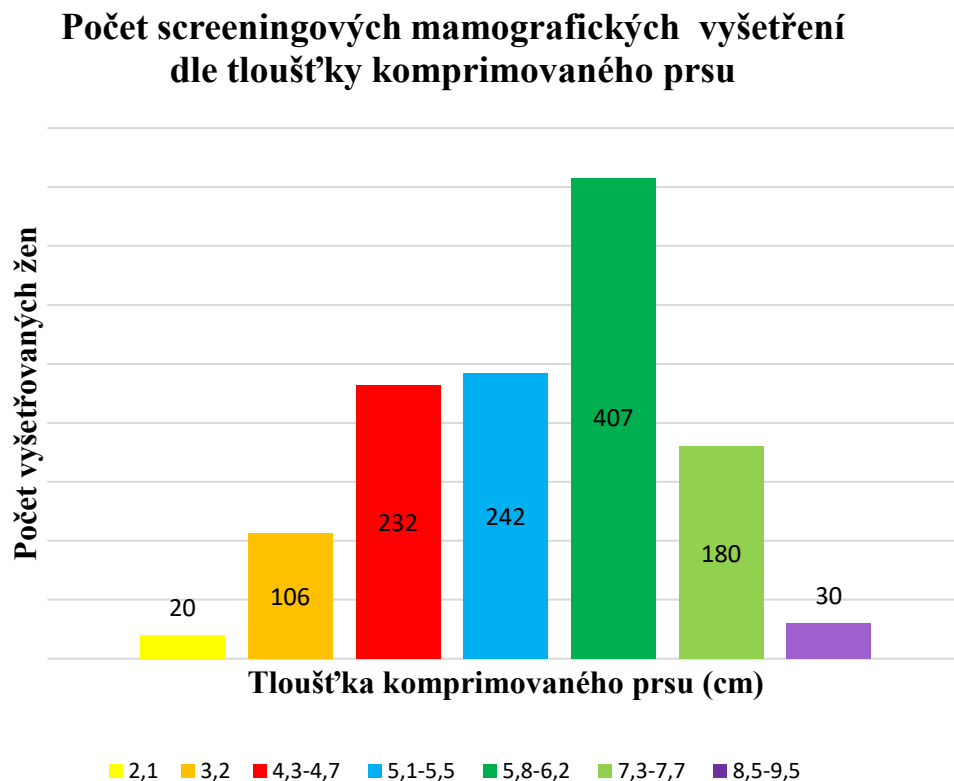
## 5 VÝSLEDKY PRÁCE

Na akreditovaném screeningovém mamografickém pracovišti bylo ve sledovaném období provedeno celkem 1217 screeningových mamografických vyšetření, viz tabulka 5.1 a obrázek 5.1.

*Tabulka 5.1: Celkový počet screeningových mamografických vyšetření za časové období březen 2022*

<b>Celkový počet screeningových mamografických vyšetření za časové období březen 2022</b>	
<b>Tloušťka komprimovaného prsu (cm)</b>	<b>Počet</b>
2,1	20
3,2	106
4,3 – 4,7	232
5,1 – 5,5	242
5,8 – 6,2	407
7,3 – 7,7	180
8,5 – 9,5	30
<b>Suma</b>	<b>1217</b>

Obrázek 5.1 zobrazuje celkový počet screeningových mamografických vyšetření dle tloušťky komprimovaného prsu, která byla provedena na akreditovaném screeningovém mamografickém pracovišti EUC Kliniky Kladno s.r.o.



*Obrázek 5.1: Počet screeningových mamografických vyšetření dle tloušťky komprimovaného prsu*

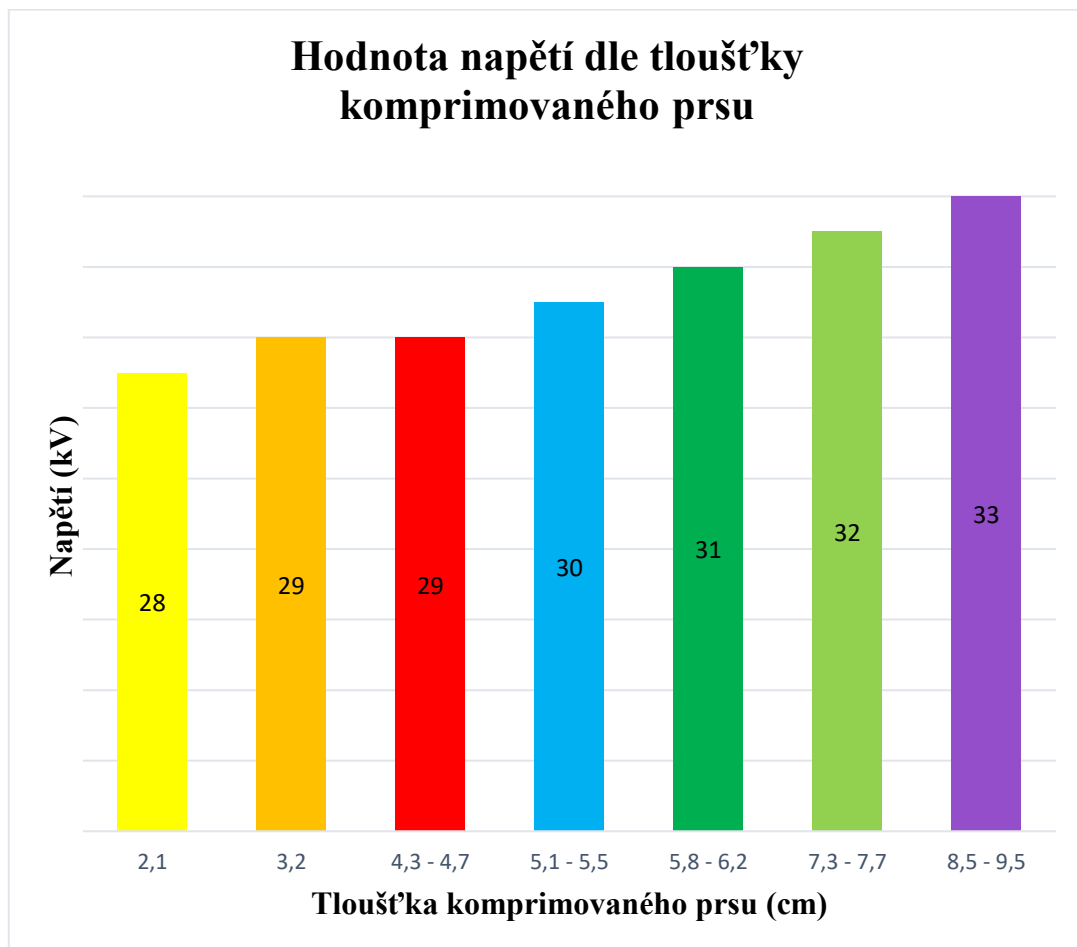
Jak již bylo zmíněno ve sledovaném období, bylo provedeno 1217 screeningových mamografických vyšetření. Z obrázku a tabulky 5.1 vyplívá, že nejvíce byla zastoupená tloušťka 5,8 – 6,2 cm v celkovém počtu 407 screeningových mamografických vyšetření. S druhým největším zastoupením byla tloušťka 5,1 – 5,5 cm s celkovým počtem 242 screeningových mamografických vyšetření, dále následovala tloušťka 4,3 – 4,7 cm s počtem 232 mamografických screeningových vyšetření. V tloušťce 7,3 – 7,7 cm bylo provedeno 180 screeningových mamografických vyšetření. Nejmenší zastoupení byla tloušťka 2,1 cm s počtem 20 mamografických screeningových vyšetření, více byla zastoupena tloušťka 8,5 – 9,5 cm o počtu 30 mamografických screeningových vyšetření a poslední tloušťka 3,2 cm byla zastoupena v 106 screeningových mamografických vyšetření.

V tabulce 5.2 je uveden souhrn dat pro screeningové mamografické vyšetření dle stanovených tloušťek komprimovaného prsu. Mezi tyto data patří napětí, elektrické množství, materiál anody a filtru a v neposlední řadě použita kompresní síla při dané projekci. Data byla získána od 1217 žen, které podstoupily screeningové mamografické vyšetření, a jejich tloušťka prsu spadala do stanovených parametrů. Sběr dat byl vždy z obou kraniokaudálních projekcí, tudíž bylo podrobně zpracováno 2 434 snímků. Data byla následně graficky znázorněna na obrázku č. 5.2, č. 5.3, č. 5.4 a č. 5.5. Následně tyto data byla porovnána jednak s hodnotami místních diagnostických referenčních úrovní, tak s hodnotami ze zkoušky dlouhodobé stability.

*Tabulka 5.2: Souhrn dat ze screeningových mamografických vyšetření, která splňovala tloušťku komprimovaného prsu pro stanovení místních diagnostických retenčních úrovní*

<b>Tloušťka komprimovaného prsu (cm)</b>	<b>Elektrické napětí (kV)</b>	<b>Anoda</b>	<b>Filtr</b>	<b>Elektrické množství (mAs)</b>	<b>Kompresní síla (N)</b>	<b>Glandulární dávka (mGy)</b>
2,1	28	W	Rh	43,3	75	0,76
3,2	29	W	Rh	56,9	72	0,95
4,3 – 4,7	29	W	Rh	76,5	72	1,19
5,1 – 5,5	30	W	Rh (263)	69,6	75	1,14
			Ag (221)			
5,8 – 6,2	31	W	Ag	74,7	75	1,41
7,3 – 7,7	32	W	Ag	92	73	1,74
8,5 – 9,5	33	W	Ag	105,2	75	2,09
<b>Průměr</b>	30,3	W	Rh/Ag	74,0	73,9	1,33

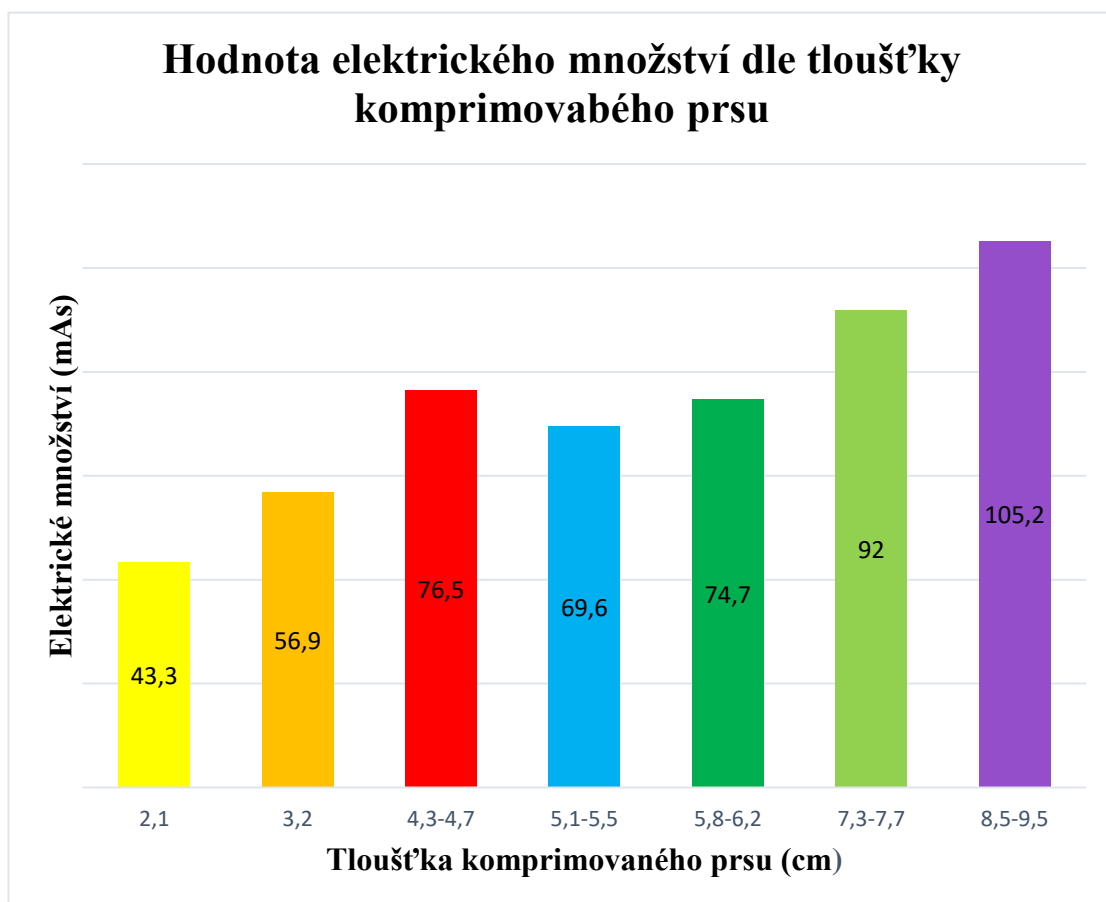
Obrázek 5.2 znázorňuje hodnoty elektrického napětí dle tloušťky komprimovaného prsu.



*Obrázek 5.2: Hodnota elektrického napětí dle tloušťky komprimovaného prsu*

Z obrázku 5.2 a tabulky 5.2 vyplývá, že se vzrůstající tloušťkou vzrůstá hodnota elektrického napětí. V tloušťce 2,1 cm byla nejvíce zaznamenána hodnota 28 kV. V tloušťce 3,2 cm a rozmezí 4,3 – 4,7 cm byla hodnota 29 kV. V rozmezí tloušťky 5,1 – 5,5 cm bylo zaznamenáno nejčastěji napětí 30 kV. Napětí 31 kV bylo zaznamenáno v rozmezí 5,8 – 6,2 cm. V rozmezí tloušťky 7,3 – 7,7 cm bylo zaznamenáno elektrické napětí o 32 kV. V poslední tloušťce 8,5 – 9,5 cm bylo zaznamenáno napětí o 33 kV.

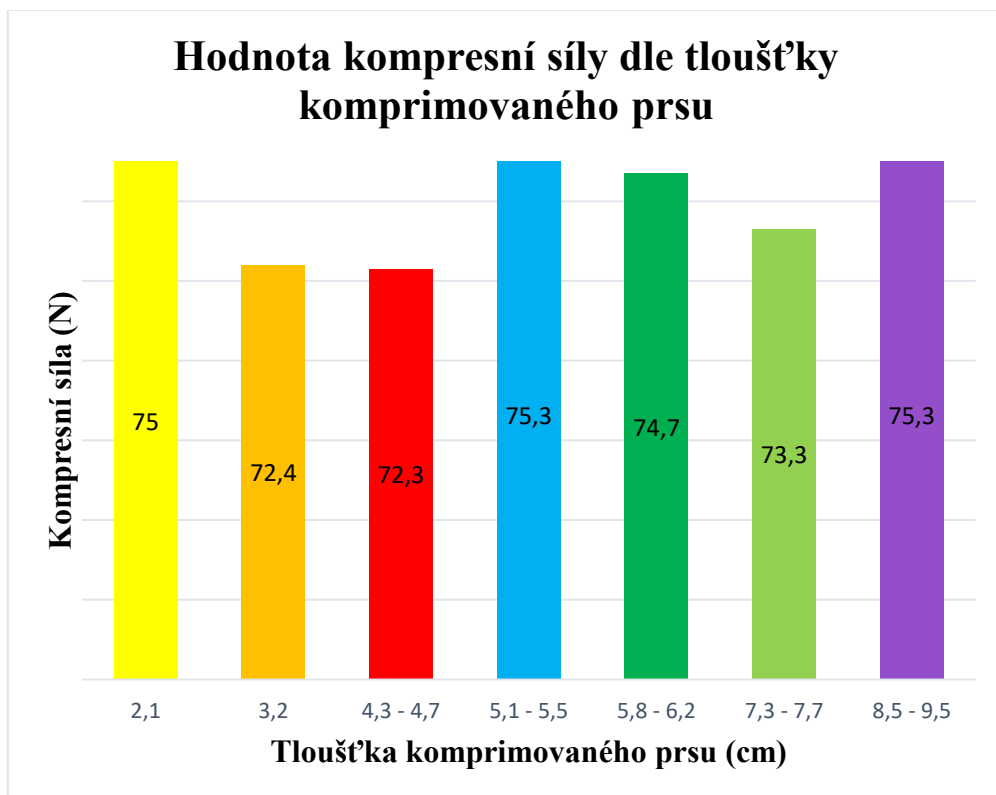
Obrázek 5.3 znázorňuje hodnoty elektrického množství dle tloušťky komprimovaného prsu.



*Obrázek 5.3: Hodnota elektrického množství dle tloušťky komprimovaného prsu*

Z obrázku 5.3 a tabulky 5.2 vyplývá, že v tloušťce komprimovaného prsu v rozmezí 5,1 – 5,5 cm dochází ke změně filtru, proto je patrný pokles elektrického množství v této tloušťce.

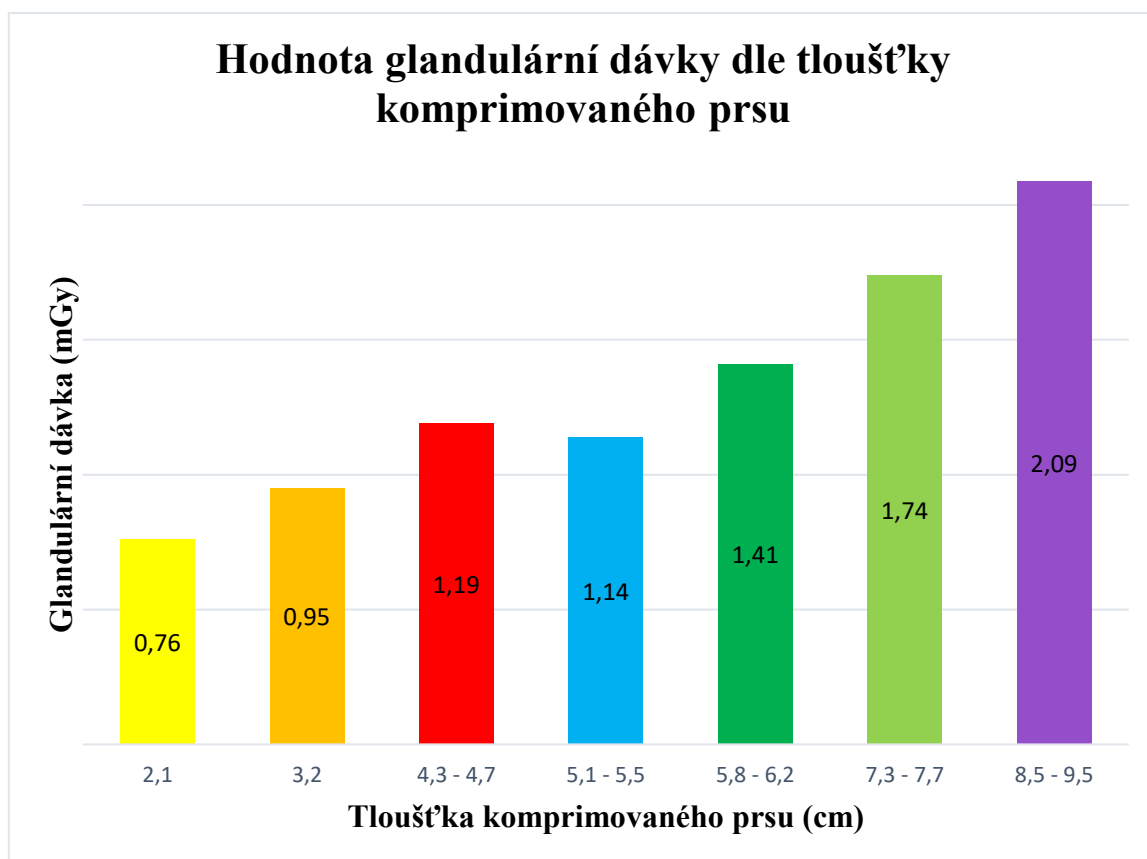
Na obrázku 5.4 jsou zobrazeny hodnoty kompresní síly dle tloušťky komprimovaného prsu.



Obrázek 5.4: Hodnota kompresní síly dle tloušťky komprimovaného prsu

Z obrázku č. 5.4 vyplývá, že průměrná kompresní síla se ve sledovaném období pohybovala v rozmezí od 72,3 N do 75,3 N. Komprese prsu je velice individuální záležitostí každé klientky. Mamografické vyšetření patří mezi vyšetření, která nejsou příjemná, proto je důležité klientkám vysvětlit důvod dostatečné komprese.

Na obrázku 5.5 jsou zobrazeny hodnoty glandulární dávky dle tloušťky komprimovaného prsu



Obrázek 5.5: Hodnota glandulární dávky dle tloušťky komprimovaného prsu

Z obrázku 5.5 vyplývá, že se zvyšující se tloušťkou komprimovaného prsu, se zvyšují hodnoty glandulární dávky. Z obrázku rovněž vyplývá, že nejnižší hodnotu glandulární dávky má tloušťka 2,1 cm a nejvyšší odpovídá tloušťce v rozmezí 8,5 – 9,5 cm.



V tabulce 5.3 jsou uvedeny místní diagnostické referenční úrovně akreditovaného screeningového mamografického pracoviště. Tyto údaje zpracoval radiologický fyzik z hodnot, které mu byly poskytnuty akreditovaným screeningovým mamografickým pracovištěm a jsou v souladu s národními diagnostickými referenčními úrovněmi. Hodnoty jsou sumarizovány dle stanové tloušťky z obou kraniokaudálních projekcí pravého i levého prsu. Pro stanovení místních diagnostických referenčních úrovní k těmto tloušťkám jsou k dispozici údaje o elektrickém napětí, elektrickém množství, použité anodě a filtru. Dále se uvádí použitá komprese a hodnota glandulární dávky v mGy.

*Tabulka 5.3: Místní diagnostické referenční úrovně pro rok 2022 (19, 20)*

<b>Místní diagnostické referenční úrovně pro rok 2022</b>			
<b>Tloušťka komprimovaného prsu (cm)</b>	<b>MDRÚ D<sub>G</sub> (mGy)</b>	<b>Doporučení D<sub>G</sub> (mGy)</b>	<b>Požadavek D<sub>G</sub> (mGy)</b>
1,9 – 2,3	0,90	<0,8	<2,1
3 – 3,4	1,10	<1,0	<1,5
4,3 – 4,7	1,60	<1,6	<2,0
5,1 – 5,5	1,50	<2,0	<2,5
5,8 – 6,2	1,50	<2,4	<3,0
7,3 – 7,7	2,00	<3,6	<4,5
8,5 – 9,5	2,50	<5,1	<6,5

V tabulce 5.4 jsou hodnoty ze zkoušky dlouhodobé stability měřené jednou ročně na mamografickém pracovišti. Pro jednotlivé tloušťky komprimovaného prsu se zaznamenávají hodnoty elektrického napětí, elektrického množství, materiálu filtru a anody a glandulární dávka. Tato indikovaná hodnota je porovnávána s daty ze screeningových mamografických vyšetření, která splňovala podmínky pro stanovení místních diagnostických referenčních úrovní.

*Tabulka 5.4: Hodnoty ze zkoušky dlouhodobé stability na akreditovaném mamografickém pracovišti (19)*

<b>Hodnoty ze zkoušek dlouhodobé stability</b>					
<b>PMMA fantom (cm)</b>	<b>Elektrické napětí (kV)</b>	<b>Elektrické množství (mAs)</b>	<b>Anoda/ Filtr</b>	<b>DG (mGy)</b>	<b>Indikovaná hodnota DG (mGy)</b>
2	27	30,3	W/Rh	0,65	0,52
3	29	41,6	W/Rh	0,89	0,73
4	30	65,1	W/Rh	1,28	1,09
4,5	30	64,5	W/Ag	1,2	1,07
5	31	71,2	W/Ag	1,39	1,24
6	33	88,1	W/Ag	1,83	1,74
7	34	122,1	W/Ag	2,45	2,42
<b>Průměr</b>	30,6	69,0	/	1,38	1,26

V tabulce č. 5.5 jsou porovnávány nasbírané hodnoty glandulární dávky s hodnotami místních diagnostických retenčních úrovní a s hodnotami ze zkoušky dlouhodobé stability. Výsledkem sběru dat bylo určení průměrné glandulární dávky mamografického přístroje za sledované období. Při porovnávání dat s místními diagnostickými referenčními úrovněmi (MDRÚ) byly hodnoty průměrné glandulární dávky z mamografického přístroje nižší v průměru o 0,29 mGy. Všechny hodnoty splňují limity se značnou rezervou.

*Tabulka 5.5: Hodnoty glandulárních dávek pro jednotlivé stanovené tloušťky komprimovaného prsu (19, 20)*

<b>Tloušťka komprimovaného prsu (cm)</b>	<b>Průměrná glandulární dávka z mamografického přístroje (mGy)</b>	<b>MDRÚ (mGy)</b>	<b>Glandulární dávka ze zkoušky dlouhodobé stability (mGy)</b>	<b>NDRÚ dle Vyhlášky č. 422/2016</b>
2,1	0,76	0,90	0,65	1,1
3,2	0,95	1,10	0,89	1,3
4,3 - 4,7	1,19	1,60	1,28	1,6
5,1 - 5,5	1,14	1,50	1,2	1,8
5,8 - 6,2	1,41	1,50	1,39	2,1
7,3 - 7,7	1,74	2,00	1,83	2,5
8,5 - 9,5	2,09	2,50	2,45	3

Dalším cílem praktické části bakalářské práce bylo uvést, jak vypadá radiační ochrana u klientek, které podstupují mamografické vyšetření, tak i radiologických asistentů, kteří toto vyšetření provádějí.

Bezpečnost a spolehlivost mamografického přístroje je zajištěna přijímací zkouškou, zkouškami dlouhodobé stability a zkouškami provozní stálosti.

Přijímací zkouška (dle § 26 vyhlášky č. 422/2016 Sb.) se provádí po nainstalování zdroje ionizujícího záření před zahájením provozu. Dokument o provedené zkoušce se ponechává po celou dobu, kdy je přístroj používán. Zkouška zahrnuje vizuální kontrolu celistvosti a neporušenosti zdroje ionizujícího záření. Ověření funkčnosti ovládacích, signalizačních, bezpečnostních, indikačních a zobrazovacích mechanismů a systémů. Měření neúčinného záření v okolí generátoru záření nebo jeho odhad. Při přijímací zkoušce se stanoví rozsah a četnost měření a ověřování vlastností rentgenového přístroje v rámci zkoušek provozní stálosti a stanovit rozsah zkoušek dlouhodobé stability zdroje záření. Zkoušku může provádět pouze osoba nebo firma s povolením od SÚJB. (20, 21)

Zkouška dlouhodobé stability (dle § 28 vyhlášky č. 422/2016 Sb.) musí zahrnovat vizuální kontrolu celistvosti a neporušenosti zdroje ionizujícího záření, musí se provádět pravidelně s četností nejméně jednou za dobu 12 měsíců v případě významného zdroje ionizujícího záření určeného pro lékařské ozáření v radiodiagnostice nebo intervenční radiologii. Zkouška se také ještě provádí při každém důvodném podezření na nesprávnou funkci zdroje ionizujícího záření nebo jeho příslušenství, které má vliv na radiační ochranu. Zkoušky se také opakují, pokud výsledky zkoušek provozní stálosti naznačují nebo poukazují na nesprávnou funkci zdroje ionizujícího záření nebo jeho příslušenství, které má vliv na radiační ochranu. Opakuje se také po údržbě, opravě nebo jiném servisním zásahu, který je důležitý z hlediska radiační ochrany a mohl by významně ovlivnit vlastnosti zdroje ionizujícího záření, které má vliv na radiační ochranu. Opakování zkoušky následuje i po odstranění závady zjištěné při zkoušce dlouhodobé stability. Zkoušku může provádět pouze osoba nebo firma s povolením od SÚJB. Dokument o provedení zkoušky dlouhodobé stability se uchovává nejméně 3 roky. Přístroj, který má propadlou ZDS, nesmí být v provozu. (20, 21)

Zkouška provozní stálosti (§ 31 §32 vyhlášky č. 422/2016 Sb.) slouží k ověření charakteristických provozních parametrů a vlastností ZIZ a jeho příslušenství. Provádí se pravidelně, při každém důvodném podezření na nesprávnou funkci ZIZ nebo jeho příslušenství (změna zobrazení, změna geometrie, kolimace svazku záření), po údržbě, po výměně příslušenství ZIZ, opravě nebo jiném servisním zásahu. DO (dohlížející osoba) musí při stanovení rozsahu a četnosti zkoušek zohlednit stav ZIZ a jeho příslušenství, běžné způsoby použití a provozu ZIZ. Dále musí specifikovat rozsah, frekvenci a metodiku ZPS do závazné, posuzované dokumentace. Výrobce determinuje rozsah a četnost zkoušek, které jsou uvedené v rozhodnutí o schválení typu ZIZ, v protokolu o přijímací zkoušce a zkoušce dlouhodobé stability. Zkoušku provozní stálosti můžou provádět radiologický asistent, který v klinické praxi ZIZ používá, radiologický technik a radiologický fyzik. (20, 21)

Radiační ochrana pracovníků se zdroji IZ se vztahuje na zdravotnický personál, který provádí výkony s použitím zdrojů IZ, nejčastěji s použitím RTG záření. Tato skupina zdravotnického personálu zahrnuje především radiologické asistenty, ale i radiology, kardiology a další lékařské i nelékařské profese pracující s ionizujícím zářením. Předpokladem pro práci s IZ je znalost radiační ochrany a kompetence pro práci s ionizujícím zářením získaná odpovídajícím vzděláním a zaškolením na konkrétním pracovišti. (14)

Způsoby radiační ochrany také závisí na konkrétním druhu vyšetření či zákroku. Důležitým faktorem je, že snížením radiační dávky u pacientů docílíme také snížení dávky pro zdravotnický personál. Zásadou RO pro zdravotnický personál je skutečnost, že vyšetřující nikdy nesmí být zasažen přímým svazkem RTG záření. K ozáření zdravotníků ovšem ojediněle může docházet, a to například při provádění intervenčního či chirurgického zákroku, kdy lékař vkládá ruce do primárního svazku RTG. Avšak při mamografickém vyšetření k tomu není důvod. (14)

RO pracovníků má především za cíl omezit působení sekundárního rozptýleného záření. Toto záření vzniká v objektech (včetně pacienta) ozářených primárním svazkem RTG paprsků a šíří se všemi směry. Mezi tři základní způsoby ochrany před rentgenovým, potažmo ionizujícím zářením obecně, patří ochrana stíněním, časem a vzdáleností. (14)

Ochranu stíněním zabezpečuje na mamografickém pracovišti ochranný štít, který je již součástí ovládacího panelu mamografu. Štít je vyroben z olovnatého skla s vlastnostmi ekvivalentu olova o tloušťce 0,5 mm.

Ochranou časem se rozumí zpustit svazek záření jen v momentě, kdy je pacientka i prs v optimální poloze a nastavení.

Ochrana vzdáleností znamená, že radiační pracovník zaujímá při aktivní funkci přístroje největší možnou vzdálenost od zdroje záření (viz. kapitola 3.4)

Mezi další zásady ochrany radiačních pracovníků před ionizujícím zářením patří také monitorování pracovníků pomocí osobních dozimetrů a stanovení limitů ozáření pro zdravotnický personál (viz. kapitola 3.4.2). (14)

Na mamografickém pracovišti dozimetr není vyžadován. Radiologové zde pracují pouze ve sledovaném pásmu.

V tabulce 5.6 je uveden přehled limitů ozáření určený pro radiační pracovníky.

*Tabulka 5.6: Přehled limitů ozáření pro radiační pracovníky (20)*

<b>Limity pro radiační pracovníky</b>	
<b>Veličiny</b>	<b>Limity pro radiační pracovníky (mSv)</b>
Efektivní dávka za rok	20
Efektivní dávka za 5 po sobě následujících let	100
Ekvivalentní dávka v oční čočce za rok	50
Průměrná ekvivalentní dávka v 1 cm <sup>2</sup> kůže za rok	500

Radiační ochrana u pacientek je zajištěna především technickým vybavením akreditovaných pracovišť, kde jsou screeningová vyšetření prováděna. Použití moderních mamografických přístrojů zaručuje minimalizaci dávek záření. Akreditovaná pracoviště pracují v souladu s jasnými předpisy, které dodržují celosvětově stanovené normy. Proto prospěch ze screeningového vyšetření mnohonásobně převyšuje nebezpečí dávky rentgenového záření v průběhu snímkování. (24, 26)

Pacientka při screeningové mamografii obdrží efektivní dávku záření 0,1 mSv. Tato dávka záření je srovnatelná s radiací, kterou žena obdrží z přírodních zdrojů (tzv. přírodního pozadí) za dobu 10 dní. (24, 26)

Screeningové vyšetření se standartně doporučuje provádět u žen nad 45 let a to každé 2 roky. U mladších žen se prevence rakoviny prsu realizuje selfmonitoringem prsní tkáně a přednostně se spíše volí sonografické vyšetření. V případě podezřelého nálezu v prsu u ženy ve fertilním věku, i s možným předpokladem možného těhotenství, lze vyšetření provádět s vykrytím pánve ochrannými pomůckami. Ve většině mamografických center by ale měly být k dispozici ochranné zástěrky proti ozáření vaječníků. (24, 26)

Ve spojitosti se screeningovým mamografickým vyšetřením se některé ženy domnívají, že způsobuje nádorové onemocnění štítné žlázy. Dle měření a výpočtů je toto nebezpečí nehrozí. Štítná žláza není v primárním svazku záření, dostává pouze zanedbatelnou část sekundárního záření. Stínění štítné žlázy může naopak omezovat nastavení vhodné pozice pro vyšetření a taktéž může tvořit artefakty v obraze. Současně může nepříznivě ovlivnit řízení expoziční automatiky, která navolí jiné expoziční parametry v důsledku přítomnosti tohoto stínění. Tím dochází ke ztrátě kontrastu v obraze. Ze všech těchto důvodů pak může vyplynout nutnost expozici opakovat, což je velmi nevýhodné z hlediska další radiační zátěže pacientek. Používání ochranného límce není vyžadováno ani doporučováno. (23, 24, 25)



V tabulce 5.7 jsou uvedeny pro názornost obecné limity pro obyvatelstvo.

*Tabulka 5.7: Obecné limity pro obyvatelstvo (20)*

<b>Obecné limity pro obyvatele</b>	
<b>Veličiny</b>	<b>Obecné limity pro obyvatele (mSv)</b>
Efektivní dávka za rok	1
Ekvivalentní dávka v oční čočce za rok	15
Průměrná ekvivalentní dávka v 1 cm <sup>2</sup> kůže za rok	60

## 6 DISKUZE

V současné době jedním z nejzávažnějších epidemiologických problémů v České republice je karcinom prsu. Každý rok je v ČR odhaleno více než 7000 nových případů tohoto onemocnění. Na 100 000 žen připadne více než 130 klientek s diagnostikovaným karcinomem prsu, na jeho následky každý rok zemře přibližně 1600 žen. (28)

V České republice je od roku 2002 plně dostupný celonárodní, organizovaný a kontrolovaný program prevence karcinomů prsu s názvem Screening nádoru prsu. Tento program mohou využít ženy bezplatně od 45 let. vyšetření se provádí na mamografu, a proto se používá název mamografický screening. Nádorové onemocnění prsní tkáně je zachycováno díky programu již v raném stadiu a léčba je proto úspěšnější. Také se podařila výrazně snížit úmrtnost na karcinom prsu. Od začátku programu klesla o 24 %. (28)

V České republice jsou realizována screeningová mamografická vyšetření na akreditovaných screeningových mamografických pracovištích nebo centrech. V současné době je v našem státě k dispozici 68 akreditovaných pracovišť a jedním z těchto akreditovaných screeningových mamografických pracovišť je EUC Klinika Kladno s.r.o. Zde probíhal sběr dat pro bakalářskou práci, která se zabývala radiační ochranou při mamografickém vyšetření.

Data byla shromažďována za časové období měsíce března 2022. Během tohoto období bylo na akreditovaném screeningovém mamografickém pracovišti je EUC Klinika Kladno s.r.o. provedeno celkem 1655 mamografických vyšetření. Z konečného počtu 1655 mamografických vyšetření splňovalo předem stanovená kritéria 1217 screeningových mamografických vyšetření. Z původního počtu bylo vyřazeno 438 vyšetření, z důvodu, že nespádaly do screeningového mamografického vyšetření, byly jimi snímky diagnostické, cílené, se zvětšením, či snímky mužské prsní žlázy. Tloušťku komprimovaného prsu v kraniokaudální projekci 2,1; 3,2; 4,3 – 4,7; 5,1 – 5,5; 5,8 – 6,2; 7,3 – 7,7; 8,5 – 9,5cm splňoval počet 1217 screeningových mamografických vyšetření. Byly dále zaznamenávány následující parametry: elektrické napětí (kV), elektrické množství (mAs), anoda (W), filtr (Rh, Ag), dále byla zaznamenávaná kompresní síla (N) a v neposlední řadě glandulární dávka získaná z mamografického přístroje (mGy).

V průběhu sledovaného období měsíce března 2022 bylo provedeno 1217 screeningových mamografických vyšetření, které splňovaly kritéria tloušťky komprimovaného prsu pro stanovení místních diagnostických referenčních úrovní na akreditovaném screeningovém mamografickém pracovišti EUC Kliniky Kladno s.r.o.

Z tohoto počtu screeningových mamografických vyšetření byla nejvíce zastoupena tloušťka komprimovaného prsu 5,8 – 6,2 cm s počtem 407 vyšetření, následovala tloušťka 5,1 – 5,5 cm o počtu 242 vyšetření, dále byla více zastoupena i tloušťka 4,3 – 4,7 cm o počtu 232 vyšetření. Nejméně zastoupená tloušťka byla 2,1 cm s počtem 20 vyšetření, následovala tloušťka 8,5 – 9,5 cm s počtem 30 vyšetření. Dále v tloušťce 3,2 cm bylo provedeno 106 vyšetření a v tloušťce 7,3 – 7,7 cm bylo provedeno 180 vyšetření.

Zkoušky dlouhodobé stability jsou na akreditovaném pracovišti prováděny jednou do roka osobou se zvláštním povolením od Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Zkoušky stability byly brány jako výchozí a byly porovnávány s naměřenými jednotlivými glandulárními dávkami ze stanovených tlouštěk komprimovaného prsu. Dosažené výsledky byly vztaženy k současným místním diagnostickým referenčním úrovním akreditovaného screeningového mamografického pracoviště EUC Kliniky Kladno s.r.o. a také porovnány s národními diagnostickými referenčními úrovněmi. Zjištěné hodnoty naměřené hodnoty na mamografickém přístroji jsou nižší, než národní i místní diagnostické referenční úrovně. Z výsledku tedy vyplývá, že mamografický přístroj odpovídá požadavkům pro provádění mamografického screeningu. Bezpečnost radiologických pracovníka je více než dostatečná a zátěž pro klientky je minimální. Screeningové mamografické vyšetření je bezpečné, efektivní a nepostradatelné při diagnostice a při včasném odhalení karcinomu prsu. Ze získaných hodnot plyne, že přínos ze screeningového mamografického vyšetření dalece převyšuje nevýhody a případná rizika pro klientky.

## 7 ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na radiační ochranu klientek tak i radiologických asistentů pro akreditované mamografické screeningové pracoviště EUC Kliniky Kladno s.r.o. během měsíce března 2022. Pro ověření bezpečnosti jak pracovníků, tak i klientek bylo nutné sumarizovat data o glandulární dávce ze screeningových mamografických vyšetření.

Získané hodnoty byly zpracovány do tabulek a grafů, následně byly porovnány s hodnotami ze zkoušek dlouhodobé stability a s místními diagnostickými referenčními úrovněmi. Hodnoty glandulární dávky jsou nižší, než národní diagnostické referenční úrovně i místní diagnostické referenční úrovně. Hodnoty tedy plně vyhovují národním diagnostickým referenčním úrovním. Požadavky na akreditované screeningové mamografické pracoviště jsou také dodrženy.

V práci byly zmapovány principy radiační ochrany u radiologických asistentů. Během realizace praktické části bylo ověřeno, že radiologičtí pracovníci dodržují bezpečnostní zásady, a proto nikdy nemohou dostat do přímého svazku záření. Radiační zátěž na radiologického pracovníka, provádějícího mamografické vyšetření, je minimální.

Z hodnoty glandulární dávky vyplývá, že zatížení klientek je nižší než hodnoty místních a národních diagnostických referenčních úrovní, tudíž je bezpečnost plně dodržena. Zadání bakalářské práce bylo splněno a cíle práce se podařilo naplnit.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

DNA	Deoxyribonukleová kyselina
CC	kraniokaudální projekce
MLO	mediolaterární projekce
DTB	digitální tomosyntéza
DM	digitální mamografie
AEC	automatic exposure control/ expoziční automatika
CT	computer tomography/ počítačová tomografie
MDRÚ	místní diagnostické referenční úrovně
NDRÚ	národní diagnostické referenční úrovně
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
ZDS	zkoušky dlouhodobé stability
ZIZ	zdroj ionizujícího záření
ZPS	zkoušky provozní stálosti
DO	dohlížející osoba
IZ	ionizující záření
RO	radiační ochrana

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) PODZIMEK, František. *Radiologická fyzika – Aplikace ionizujícího záření*. 1. Praha: ČVUT Praha, 2021. ISBN 978-80-0106-829-8.
- (2) ROSINA, Jozef, Jana VRÁNOVÁ a Hana KOLÁŘOVÁ. *Biofyzika: Pro zdravotnické a biomedicínské obory, 2., doplněné vydání*. 2. Česká republika: Grada Publishing, 2021. ISBN 978-80-271-2526-5.
- (3) DRUGDOVÁ, Irena. *Radiační zátěž při screeningovém mamografickém vyšetření*. Kladno, 2016. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ v Praze, FAKULTA BIOMEDICÍMSKÉHO INŽENÝRSTVÍ, Katedra zdravotních oborů a ochrany obyvatelstva. Vedoucí práce Mgr. Žaneta Honová, MBA.
- (4) NOVÁKOVÁ, Kateřina. *OPTIMALIZACE RADIAČNÍ OCHRANY NA CT*. Olomouc, 2012. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta Zdravotních Věd. Vedoucí práce doc. MUDr. Jaroslav Vomáčka, Ph.D., MBA.
- (5) Rentgenové záření. *Encyklopedie fyziky* [online]. Česká republika: Creative Commons Attribution-Noncommercial-No Derivative Works 3.0., c2006-2022 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/540-rentgenove-zareni>
- (6) SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost [online]. Česká republika: Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB), c2011-2022 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/>
- (7) Rentgenové záření. *Skupina ČEZ* [online]. Česká republika: ČEZ, 2022 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/obr/krivka.gif>
- (8) Radiobiologie. *Radiobiologie* [online]. Česká republika: sirdig, c2004-2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>
- (9) Ionizing radiation, health effects and protective measures. *World Health Organization* [online]. Switzerland: WHO, c2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>
- (10) Rizikové faktory: Ionizující záření. *Znalostní systém prevence rizik v BOZP* [online]. Česká republika: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, c2016-2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/rizikove-faktory/136-fyzikalni-faktory/ionizace-ovzdusi/228-ionizujici-zareni>

- (11) Základní pojmy. *Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.* [online]. Česká republika: Plon, c2000-2022 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/zakladni-pojmy>
- (12) 263/2016 Sb. Zákon atomový zákon. *Zákony pro lidi* [online]. Česká republika: AION CS, s.r.o., c2010-2022 [cit. 2022-06-02]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>
- (13) Radiační ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření v nukleární medicíně. *AstroNuklFyzika* [online]. Česká republika: Vojtěch Ullmann, c2011-2022 [cit. 2022-06-02]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/RadOchrana.htm>
- (14) HEJNA, David. *Radiační ochrana pacientů a pracovníků se zdroji ionizujícího záření*. Brno, 2021. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita – Lékařská fakulta. Vedoucí práce Bc. Petr Vítek.
- (15) Mammograms. *National cancer institute* [online]. USA: National Institutes of Health, September 30, 2021 [cit. 2022-06-24]. Dostupné z: <https://www.cancer.gov/types/breast/mammograms-fact-sheet>
- (16) What Is Breast Cancer Screening? *Centers for Disease Control and Prevention* [online]. USA – Atlanta: Division of Cancer Prevention and Control, Centers for Disease Control and Prevention, 2021 [cit. 2022-06-24]. Dostupné z: [https://www.cdc.gov/cancer/breast/basic\\_info/screening.htm](https://www.cdc.gov/cancer/breast/basic_info/screening.htm)
- (17) prof. MUDr. DANEŠ Jan a kolektiv. *SCREENING A DIAGNOSTIKA KARCINOMU PRSU: pro každodenní praxi*. 1. Česká republika: Grada, 2021. ISBN 978-80-271-4557-7.
- (18) Přednášky z lékařské biofyziky Biofyzikální ústav Lékařské fakulty Masarykovy univerzity, Brno. *Masarykova univerzita, Lékařská fakulta* [online]. Brno: Masarykova univerzita, Lékařská fakulta, 2018 [cit. 2022-06-27]. Dostupné z: <https://www.med.muni.cz/biofyz/files/vlzl/lectures/rtg-zobrazeni-18.pdf>
- (19) *Místní diagnostické referenční úrovně pro rok 2022*. EUC Klinika Kladno s.r.o., kreditované mamodiagnostické a screeningové pracoviště 2022. [interní materiál].
- (20) Vyhláška č. 422/2016 Sb. *Zákony pro lidi* [online]. Česká republika: AION CS, c2010-2022 [cit. 2022-08-02]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>

- (21) Druhy zkoušek zdrojů záření, termíny a podmínky jejich provádění. *Informační systém Masarykovy univerzity* [online]. Česká republika: Fakulta informatiky MU, 2020 [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/med/jaro2020/ARADp/ZDS.pdf>
- (22) Ing. Mgr. BUŘIČOVÁ, Pavla. *Radiační ochrana v radioterapii*. Česká republika, 2020.
- (23) ŠENIGL, Ondřej. *Tomosyntéza prsu*. Kladno, 2020. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ v Praze, FAKULTA BIOMEDICÍMSKÉHO INŽENÝRSTVÍ, Katedra zdravotních oborů a ochrany obyvatelstva. Vedoucí práce Mgr. Žaneta Honová, MBA.
- (24) Odborníci: To, že by mamograf zavinil rakovinu štítné žlázy, je nesmysl. *Ordinace.cz* [online]. Česká republika: Pears Health Cyber, c2015-2022 [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: <https://www.ordinace.cz/clanek/odbornici-to-ze-by-mamograf-zavinil-rakovinu-stitne-zlazy-je-nesmysl/>
- (25) Existuje souvislost mezi mamografickým screeningem a rakovinou štítné žlázy?. *Lucie Sukupová* [online]. Česká republika: Lucie Sukupová, c2011-2022 [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/existuje-souvislost-mezi-mamografickym-screeningem-a-rakovinou-stitne-zlazy/#comments>
- (26) Otázky a odpovědi v mamologii. *Nemocnice na Homolce* [online]. Česká republika: Nemocnice Na Homolce, 2017 [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.homolka.cz/nase-oddeleni/11635-diagnosticky-program/11635-radiodiagnosticke-oddeleni-rdg/11780-nase-sluzby/11782-mamografie-a-ultrazvukove-vysetreni-prsu/otazky-a-odpovedi-v-mamografii/>
- (27) Rakovina prsu: screeningový program. *Národní zdravotnický informační portál* [online]. Česká republika: Ministerstvo zdravotnictví ČR a Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, c2022 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1186-rakovina-prsu-screeningovy-program>
- (28) Screening karcinomu prsu. *Zdravotní pojišťovna ministerstva vnitra České republiky* [online]. Česká republika: Zdravotní pojišťovna ministerstva vnitra České republiky, c2020 [cit. 2022-08-07]. Dostupné z: <https://www.zpmvcr.cz/pojistenci/prevence/screeningove-programy/screening-karcinomu-prsu>



## 10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

<b>Obrázek 3.1-</b> Rentgenové záření .....	5
<b>Obrázek 3.2-</b> Grafické vyjádření stochastických (a) a deterministických účinků (b) .....	9
<b>Obrázek 3.5-</b> Zachycení karcinomu v inframamární rýze na mamogramu při kvalitně provedené MLO projekci (a), V CC projekci se stín tumoru neobjevil (b) .....	23
<b>Obrázek 5.1-</b> Počet screeningových mamografických vyšetření dle tloušťky komprimovaného prsu.....	29
<b>Obrázek 5.2-</b> Hodnota elektrického napětí dle tloušťky komprimovaného prsu.....	31
<b>Obrázek 5.3-</b> Hodnota elektrického množství dle tloušťky komprimovaného prsu.....	32
<b>Obrázek 5.4-</b> Hodnota kompresní síly dle tloušťky komprimovaného prsu.....	33
<b>Obrázek 5.5-</b> Hodnota glandulární dávky dle tloušťky komprimovaného prsu.....	34

## 11 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

<b>Tabulka 5.1:</b> Celkový počet screeningových mamografických vyšetření dle tloušťky komprimovaného prsu.....	28
<b>Tabulka 5.2:</b> Souhrn dat ze screeningových mamografických vyšetření, která splňovala tloušťku komprimovaného prsu pro stanovení místních diagnostických retenčních úrovní.....	30
<b>Tabulka 5.3:</b> Místní diagnostické referenční úrovně pro rok 2022.....	35
<b>Tabulka 5.4:</b> Hodnoty ze zkoušky dlouhodobé stability na akreditovaném mamografickém pracovišti.....	36
<b>Tabulka 5.5:</b> Hodnoty glandulárních dávek pro jednotlivé stanovené tloušťky komprimovaného prsu.....	37
<b>Tabulka 5.6:</b> Přehled limitů ozáření pro radiační pracovníky.....	41
<b>Tabulka 5.7:</b> Obecné limity pro obyvatelstvo.....	43