

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021

Barbora Beranová

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

Tloušťka komprese a její vliv na střední dávku v mléčné žláze

Barbora Beranová

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Barbora Beranová**
Osobní číslo: **Z17422**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Téma práce: **Tloušťka komprese a její vliv na střední dávku v mléčné žláze**
Zadávající katedra: **Katedra klinických oborů**

Zásady pro vypracování

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

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. ABRAHÁMOVÁ, Jitka, 2019. *Co byste měli vědět o rakovině prsu*. 2., aktualizované a doplněné vydání. Praha: Grada. 172 s. ISBN 978-802-7120-550.
2. DANEŠ, Jan, 2002. *Základy mamografie: vybrané kapitoly pro lékaře a laborantky*. Praha: X-Egem. 199 s. ISBN 80-719-9062-0.
3. PERRY, N., M. BROEDERS, C. DE WOLF, S. TÖRNBERG, R. HOLLAND a L. VON KARSA, ed, 2013. *European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis: Fourth edition, supplements*. 4. vydání. Belgie: Evropská unie. ISBN 978-92-79-32970-8.
4. SKOVAJSOVÁ, Miroslava, 2012. *Screening nádorů prsu v České republice*. Praha: Maxdorf. Ambulantní gynekologie. 87 s. ISBN 978-80-7345-310-7.
5. SÚKUPOVÁ, Lucie, 2018. *Radiační ochrana při rentgenových očkonech – to nejdůležitější pro praxi*. Praha: Grada Publishing. 280 s. ISBN 978-80-271-0709-4.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Jaroslav Storm**
Katedra klinických oborů

Datum zadání bakalářské práce: **2. prosince 2018**
Termín odevzdání bakalářské práce: **29. dubna 2021**

doc. Ing. Jana Holá, Ph.D. v.r.
děkanka

L.S.

Mgr. Jan Pospíchal, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 8. března 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Práci s názvem Tloušťka komprese a její vliv na střední dávku v mléčné žláze

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

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 28.04.2021

Barbora Beranová v. r.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala panu Mgr. Jaroslavu Stormovi za odborné vedení mojí bakalářské práce, za trpělivost, ochotu, vstřícný přístup a čas vynaložený při konzultacích. Zároveň děkuji pracovníkům Radiologické kliniky ve FN HK za trpělivost při sběru dat k této bakalářské práci.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá tloušťkou komprimovaného prsu. V dané problematice bylo analyzováno, jak tloušťka komprimovaného prsu ovlivňuje: napětí, přídatnou filtraci a střední dávku v mléčné žláze. Práce se dále zabývá mamografií z obecného hlediska, mamografickým screeningem, biologickými účinky ionizujícího záření a souvisejícími veličinami.

KLÍČOVÁ SLOVA

dávka, komprese, mamografie, mléčná žláza, screening

COMPRESSION THICKNESS AND ITS EFFECT ON THE MEAN GLANDULAR DOSE

ANNOTATION

The bachelor thesis is focused on the thickness of the compressed breast. In this thesis, the analysis of how the thickness of the compressed breast affects tension, additional filtration, and the mean dose in the mammary gland, was made. Additionally, this work also deals with mammography in general, mammographic screening, biological effects of ionizing radiation, and related quantities.

KEYWORDS

dose, compression, mammography, mammary gland, screening

OBSAH

Úvod.....	12
1 Cíl práce.....	13
2 Teoretická část	14
2.1 Mamografie	14
2.1.1 Historie.....	14
2.1.2 Konstrukce mamografu.....	17
2.1.2.1 Rentgenka	18
2.1.2.2 Filtrace	18
2.1.2.3 Kolimační clona.....	19
2.1.2.4 Obličejový štít	19
2.1.2.5 Kompresní zařízení.....	19
2.1.2.6 Bucky clona	20
2.1.2.7 Expoziční automatika (AEC, automatic exposure control).....	20
2.1.2.8 Receptory obrazu	21
2.1.3 Principy mamografického zobrazování	22
2.1.4 Ověřování vlastností mamografických přístrojů a jejich příslušenství.....	23
2.1.5 Příprava a postup mamografického vyšetření.....	26
2.2 Mamografický screening.....	29
2.2.1 Přínosy a rizika spojená s mamografickým screeningem.....	30
2.2.2 Mamografický screening v České republice.....	32
2.2.3 Požadavky na screeningové pracoviště.....	33

2.3	Biologické účinky ionizujícího záření	36
2.3.1	Interakce ionizujícího záření s hmotou	36
2.3.2	Interakce ionizujícího záření na úrovni molekul, buněk a tkání	38
2.3.2.1	Interakce ionizujícího záření na úrovni molekul	38
2.3.2.2	Interakce ionizujícího záření na úrovni buněk	38
2.3.2.3	Interakce ionizujícího záření na úrovni tkání	40
2.3.3	Účinky ionizujícího záření na lidský organismus	40
2.4	Vybrané veličiny a jednotky používané v radiační ochraně	43
3	Výzkumná část	45
3.1	Cíl práce	45
3.2	Výzkumné otázky a hypotézy	45
3.3	Metodika výzkumu a zpracování dat	46
3.3.1	Veličiny důležité pro porovnání radiační zátěže vyšetřených žen	46
3.3.1.1	Postup výpočtu dopadající kermy	46
3.3.1.2	Postup výpočtu střední dávky v mléčné žláze	47
3.3.2	Sběr dat	49
3.4	Výsledky výzkumu	52
3.4.1	Výsledky výpočtů střední dávky v mléčné žláze	52
3.4.2	Vliv tloušťky komprimovaných prsů na napětí, přídavnou filtraci a střední dávku v mléčné žláze	53
3.4.3	Tloušťka komprimovaných prsů podle věku žen	56
3.4.4	Vliv tloušťky komprimovaných prsů a věku vyšetřovaných žen na střední dávku v mléčné žláze	58
4	Diskuze	59
5	Závěr	63
6	Použitá literatura	64

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Prototyp mamografu od Charlese Grose (Gold, Bassett and Widoff, 1990, s. 12)	15
Obrázek 2 – Konstrukce mamografického systému (Súkupová, 2018, s. 94).....	17
Obrázek 3 – Projekce kraniokaudální (Daneš, 2002, s. 58).....	27
Obrázek 4 – Mediolaterární projekce (Daneš, 2002, s. 56).....	27
Obrázek 5 – Kraniokaudální a mediolaterární projekce: vlevo normální nález, vpravo tumorózní ložisko (Malíková, 2019, s. 151).....	28
Obrázek 6 – Comptonův rozptyl (Kolektiv autorů, 2019, s. 24).....	36
Obrázek 7 – Fotoefekt (Kolektiv autorů, 2019, s. 24).....	37
Obrázek 8 – Tvorba elektron-pozitronových párů (Kolektiv autorů, 2019, s. 25).....	37
Obrázek 9 – Schéma poškození buňky (Podzimek, 2013, s. 283).....	39
Obrázek 10 – Orgány a tkáně podle tkáňového váhového faktoru (Obrázek podle Vyhlášky č. 422/2016 – příloha č. 2 sestavil autor).....	40
Obrázek 11 – Přehled biologických účinků na lidský organismus (Kolektiv autorů, 2019, s. 38)	41
Obrázek 12 – Porovnání deterministických a stochastických účinků (upraveno dle Kolektiv autorů, 2019, s. 38–40).....	42
Obrázek 13 – Procentuální zastoupení všech zúčastněných žen.....	49
Obrázek 14 – Mamografický přístroj Hologic Lorad Selenia.....	50
Obrázek 15 – Bodový graf závislosti napětí a filtrace na tloušťce komprimovaného prsu.....	53
Obrázek 16 – Krabicové grafy závislosti střední dávky v mléčné žláze D_G na napětí a filtraci	55
Obrázek 17 – Krabicový graf zobrazující tloušťky komprimovaného prsu k věkovým kategoriím.....	57
Obrázek 18 – Bodový graf vývoje střední dávky v mléčné žláze k tloušťce komprimovaného prsu.....	58
Obrázek 20 – Sloupcový graf porovnání NDRÚ a vypočítaných hodnot průměru a mediánu středních dávek v mléčné žláze.....	60

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Konverzní faktory g v závislosti na tloušťce komprimovaného prsu a polotloušťky (Perry et al., 2013, s. 37).....	47
Tabulka 2 – Korekční faktory c pro ženy ve věku 40–49 let v závislosti na tloušťce komprimovaného prsu a polotloušťce (Perry et al., 2013, s. 37).....	48
Tabulka 3 – Korekční faktory c pro ženy ve věku 50–64 let v závislosti na tloušťce komprimovaného prsu a polotloušťce (Perry et al., 2013, s. 37).....	48
Tabulka 4 – Korekční faktory s pro používané kombinace anoda/filtr (Perry et al., 2013, s. 35)	48
Tabulka 5 – Zpracování dat a výpočty střední dávky v mléčné žláze	52
Tabulka 6 – Střední dávky v mléčné žláze, napětí a filtrace pro různé tloušťky komprimovaného prsu.....	54
Tabulka 7 – Hodnoty mediánu, prvního kvartilu a třetího kvartilu střední dávky v mléčné žláze v závislosti na napětí a přídavné filtraci	55
Tabulka 8 – Tloušťky komprimovaného prsu	56
Tabulka 9 – Porovnání hodnot NDRÚ a vypočítaných hodnot středních dávek v mléčné žláze (Tabulka dle Vyhlášky č. 422/2016, přílohy č. 22 a vlastních dat)	60
Tabulka 10 – Porovnání hodnot Evropského doporučení a vypočítaných hodnot středních dávek v mléčné žláze.....	61
Tabulka 11 – Porovnání hodnot studie Poulová a kol. a vypočítaných středních dávek v mléčné žláze	62

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

BRCA	breast cancer / prsní nádor
CC	kraniokaudální projekce
CR	computed radiography / nepřímá digitalizace
D _G	střední dávka v mléčné žláze
DR	direct radiography / přímá digitalizace
FN HK	Fakultní nemocnice Hradec Králové
IZ	ionizující záření
MLO	mediolaterální projekce
NDRÚ	Národní diagnostické referenční úrovně
PACS	picture archiving and communication system
PZ	provozní zkoušky
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
ZDS	zkoušky dlouhodobé stability
ZIZ	zdroj ionizujícího záření
ZPS	zkoušky provozní stálosti

ÚVOD

Karcinom prsu je druhým nejčastějším zhoubným nádorovým onemocněním a představuje druhou nejčastější příčinu smrti u žen (Abrahámová, 2019, s. 31). Incidence karcinomu prsu v rámci celé České republiky rok od roku mírně roste, mortalita naopak klesá. Nejvíce případů pacientek s karcinomem prsu se pohybuje od 60–74 let (Mamo.cz, 2019a).

Mamografický screening je preventivní vyšetření mléčné žlázy, které je určeno pro asymptomatické ženy od 45 let. U mužů tvoří zhoubné nádory prsu 0,15 % ze všech zhoubných nádorů, proto u mužů není screening prsu zaveden. Mamografický screening detekuje až 95 % karcinomů prsu u bezpříznakových žen. Včasná diagnostika karcinomu prsu zlepšuje prognózu ženy, zvyšuje šanci na úplné vyléčení malignity a urychluje návrat do „běžného života“. Ve screeningových plošných programech bylo prokázáno, že mamografický screening snižuje mortalitu způsobenou karcinomem prsu až o 40 % a to s největší výtěžností u žen nad 50 let. Proto je třeba klást na informovanost žen o mamografickém screeningu velký důraz (Abrahámová, 2019, s. 11, 34, 56).

Radiační zátěž související s mamografickým vyšetřením je poměrně nízká, jedná se o střední dávku v mléčné žláze ve výši cca 2,71–3,96 mGy na jedno vyšetření. Tato dávka odpovídá dávce, které je člověk vystaven z přírodního pozadí za 34–50 dní (Poulová a kol., 2013). Radiační zátěž závisí převážně na tom, jak moc je prs komprimován. Čím více je prs komprimován, tím je emitováno nižší množství rozptýleného záření, což se projeví lepším kontrastem obrazu a menší radiační zátěží vyšetřované osoby. Při stlačení se dočasně omezí průtok krve v tkáni, což má za následek hypoxii, která snižuje radiobiologický účinek rentgenového záření. Tento jev nastává vzhledem k nižší citlivosti hypoxických buněk vůči záření (Seidl, 2012, s. 38).

Tloušťka komprimovaného prsu se pohybuje v rozmezí od 2 cm do 11 cm (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2011, s. 40). Doporučená síla komprese je od 80 N do 120 N a závisí na velikosti prsu, podílu prsní žlázy a vnímavosti ženy (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2021, s. 15).

1 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem bakalářské práce je objasnit, zda tloušťka komprimovaného prsu ovlivňuje střední dávku v mléčné žláze.

Dílčím cílem bakalářské práce je seznámit se pomocí dostupné literatury s historií mamografie, mamografickým přístrojem a jeho komponenty, principy mamografického zobrazování, ověřováním vlastností mamografických přístrojů a jejich příslušenství, přípravou a postupy mamografického vyšetření, mamografickým screeningem, biologickými účinky ionizujícího záření a vybranými jednotkami používanými v radiační ochraně.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Mamografie

Mamografie je základní radiodiagnostické vyšetření prsů, které se provádí na speciálním rentgenovém zařízení – mamografu. V současné době existují dva typy mamografických vyšetření. Prvním typem je mamografický screening, který se provádí u zdravých žen od 45 let. Cílem mamografického screeningu je vyloučit nehmotnou lézi (Súkupová, 2018, s. 91). Druhým typem je diagnostická mamografie, která se týká žen s příznaky onemocnění prsu např. hmatný útvar, krvavá sekrece z bradavky, změny bradavky a kůže, známky zánětu prsu apod. Diagnostická mamografie není omezena věkovou hranicí a bývá doplňována i jinými zobrazovacími metodami – ultrazvukem a magnetickou rezonancí (Mamo.cz, 2019a).

České ženy se podle zkušeností různých mamologických center, nebojí tolik rakoviny jako ztráty prsu. Pro ženu jsou prsy atributem ženství, ženské krásy. Většina žen raději odkládá preventivní vyšetření z důvodu, aby se „něco“ nenašlo, a to i v případě, kdy si najdou hmatné ložisko. Bojí se, že nádorové ložisko znamená automaticky ztrátu prsu, což v ženě vyvolává nepřekonatelný strach, který se může stupňovat až ve ztrátu sebevědomí, změny chování, sebelítost, obviňování okolí, odmítání partnera z pocitu vlastní nedokonalosti apod. Proto je velmi zásadní vysvětlit ženě, že nádorové ložisko neznámá automaticky ztrátu prsu a čím dříve se „problém“ zjistí, tím je nález menší a pooperační výsledek může být kosmeticky přijatelnější (Skovajsová, 2003, s. 7).

2.1.1 Historie

Karcinom prsu není nově objevené onemocnění, jeho historie sahá až do doby 3 000 let před Kristem, kde se první zmínka o tomto onemocnění nachází v egyptských papyrech. Tímto onemocněním se zabýval i Hippokrates nebo Galén (Abrahámová, 2019, s. 13).

Od počátku 19. století se postupně prohlubovalo poznání charakteru tohoto onemocnění a snaha o účinnou léčbu (Abrahámová, 2019, s. 13). V roce 1895 bylo objeveno rentgenovo záření a již v následujícím roce bylo použito v lékařství (Patrná, 2008, s. 10).

20. století je ve znamení komplexní všestranné léčby, snahy o časně rozpoznání choroby, snížení úmrtnosti a zlepšení kvality života (Abrahámová, 2019, s. 13). V roce 1913 publikoval německý chirurg Albert Salomon práci určenou patologii a klinice karcinomu prsu. Okolo roku 1930 byly zhotoveny první snímky prsů, Staffordem Warenem v USA, a to na obvyklém

skiagrafickém zařízení při napětí 60 kV a elektrickém množství 70 mAs (Gold, Bassett and Widoff, 1990, s. 2). Kvalita těchto snímků byla neuspokojivá, protože zde byla obsažena velká část hrudní stěny. Na počátku 50. let lékař Raul Leborge použil při snímkování kónický tubus (provedl tím lehkou kompresi prsu), snížil energii záření na 20 kV a zmenšil vzdálenost ohnisko–film na 40 cm (Daneš, 2002, s. 9). Dále popsal polohování prsu při snímkování ve dvou projekcích – kraniokaudální a laterální a upozornil na souvislost mikrokalcifikací s rakovinou prsu. V roce 1960 americký lékař Robert Egan popsal měkkou snímkovací techniku (nízké kV a vysoké mAs) (Patrná, 2008, s. 10). Dále zavedl nové mamografické techniky např. změnu konstrukce generátoru, zavedení tubusu ve tvaru válce, změnil filtraci svazku a vyšetřoval ženy vleže na boku (vyšetřovaný prs byl položen na film, druhý prs si žena rukou odtlačovala tak, aby nezasahoval do snímku) (Daneš, 2002, s. 9–10).

Až doposud se jednalo o úpravy stávajících skiagrafických zařízení. V roce 1965 francouzský lékař Charles Gros vyrobil první prototyp mamografu (obrázek 1), který sloužil pouze pro snímkování prsů. Mamograf měl molybdenovou anodu s ohniskem 0,7 mm, beryliové výstupní okénko (místo skleněného), tubus, který sloužil současně jako kompresní zařízení, vzdálenost ohnisko–film přibližně 35 cm a C rameno, které dovolilo zobrazit prs z různých stran. Mamograf výrazně zdokonalil kvalitu mamografického zobrazení (zlepšení zachycení celého prsu, vzrostl kontrast a ostrost zobrazení jednotlivých struktur) a vznikl samostatný obor – mamografie (Daneš, 2002, s. 9–10).



Obrázek 1 – Prototyp mamografu od Charlese Grose (Gold, Bassett and Widoff, 1990, s. 12)

V dalších letech došlo k: zavedení sekundární clony (1978), ovládní komprese nožním pedálem (1980), zlepšení funkce expoziční automatiky a vysokofrekvenčního generátoru (1980), zavedení rentgenky s mikroohniskem 0,1 mm pro snímky se zvětšením (1981), uvedení rhodiového filtru a rhodiové anody, resp. rhodiového terče – ten snížil dávku u objemných a hutných typů prsů (1992). Již před rokem 1980 byly ručně vyvolávané filmy nahrazovány filmy, které bylo možné zpracovat ve vyvolávacích automatech. Později byly vyvinuty i systémy umožňující vyvolávání filmů bez potřeby temné komory (Daneš, 2002, s. 9–10).

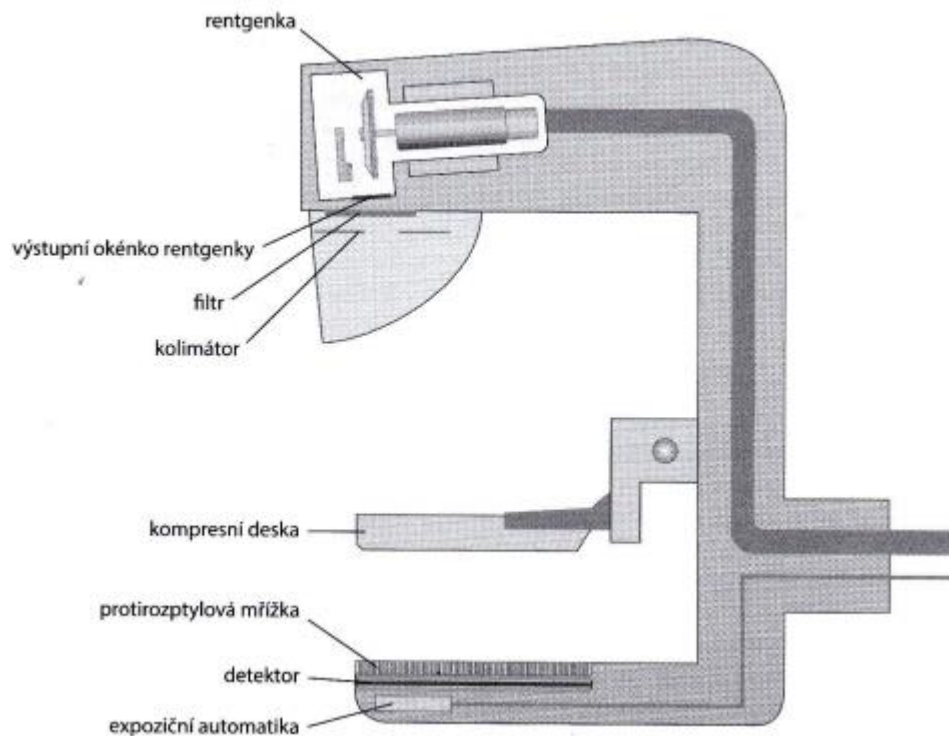
V Československu se problematikou zabýval už v roce 1937 Bláha, který hodnotil možnosti vyšetření pro diagnózu benigních a maligních onemocnění prsu. V roce 1957 byla popsána problematika patologických stavů prsu Trávníčkem. V roce 1961 se začala naplno rozvíjet mamografická diagnostika na radiologickém pracovišti v Olomouci a posléze v celé České republice (Hladíková, 2009, s. 41).

Mamografický screeningový program byl v České republice spuštěn až v 21. století. Posléze přichází digitalizace rentgenového obrazu a možnost léčby biologické a imunologické (Abrahámová, 2019, s. 13).

2.1.2 Konstrukce mamografu

Mamografické zařízení využívá schopnost nízkoenergetického fotonového (tzv. „měkkého“) záření s napětím 25–33 kV. Cílem je dosažení kontrastního zobrazení v měkkých tkáních, které umožňuje zachytit i malé rozdíly v absorpci rentgenového záření v prsní tkáni a tím rozeznat kontrast mezi normální prsní žlázou a patologickým ložiskem (Malíková, 2019, s. 150). Od běžného rentgenového přístroje pro skiografii se liší v řadě technických prvků (Daneš, 2004, s. 1).

Mamografické zařízení se skládá z generátoru, rentgenky, jejího krytu s výstupním okénkem a přídatného filtru svazku rentgenového záření, kolimační clony, U ramene, kompresního zařízení, Bucky clony (protirozptylové mřížky), podstavce pro zvětšení, držáku kazety, expozičního automatu a obličejového štítu (obrázek 2). Uvedené součásti, resp. jejich funkce, se podílejí spolu s objektem (prsem) a s receptorem (detektorem) obrazu na výsledném obrazu prsu (Daneš, 2002, s. 10).



Obrázek 2 – Konstrukce mamografického systému (Súkupová, 2018, s. 94)

2.1.2.1 Rentgenka

Mamografická rentgenka se skládá z katody a anody, přičemž katoda rentgenky je na straně hrudní stěny pacientky a anoda směřuje k U rameni (Daneš, 2002, s. 14). Tato orientace rentgenky mamografického přístroje je výhodná vzhledem k tzv. heel efektu (efektu paty), ten je Danešem (2002, s. 14) popsán: „*Primární svazek rentgenového záření nemá ve všech částech pole stejnou intenzitu. Od centrálního paprsku směrem k anodě intenzita výrazně ubývá, ke katodě vzrůstá.*“

Katodu tvoří fokusační miska s žhaveným wolframovým vláknem. U mamografických zařízení je využívána měkká snímkováč technika. Vhodného spektra záření s převahou fotonů s nízkou energií je dosahováno různými kombinacemi materiálů terčíku anody a přídavné filtrace. Anodový terčík konvenčních analogových mamografických rentgenek je převážně z molybdenu, popř. z rhodia, moderní digitální mamografy mají anodu zpravidla z wolframu (Súkupová, 2018, s. 95).

Ohnisko rentgenky musí být natolik malé, aby umožňovalo rozlišení i velmi drobných struktur (např. mikrokalciifikací). Typicky dvě ohniska o velikosti: 0,3 mm pro běžné snímkování a 0,1 mm pro snímkování se zvětšením (Hladíková, 2009, s. 41). Výstupní okénko je beryliové – odfiltruje fotony velmi nízkých energií (5 keV a méně) a zbytek záření prochází ven z rentgenky (Súkupová, 2018, s. 97).

2.1.2.2 Filtrace

Do primárního svazku je umístěna přídavná filtrace. Jejím účelem je absorpce fotonů nejen nízkých, ale v případě mamografie i vysokých energií. Kombinace použité anody a filtru je volena tak, aby umožňovala získání spektra o potřebné energii. Přídavná filtrace konvenčních analogových mamografických přístrojů bývá zpravidla molybdenová (typicky 0,03 mm) nebo rhodiová (typicky 0,025 mm). Pro prsní tkáň o menší až střední tloušťce je většinou používána kombinace molybdenové anody s molybdenovým filtrem. Pro prsy střední až vyšší tloušťky je využívána molybdenová anoda a rhodiový filtr. Při vyšetřování objemných a hutných prsů je vhodné použít rhodiovou anodu a rhodiový filtr, což zajistí nižší dávku záření při jen nepatrně nižším kontrastu. U wolframové anody se setkáváme s filtrací z rhodia, stříbra nebo hliníku (Súkupová, 2018, s. 95).

2.1.2.3 Kolimační clona

Kolimační clona neboli primární clona mamografů vymezuje svazek záření na velikost podle použitého receptoru obrazu. U moderních mamografických přístrojů se velikost i poloha clony řídí automaticky podle aktuálního nastavení kompresního zařízení (Daneš, 2002, s. 11).

2.1.2.4 Obličejový štít

Obličejový štít zabraňuje, aby hlava pacientky zasahovala do primárního svazku záření a zastínila vyšetřovaný prs (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2011, s. 396).

2.1.2.5 Kompresní zařízení

Kompresní zařízení zajišťuje fixaci a zobrazení celého prsu v žádoucí poloze, snižuje pohybovou neostrost způsobenou například dýcháním. Komprese prsu umožňuje redukci dávky záření, snižuje podíl rozptýleného záření a zlepšuje kontrast obrazu. Vyrovnání tloušťky prsu v různých částech a snížení míry sumace struktur zobrazovaných tkání vede společně s využitím efektu paty k homogenizaci zobrazení a vyšší diagnostické výtěžnosti obrazu (Daneš, 2002, s. 16).

Cíl komprese dle Daneše (2002, s. 53) je *„rovnoměrně redukovat tloušťku prsu pro co nejnlehčí průchod rentgenových paprsků od podkožní oblasti až k hrudní stěně.“*

Síla komprese je individuální podle velikosti prsu, podílu žlázy a vnímavosti vyšetřované ženy. Pohybuje se od 80 N do 120 N (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2021, s. 15). Komprese by měla být vždy dostatečně silná, ale ne bolestivá. Dostatečná a správná komprese je hlavní podmínkou pro provedení mamogramů vysoké kvality s jistotou detekce patologických změn. Zpočátku je komprese ovládána především nožním spínačem a radiologické asistentce zůstávají volné obě ruce pro správné polohování prsu. V závěrečné fázi je doporučováno postupovat pomalu a konečnou kompresi nastavovat ručně tak, aby nedošlo k poškození prsu nebo vyvolání nadměrné bolesti. Všechny moderní mamografické přístroje jsou vybaveny automatickým uvolněním komprese po expozici (Daneš, 2002, s. 16, 53).

2.1.2.6 Bucky clona

Bucky clona (protirozptylová mřížka) se nachází mezi vyšetřovaným prsem a receptorem obrazu. Skládá se z rovnoběžných nepropustných lamel a propustných sept, které jsou skloněny ve směru ohniska rentgenky a díky svému konstrukčnímu řešení absorbují až 80 % sekundárního záření. Bucky clona je charakteristická oscilačním pohybem kolmým ke směru průběhu lamel, který ji činí „neviditelnou“. Nevýhodou sekundárních clon je absorpce cca 30 % primárního záření, která je příčinou zvýšení expozice. Nárůst dávky záření pacientky je však zdůvodněn snížením množství rozptýleného sekundárního záření. Menší podíl sekundárního záření přináší vyšší poměr signál šum a vyšší kvalitu výsledného obrazu (Daneš, 2002, s. 17).

2.1.2.7 Expoziční automatika (AEC, automatic exposure control)

Detektor (ionizační komůrka nebo polovodičový senzor) expoziční automatiky je uložen pod receptorem obrazu. Expoziční automatika optimalizuje v závislosti na tloušťce a případně i glandularitě komprimovaného prsu hodnotu napětí a proudu. Expoziční čas řídí senzor, ve kterém se v průběhu expozice vytváří elektrický náboj, který po zesílení nabíjí kondenzátor. Napětí na kondenzátoru se porovnává s nastavenou referenční úrovní a po dosažení shody ukončí expoziční automatika expozici. Expoziční automatika zajišťuje správnou a stabilní velikost dávky záření dopadající na receptor obrazu, a to i při snímkování různých prsů různé tloušťky, při měnících se hodnotách napětí a při různých vyšetřovacích technikách (snímky se zvětšením apod.) (Daneš, 2002, s. 19).

2.1.2.8 Receptory obrazu

Do roku 2010 byla naprostá většina mamografických pracovišť vybavena konvenčními mamografickými přístroji a film / fóliovými receptory obrazu. Konvenční mamografy měly speciální mamografický film uložený ve světlotěsné kazetě, kde fotocitlivá emulzní vrstva těsně naléhala na zesilovací fólii. Principem film / fóliového mamografického systému je emise viditelného světla v zeleném rozsahu spektra, vyvolaná dopadem ionizujícího záření zeslabeného snímkaným objektem (prsem) a vznik latentního obrazu ve fotocitlivé emulzní vrstvě mamografického filmu (Kodl, Jursíková, 2005, s. 4).

Mezi lety 2011 a 2014 došlo na všech mamografických pracovištích v České republice k přechodu na digitální zobrazovací systémy. Hlavní výhody: snížení radiační zátěže, možnost dodatečných úprav snímků, nezávislé prohlížení na více počítačích a archivace v digitální podobě. Systém pro archivaci snímků se nazývá PACS (picture archiving and communication system). Pro digitální obrazová data v medicíně je prakticky na celém světě využíván formát DICOM 3 (digital imaging and communications in medicine) (Ferda, 2015, s. 17).

Digitální zobrazovací systémy rozdělujeme na: nepřímou digitalizaci (computed radiography, CR) a přímou digitalizaci (direct radiography, DR). Mamografie s CR systémem využívá tzv. paměťové fólie uložené v kazetách stejných formátů (velikostí) jako u film / fóliových systémů. Tato shoda umožňuje použití CR systému s konvenčním mamografickým přístrojem. Při dopadu rentgenového záření na paměťovou fólii dochází excitací elektronů a jejich záchytem v tzv. elektronových pasech k záznamu latentního obrazu, který je následně ve speciálním zařízení (skeneru) digitalizován a odeslán ke zpracování na akvizitní stanici. Po „přečtení“ je ve čtecím zařízení (skeneru) obrazová informace z paměťové fólie vymazána a ta je připravena k dalšímu použití. Jednou z nevýhod CR systému je nutnost manipulace s kazetami (Daneš, 2004, s. 2).

Mamografické přístroje s DR systémy jsou autonomní systémy, kde je namísto kazety s filmem nebo paměťovou fólií pevně uložen detektor, tzv. flat panel, který převádí rentgenové paprsky na elektrický impulz a ten je po transformaci do digitální podoby odeslán ke zpracování na akvizitní stanici. Nevýhodou přímé digitalizace je vysoká pořizovací cena zařízení (Daneš, 2004, s. 2).

2.1.3 Principy mamografického zobrazování

Při mamografickém vyšetření prochází rentgenové záření prsní tkání a podle složení tkáně je záření zeslabováno. Rozdílná absorpce prošlého záření v různých místech prsu je základem pro vznik mamografického obrazu (Daneš, 2002, s. 10).

Kvalitu obrazu ovlivňuje kontrast obrazu, geometrické rozlišení a ostrost. Dále ovlivňuje kvalitu zobrazení kvantový šum a přítomnost artefaktů. Kvalitu obrazu lze zvýšit při dostatečné kompresi, omezením pole záření pomocí kolimační clony a použitím Bucky clony (Daneš, 2002, s. 10, 11).

Kontrast obrazu lze popsat jako rozdíl v modulaci mezi strukturálním detailem v prsu a jeho okolím a uspokojivý je pouze při užití nízkenergetického záření. Kontrast obrazu je ovlivňován: „vnitřním kontrastem“ tkáně a kontrastem na receptoru obrazu. (Daneš, 2002, s. 11).

Geometrické rozlišení a ostrost závisí kromě kontrastu obrazu dále na: expozičním čase, přítomnosti pohybových neostrostí a přítomnosti geometrické neostrosti, která je přímo ovlivněna velikostí ohniska rentgenky a vzdálenostmi ohnisko–objekt a objekt–receptor obrazu. Obecně platí přímá úměra mezi geometrickou neostrostí, velikostí ohniska rentgenky a vzdáleností objekt–detektor obrazu. Čím větší je vzdálenost ohnisko–objekt, tím je geometrické rozlišení lepší (Daneš, 2002, s. 13).

Při snímkování je nutné zvolit kompromis mezi kontrastem a dávkou. Vyšší kontrast získáme s nižší energií záření, ale s nižší energií záření narůstá absorbovaná dávka. Vyšší kontrast potřebujeme pro zobrazení kontrastních detailů, přesněji abychom mohli zobrazit mikrokalcifikace od 0,05–0,1 mm, které mohou být prekancerózním znakem nebo mohou být přítomny v maligních lézích (Súkupová, 2018, s. 92–93).

2.1.4 Ověřování vlastností mamografických přístrojů a jejich příslušenství

Používání mamografického přístroje je podle Atomového zákona podmíněno příslušným povolením SÚJB (Státního úřadu pro jadernou bezpečnost). Držitelem povolení může být právnická osoba (např. nemocnice) nebo fyzická osoba. V průběhu používání ZIZ (zdrojů ionizujícího záření) je držitel povolení povinen zajistit pravidelné provádění zkoušek dlouhodobé stability a provádět zkoušky provozní stálosti (Daneš, 2002, s. 75).

Rozlišujeme: přijímací zkoušky, zkoušky dlouhodobé stability a zkoušky provozní stálosti.

Přijímací zkoušky (PZ) zajišťuje provozovatel (držitel povolení k nakládání se ZIZ) při převzetí zdroje, resp. při nové instalaci zdroje a provádí je osoba (fyzická nebo právnická osoba) mající příslušné povolení SÚJB (Kolektiv autorů, 2019, s. 76). Jedná se například o vizuální kontrolu celistvosti a neporušenosti ZIZ, ověření údajů od výrobce, ověření funkčnosti zařízení (řídících, ovládacích, bezpečnostních, signalizačních a indikačních systémů), ověření provozních parametrů, stanovení dozimetrických veličin a měření neúčinného záření v okolí generátoru záření (Vyhláška č. 422/2016 Sb., § 26).

Zkoušky dlouhodobé stability (ZDS) zajišťuje provozovatel (držitel povolení k nakládání se ZIZ) a provádí osoba (fyzická nebo právnická osoba) s povolením SÚJB (Kolektiv autorů, 2019, s. 77). ZDS zahrnuje vizuální kontrolu celistvosti a neporušenosti ZIZ. Další obsah zkoušek souvisí s daným ZIZ. Tato zkouška se provádí periodicky po 12 měsících od poslední zkoušky nebo v případech, kdy:

- je podezření na nesprávnou funkci ZIZ nebo jeho příslušenství,
- po údržbě, opravě a jiném servisním zásahu,
- kdykoliv výsledky ZPS signalizují, že charakteristické provozní vlastnosti a parametry ZIZ opakovaně vybočují,
- po výměně ZIZ,
- po odstranění závady zjištěné při ZDS (Vyhláška č. 422/2016 Sb., § 27).

V těchto vyjmenovaných případech lze ZDS provést v omezeném rozsahu (zaměřit se na konkrétní problém), nenahrazuje ale periodickou ZDS (Vyhláška č. 422/2016 Sb., § 29). Závady zjištěné při zkoušce dlouhodobé stability se kategorizují jako velmi závažné nebo méně závažné (Vyhláška č. 422/2016 Sb., § 30).

Zkoušky provozní stálosti (ZPS) zajišťuje provozovatel (držitel povolení k nakládání se ZIZ). Klinický radiologický fyzik (nebo dohlížející osoba) stanovuje rozsah, frekvenci a metodiku ZPS v závazné, posuzované dokumentaci a dále zajišťuje ověřování vlastností ZIZ, průběžné hodnocení výsledků ZPS a v případě nevyhovujících výsledků provede nápravná opatření. Pokud je četnost ZPS měsíční nebo vyšší provádí je radiologický asistent, který v klinické praxi zdroj ionizujícího záření používá (Vyhláška č. 422/2016 Sb., § 32). Mezi denní a průběžné testy patří např. vizuální a poslechová kontrola stavu a funkce mamografu, posouzení výskytu artefaktů a kontrola neporušenosti kompresního tubusu. Výčet některých ZPS na mamografických screeningových digitalizovaných pracovištích:

- dlouhodobá reprodukovatelnost standardního nastavení expozice (týdně),
- kompenzace tloušťky (týdně),
- rozlišení systému zobrazením mamografického fantomu (týdně):
 - geometrické rozlišení,
 - rozlišení při nízkém kontrastu,
 - jednoduchý CNR test (poměr kontrastu k šumu),
 - jednoduchý SNR test (poměr signálu k šumu),
- homogenita receptoru obrazu (týdně),
- nekorigovaný vadný prvek detektoru – pouze u DR systémů (týdně),
- přesnost síly komprese (měsíčně),
- přesnost indikátoru tloušťky komprese (čtvrtletně),
- homogenita komprese při maximální klinicky používané kompresní síle (čtvrtletně),
- rozlišení při vysokém kontrastu (čtvrtletně),
- selhání prvku detektoru – pouze u DR systémů (pololetně),
- stupně zčernání (pololetně),
- kompenzace tloušťky a napětí, poměr kontrast–šum (pololetně),
- vyhodnocení šumu (pololetně),
- geometrická deformace a vyhodnocení artefaktů (pololetně),
- mřížka–rastr (ročně) (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2010, s. 33–34).

U CR systémů se mimo vyjmenované testy provádí i testy speciální: vizuální kontrola stavu kazet, relativní citlivost kazet, působení jiných zdrojů radiace a fading (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2010, s. 33–34).

Ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví České republiky (2010, s. 22–34) se nachází tabulky pro všechny vyjmenované zkoušky (v rámci mamografického přístroje), lze v něm najít:

- přehled sledovaných parametrů a nezbytné materiální vybavení k realizaci ZPS,
- požadavky na technické vybavení mamografického pracoviště
- kontrolované parametry, doporučené a požadované tolerance při PZ a ZDS,
- kontrolované parametry a tolerance při ZPS pro nedigitalizovaná pracoviště (film),
- kontrolované parametry a frekvence ZPS pro nedigitalizovaná pracoviště (film),
- kontrolované parametry a frekvence ZPS – digitalizovaná pracoviště (DR a CR systémy)

Požadavky na mamografický přístroj používaný pro lékařské ozáření dle Vyhlášky č. 422/2016 Sb. (§77):

- a) *„musí být vybaven expoziční automatikou,*
- b) *s filmovým receptorem obrazu nebo s nepřímou digitalizací musí být vybaven protirozptylovou mřížkou,*
- c) *musí poskytovat informaci o kompresní síle a tloušťce po kompresi,*
- d) *musí být vybaven funkcí automatické výměny filtru v závislosti na tloušťce po kompresi,*
- e) *musí být vybaven receptorem obrazu s rozměry alespoň 18 × 24 cm, není-li určen pro stereotaxi, a*
- f) *musí být vybaven pomůckami pro provádění zkoušek provozní stálosti s četností měsíční nebo vyšší “*

2.1.5 Příprava a postup mamografického vyšetření

V České republice je na screeningové vyšetření žena odesílána praktickým lékařem nebo gynekologem od kterého dostává žádanku na mamografické vyšetření (Skovajsová, 2012, s. 54). Mamografické vyšetření lze provést i bez žádanky, na základě tzv. zvacího dopisu, který žena dostane v rámci preventivního programu zdravotní pojišťovny nebo pokud žena přichází na vyšetření jako samoplátkyně (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2021, s. 7).

Žena by před mamografickým vyšetřením neměla v oblasti prsů a podpaží používat žádné kosmetické přípravky a deodoranty, aby nezpůsobily změny napodobující nádor. U preventivních vyšetření by se žena měla objednat na termín v první polovině menstruačního cyklu (pokud žena menstruuje), a to z toho důvodu, že prsa jsou měkká a je možné provést dostatečné stlačení prsů bez bolestivých pocitů (Daneš, 2004, s. 2). Součástí screeningové mamografie je tzv. Dotazník rizikových faktorů, který žena vyplňuje v mamografickém centru před vyšetřením. Dotazník se uchovává v písemné podobě spolu s další dokumentací klientky na screeningovém mamodiagnostickém centru (Bartoňková, 2002, s. 29).

Obecná kritéria pro hodnocení kvality zobrazení v základních projekcích dle Věstníku Ministerstva zdravotnictví České republiky (2010, s. 10) jsou:

- *„správná poloha komůrky expozičního automatu,*
- *dostatečná komprese,*
- *absence záhybů kůže, artefaktů překrývajících snímek (rameno apod.), pohybu, artefaktů vzniklých při zpracování (prach apod.),*
- *správná identifikace snímku,*
- *správná expozice,*
- *správná technika zpracování filmů či digitálních obrazů,*
- *symetrické obrazy obou stran.“*

Zpravidla se zhotovují dva snímky každého prsu v kraniokaudální (CC) a mediolaterální šikmé (MLO) projekci.

Při CC projekci (obrázek 3) stojí žena čelem k mamografu a bradavka je přibližně ve středu kazety. Svazek záření prochází ve směru kolmém k podlaze od horních partií prsu k dolním. Velký důraz se klade na kožní řasy, které musí být eliminovány (Daneš, 2002, s. 56). Na snímku by měl být patrný stín pektorálního svalu dorzálně, dále zachycena veškerá mediální část prsu s bradavkou uloženou centrálně na konvexitě prsu (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2010, s. 10).



Obrázek 3 – Projekce kraniokaudální (Daneš, 2002, s. 58)

Při MLO projekci (obrázek 4) stojí žena čelem k mamografu, rameno vyšetřované strany má svěřené, relaxované, loket ohnutý a ruka spočívá na rukojeti přístroje, která se nachází po obou stranách mamografického přístroje (Daneš, 2002, s. 54). U rameno je rotováno 45 stupňů detektorem k vyšetřované straně a bradavka je zachycena z profilu (Hladíková, 2009, s. 42). Svazek záření směřuje od supermediální (horní vnitřní) k inferolaterální (dolní zevní) části prsu (Daneš, 2002, s. 54). Na snímku by měl být patrný stín pektorálního svalu vycházející z úrovně bradavky či níže, úhel prsního svalu nejméně 15°, inframamární úhel zřetelně zobrazen na většině hodnocených snímků a zobrazena celá prsní tkáň (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2010, s. 10).

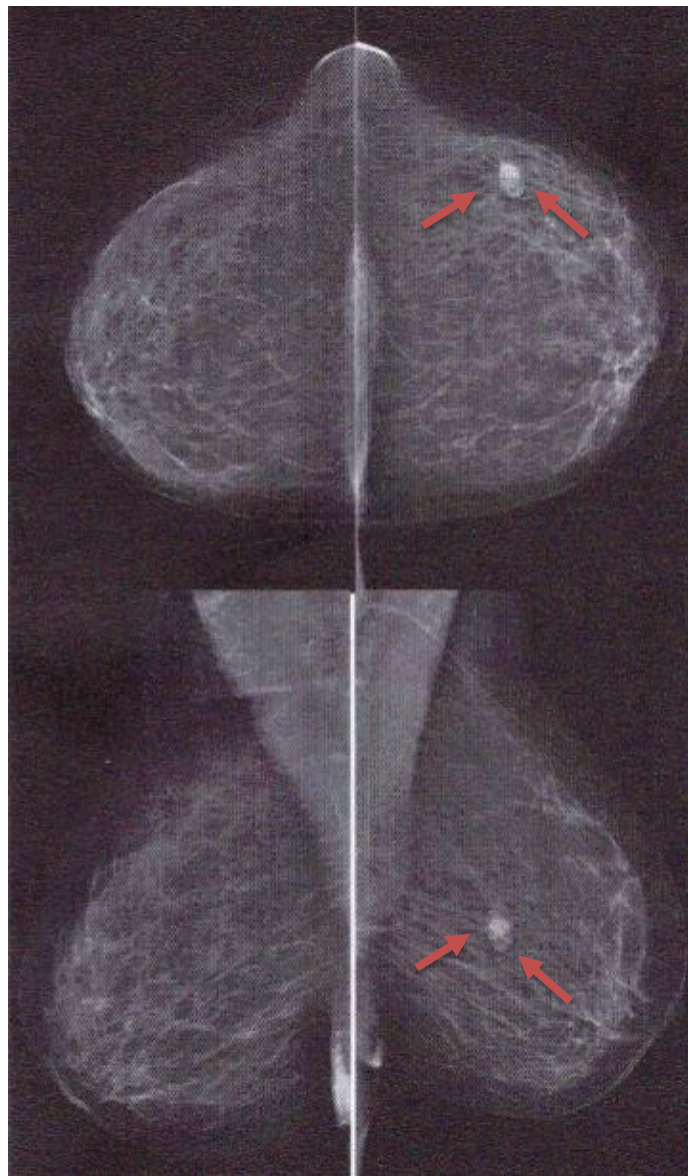


Obrázek 4 – Mediolaterální projekce (Daneš, 2002, s. 56)

V případě potřeby jsou tyto základní projekce doplněny o speciální projekce (např. bočná projekce, projekce s bodovou kompresí, mamografie se zvětšením apod.) (Daneš, 2002, s. 53, 59).

Mamografické vyšetření žen s prsními implantáty se provádí s minimální kompresní silou, aby nedošlo k poškození prsního implantátu. Expoziční parametry jsou u prsů s implantáty nastavovány v manuálním režimu (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2021, s. 15).

Na obrázku 5 je zobrazena CC a MLC projekce pro oba prsy, kde vlevo se nachází normální nález a vpravo tumorózní ložisko.



Obrázek 5 – Kraniokaudální a mediolaterální projekce: vlevo normální nález, vpravo tumorózní ložisko (Malíková, 2019, s. 151)

2.2 Mamografický screening

Cílem zobrazovacích metod v mamologii je včas odhalit zhoubné nádory a přednádorové stavy prsů, a tím snížit úmrtnost na rakovinu prsu. Dobré výsledky vykazuje léčba nádorů velikosti do 15 mm, lepší výsledky mají nálezy do 10 mm a nejlepší výsledky jsou u 5–7 milimetrových nádorů (Skovajsová, 2003, s. 5). Zhotovené snímky se porovnávají se starší obrazovou dokumentací a v případě podezřelého nálezu lze vyšetření doplnit další zobrazovací metodou např. ultrazvukem, magnetickou rezonancí nebo biopsií s histologickým ověřením vzorku tkáně (Malíková, 2019, s. 149).

Na mamografických pracovištích se můžeme setkat se dvěma typy vyšetření:

- a) Preventivní vyšetření, tj. vyšetření asymptomatických žen s cílem vyloučit nehmotnou lézi:
 - mamografický screening od 45 let,
 - preventivní sonografie, která není limitována věkem ani frekvencí,
 - preventivní magnetická rezonance, která se provádí u žen s celoživotním rizikem karcinomu prsu větší než 20 % (na základě rodinné anamnézy) a ženám s prokázanými genovými mutacemi (např. mutace BRCA1 nebo BRCA2), které mají pravděpodobnost vzniku rakoviny prsu až v 88 % (Malíková, 2019, s. 149–150).

- b) Diagnostické vyšetření, tj. vyšetření žen s příznaky onemocnění prsu (např. hmatná bulka) (Mamo.cz, 2019a).

Screening je v současné době nejefektivnější metodou včasné detekce nádorů prsu (Strnad, 2014, s. 15). Záměrem screeningu je nabídnout ženám v České republice kvalifikovaná preventivní vyšetření prsu na pracovištích naplňujících kritéria moderní specializované a integrované mamární diagnostiky (Bartoňková, 2002, s. 28). V České republice se provádí screeningová mamografie u asymptomatických žen od 45 let každé dva roky. Vyšetření prsu mohou podstoupit i ženy mladší 45 let z důvodu obav o své zdraví. Do 39 let je ženám doporučováno ultrazvukové vyšetření a od 40 let mamografické vyšetření (Skovajsová, 2012, s. 24–25).

2.2.1 Přínosy a rizika spojená s mamografickým screeningem

Přínos pravidelného mamografického vyšetření vychází ze skutečnosti, že většina nádorů prsu je zobrazitelná v preklinické fázi (Skovajsová, 2012, s. 17). Mamografický přístroj je tedy schopný zobrazit útvar od několika milimetrů a současně i tzv. mikrokalcifikace, které jsou symptomem časných stadií karcinomů (Strnad, 2014, s. 15). Nádor je zobrazitelný přibližně o dva až tři roky dříve než klinicky hmatné stádium. Z tohoto důvodu se mamografický screening u asymptomatických žen provádí ve dvouletém intervalu (Skovajsová, 2012, s. 17).

Dosud nejsou známy všechny příčiny vzniku rakoviny prsu, ukazatelem však mohou být rizikové faktory, které umožňují vymezit skupiny žen se zvýšeným rizikem a je proto třeba jim věnovat náležitou pozornost (Abrahámová, 2019, s. 36).

Rizikové faktory, které ovlivňující vznik a vývoj karcinomu prsu můžeme rozdělit podle dvou hledisek na:

- 1) faktory s nejistým nebo žádným vlivem na vznik karcinomu prsu (lze je ovlivnit):
 - a. návyky – kouření, alkohol, strava apod.,
 - b. fyzická aktivita – pohyb, denní režim, obezita apod.,
 - c. ostatní – bydliště, životní prostředí, vzdělání, psychologické aspekty, umělé přerušování těhotenství, antiperspiranty apod. (Abrahámová, 2019, s. 37).

- 2) faktory dispoziční (nelze je ovlivnit):
 - a. osobní anamnéza
 - se vzrůstajícím věkem se riziko karcinomu prsu zvyšuje,
 - rasa (u bělošské populace je riziko větší, než u populace černošské a Asiatické),
 - dřívější premaligní nebo maligní choroba prsu,

b. hormonální a gynekologické faktory

- začátek menarché před 12. rokem věku,
- vyšší věk nástupu menopauzy,
- žena, která nikdy nerodila (má větší riziko karcinomu prsu),
- první porod po 30. roce života,
- vyšší počet dětí (tzn. vyšší počet porodů) snižuje riziko vzniku karcinomu prsu, protože žena je vystavena kratší dobu vlivu estrogenů, než kdyby měla pouze jedno dítě,
- akt kojení a délka období kojení ovlivňuje hladinu estrogenů v ženském organismu (faktor s „ochranným“ účinkem před rozvojem karcinomu prsu),
- provedení ovariectomie významně ovlivňuje vzniku karcinomu prsu (sníží se ovlivnění prsní tkáně hormony),
- hormonální léčba nebo užívání hormonální antikoncepce zvyšuje riziko vzniku karcinomu prsu (podstatný je věk začátku užívání a délky období užívání),

c. genetické faktory

- výskyt nádorového onemocnění v rodině (riziko karcinomu prsu se zvyšuje až dvounásobně v případě první linie příbuzenstva – matka, sestra, dcera),
- genetické dispozice: nositelé mutace genu BRCA1 (na chromozomu 17) a BRCA2 (na chromozomu 13) mají oproti ostatní populaci až desetinásobné celoživotní riziko onemocnění prsu (Abrahámová, 2019, s. 40–47).

2.2.2 Mamografický screening v České republice

Už od konce padesátých let minulého století byly zhoubné novotvary důsledně evidovány. V roce 1976 byl založen Národní onkologický registr (NOR), ve kterém jsou sledována všechna onemocnění zhoubnými novotvarami. Hlášení novotvaru podává povinně zařízení, které novotvar diagnostikovalo nebo primárně léčilo. Z tohoto registru jsou čerpány informace o:

- četnosti (incidenci) nádorových onemocnění,
- celkovém počtu nemocných s určitou diagnózou (prevalenci),
- úmrtnosti (mortalitě),
- věkovém rozložení a dalších ukazatelích (Abrahámová, 2019, s. 27–28).

O screeningovém programu v České republice se začalo více diskutovat již v 90. letech minulého století. Od poloviny 90. let byl na žádost gynekologů v souvislosti s užíváním substituční hormonální léčby zahájen neoficiální screening bezpříznakových žen. Díky tomuto neoficiálnímu screeningu se začal zvyšovat počet žen, u kterých byly nalezeny minimální karcinomy a karcinomy in situ. Rovněž se potvrdila teorie, že nezbytným faktorem k úspěšné léčbě karcinomu prsu je včasná diagnóza (Skovajsová, 2012, s. 15). Přestože uvedené podněty pro zavedení mamografického screeningu byly započaty již v 90. letech, probíhal u nás tzv. skrytý screening až do roku 2001. Mamografická vyšetření byla indikována pod různými diagnózami např. bolest prsu. Screeningová a diagnostická mamografie se nerozlišovala (Daneš, 2005, s. 1). Mezi lety 2001 a 2002 byl na území České republiky spuštěn pilotní projekt, který zjišťoval, jak české ženy budou screeningový program přijímat. Zájem o pilotní program předčil očekávání a na tento popud byl dne 9. září 2002 mamografický screening nádorů prsu schválen Komisí pro screening nádorů prsu Ministerstva zdravotnictví jako celonárodní program a vznikla u nás možnost bezplatného screeningového vyšetření (Skovajsová, 2012, s. 15–16).

Do roku 2010 byla mamografická vyšetření prováděna pouze u žen od 45 let do 69 let. Po roce 2010 byla horní věková hranice zrušena, dolní věková hranice (tj. 45 let) byla zachována spolu s pravidelnými dvouletými intervaly návštěv mamografického centra (Skála, 2011, s. 6). V roce 2018 se mamografického screeningu v ČR zúčastnilo 61,8 % cílové populace (ženy ve věku od 45–69 let) (Mamo.cz, 2019b).

2.2.3 Požadavky na screeningové pracoviště

Když byl v roce 2002 Komisí Ministerstva zdravotnictví schválen Národní program screeningu karcinomu prsu, bylo třeba nastavit pravidla, za kterých se mohla stávající pracoviště přihlásit k akreditaci. Pravidla byla diskutována s Komisí odborníků pro mamární diagnostiku (KOMD) a vzniklo deset podmínek, které muselo pracoviště při přihlášení k akreditaci prokázat (Skovajsová, 2012, s. 31). Akreditační podmínky zněly takto:

- 1) integrace vyšetřovacích metod na screeningových pracovištích
 - screeningové mamodiagnostické pracoviště musí být schopné provést mamografii, duktografii, ultrasonografii prsů, cílené intervenční výkony, cílené klinické vyšetření a diagnostický pohovor s klientkou screeningového programu, popř. lze na některé výkony klientku odeslat do specializovaného pracoviště,

- 2) trvání diagnostického procesu
 - aby diagnostika negativního nálezu byla provedena v jednom dni, nejpozději do tří pracovních dnů,
 - z této podmínky plyne motto pro Český národní program screeningu nádorů prsu: „V jeden den, pod jednou střechou a s výsledkem do ruky“,

- 3) kvalifikace mamodiagnostiků
 - lékař provádějící screeningové vyšetření prsu musí být atestován v oboru radiodiagnostika a musí prokázat specializaci v mamární diagnostice, tj. dosavadní praxe a minimálně 2 000 zhodnocených mamografických vyšetření za rok v posledních třech letech,
 - radiologický asistent provádějící screeningovou mamografii musí absolvovat speciální studium (např. atestace),

- 4) počty provedených vyšetření
 - pracoviště bude akreditováno, pokud se zabývá mamografickou diagnostikou alespoň tři roky a v minulém roce mamograficky vyšetřilo nejméně 3 000 žen nebo zaměstnává lékaře, který prokazatelně zhodnotil mamogramy minimálně 3 000 žen ročně v posledních třech letech,
 - bude-li pracoviště akreditováno, stvrzuje, že vyšetří ve screeningovém programu nejméně 5 000 žen ročně a čekací lhůta na screeningové vyšetření nepřesáhne 1 měsíc,

- 5) požadavky na technické vybavení
 - přístrojové vybavení musí odpovídat dle ustanovení zákona o zdravotnických prostředcích,

- 6) zabezpečování jakosti v mamografii ve smyslu Atomového zákona
 - např. mít platné povolení SÚJB, mít pracovníka s oprávněním SÚJB k vykonávání soustavného dohledu nad radiační ochranou, důsledné provádění všech předepsaných měření apod.,

- 7) návaznost péče při zjištění nádoru prsu
 - definovaná konkrétní chirurgická, gynekologická a onkologická pracoviště, aby nedošlo ke zbytečnému prodlení léčby,

- 8) kontinuita screeningu nádorů prsu
 - je provedena archivace záznamů o každé klientce (písemná, filmová a popř. elektronická podoba) a to z toho důvodu, aby se nově vytvořené snímky mohly porovnávat s předešlými a mohla se tak zachytit dynamika změn v čase,
 - pokud pacientka změní pracoviště, kam dochází na kontroly, staré pracoviště je povinno předat celou dokumentaci vyšetření pacientky novému pracovišti,

- 9) sledování a vyhodnocování screeningového programu (datový audit)
 - např. celkový počet jednotlivých vyšetření v hodnoceném období, celkový počet žen doporučených k dalšímu vyšetření, údaje o zjištěných karcinomech apod.,

10) doplňující podmínky

- např. mamografický screening bude prováděn pouze u žen nad 40 let věku a maximálně v jednoročních intervalech, informovanost okolí o možnosti preventivního mamografického screeningu (Skovajsová, 2012, s. 31–38).

Současně pokud je pracovišti udělena akreditace, je povinno předávat své výsledky činnosti, ZPS a ZDS na vyžádání Komisi odborníků pro mamární diagnostiku (KOMD) a případně Komisi pro screening nádorů prsu Ministerstva zdravotnictví v České republice (KSNP) k provedení kontroly (inspekce) (Bartoňková, 2002, s. 29).

2.3 Biologické účinky ionizujícího záření

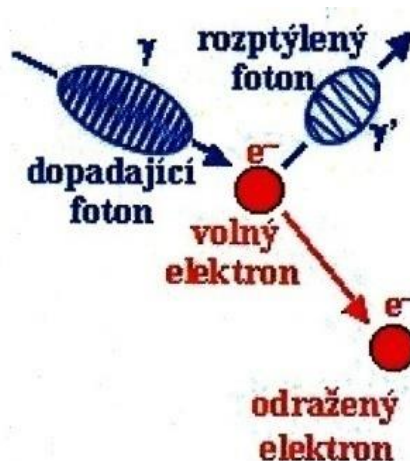
Působením ionizujícího záření na lidský organismus může docházet ke změnám, které lze rozdělit podle více hledisek.

2.3.1 Interakce ionizujícího záření s hmotou

Ionizující záření (IZ) lze rozdělit na přímo ionizující (elektrony, protony, deuterony, částice alfa, těžké ionty) a nepřímo ionizující (záření rentgenové, gama a neutrony). Samotný průběh interakce záření s hmotou záleží na charakteru záření (Hušák, 2009, s. 13).

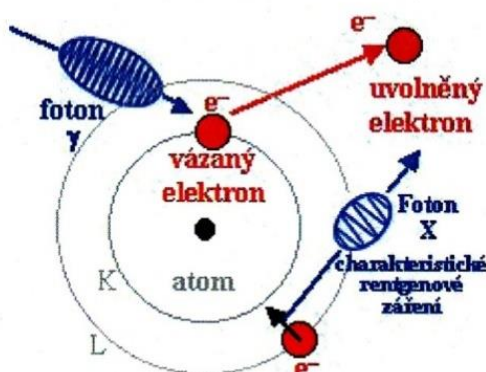
Záření gama a rentgenové mají stejný charakter, tj. jedná se o elektromagnetické (fotonové) záření, které vyvolává ionizaci prostředí. Klasifikujeme je podle místa vzniku. Záření gama vzniká v jádře atomu, rentgenové záření vzniká v elektronovém obalu. Celkově rozlišujeme 3 základní typy interakcí fotonového záření s hmotou a to: Comptonův rozptyl, fotoelektrický jev (fotoefekt) a tvorbu elektron-pozitronových párů (Ferda, 2015, s. 11). V rámci zdravotnických diagnostických rentgenů včetně mamografie nastává pouze fotoefekt nebo Comptonův rozptyl. Oba tyto jevy se mohou kombinovat tak, že nejdříve nastane Comptonův rozptyl a foton s nižší energií následně interaguje fotoefektem (Rozlívka, 2006, s. 14).

Comptonův rozptyl (obrázek 6) se uplatňuje především u fotonů středních a vyšších energií, probíhá na volných nebo slabě vázaných elektronech. Při srážce fotonu s elektronem, předá dopadající foton elektronu pouze část své energie a uvede jej do pohybu, přičemž sekundární (rozptýlený) foton opouští místo střetu v odlišném směru a s nižší energií. Odražený elektron ionizuje a excituje atomy a molekuly okolního prostředí (Kolektiv autorů, 2019, s. 24).



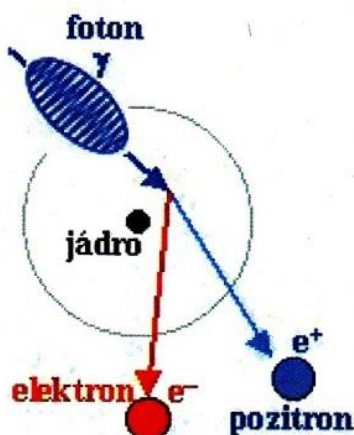
Obrázek 6 – Comptonův rozptyl (Kolektiv autorů, 2019, s. 24)

Fotoefekt (obrázek 7) nastává nejčastěji u fotonů s nižšími energiemi. Jedná se o proces, kde se foton srazí s elektronem vázaným v atomovém obalu a předá mu veškerou svoji energii. Uvolněný fotoelektron předá získanou energii ionizací nebo excitací atomů a molekul. Na prázdné místo po elektronu přeskočí z vyšší slupky atomového obalu jiný elektron, přičemž energetický rozdíl vazebné energie se vyzáří ve formě charakteristického záření (Kolektiv autorů, 2019, s. 24).



Obrázek 7 – Fotoefekt (Kolektiv autorů, 2019, s. 24)

K tvorbě elektron-pozitronového páru (obrázek 8) dochází při interakci vysokoenergetického fotonu o energii vyšší než 1,022 MeV (Rozlívka, 2006, s. 14). Foton se při průletu v blízkosti atomového jádra může přeměnit na dvojici částic elektron (e^-) a pozitron (e^+). Elektron zůstává trvale v látce a pozitron po zbrzdění anihiluje s elektronem z prostředí, přičemž se vyzáří dva anihilační fotony o energiích 511 keV (Kolektiv autorů, 2019, s. 25).



Obrázek 8 – Tvorba elektron-pozitronových párů (Kolektiv autorů, 2019, s. 25)

2.3.2 Interakce ionizujícího záření na úrovni molekul, buněk a tkání

2.3.2.1 Interakce ionizujícího záření na úrovni molekul

K usmrcení buňky (popř. jedince) stačí neobyčejně malá dávka ionizujícího záření. Toto zjištění vedlo k vypracování různých teorií o účincích ionizujícího záření na živou hmotu. Tyto teorie se vzájemně nevylučují, ale naopak se v různých směrech doplňují (Kodl, Heribanová a Urban, 2007, s. 17). Mezi nejrozšířenější teorie patří teorie zásahová a radikálová.

- a) Zásahová teorie vychází z úvahy o přímém účinku na důležitou část buňky, při němž dochází k lokální absorpci energie, ionizaci a fyzikálně chemické nebo funkční změně zasažené struktury. S výjimkou střetu s hustě ionizujícím zářením, jakým je například záření alfa, je pravděpodobnost přímého účinku poměrně nízká (Podzimek, 2013, s. 278).
- b) Radikálová teorie (teorie nepřímého účinku) vychází z účinků ionizujícího záření na molekuly vody, ze které je organismus tvořen až 70 %. Zásahem molekul vody IZ (radiolýzou vody) vznikají postupně volné radikály a produkty schopné oxidace, které mohou ovlivnit metabolické děje (Kodl, Heribanová a Urban, 2007, s. 17).

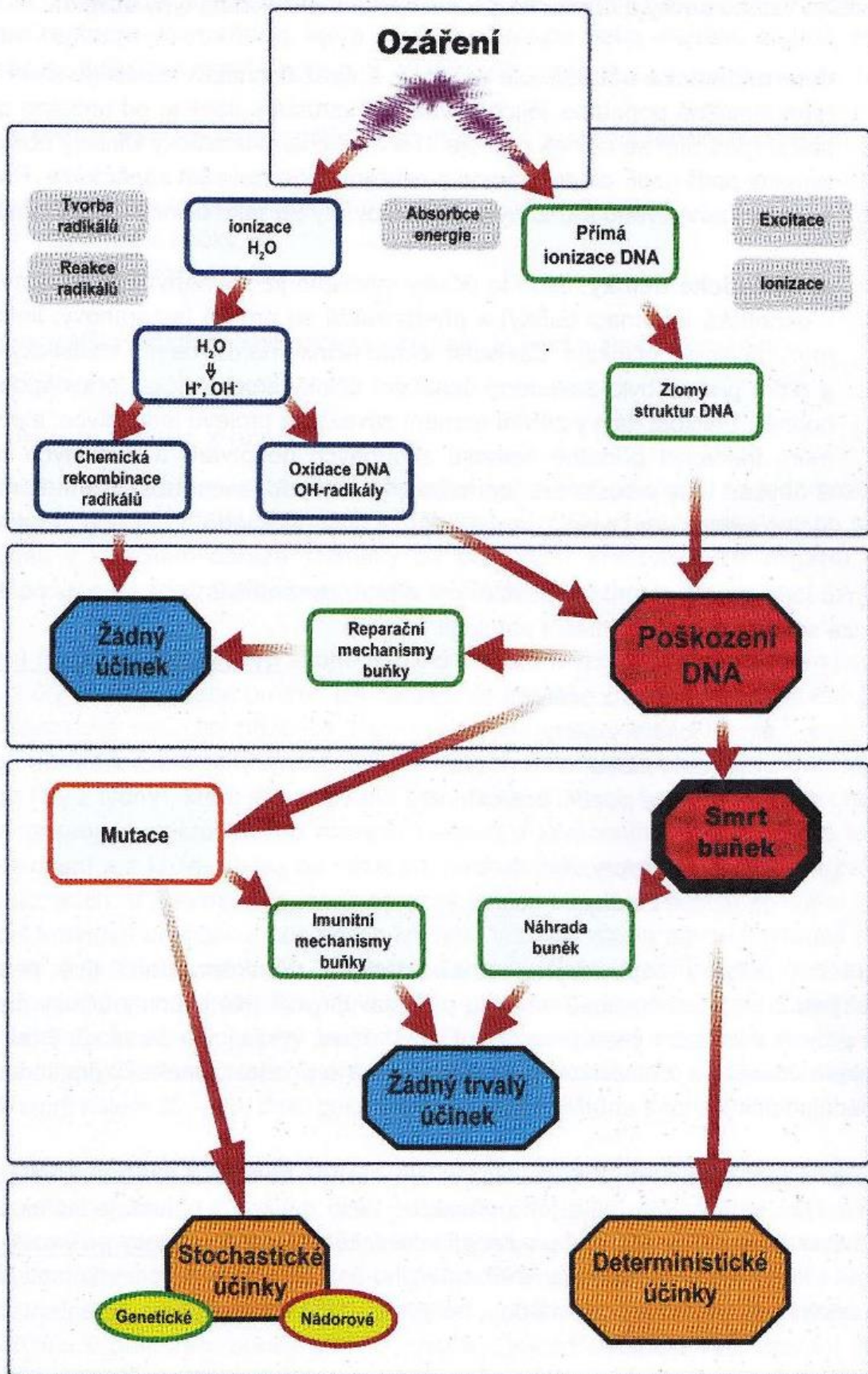
2.3.2.2 Interakce ionizujícího záření na úrovni buněk

Buňka může být usmrcena buď v tzv. klidovém období (interval mezi dvěma buněčnými děleními), nebo častěji tzv. mitotickou smrtí, která nastává až po určité době neschopnosti dalšího dělení zasažené buňky tzv. řízenou buněčnou smrtí (apoptózou). Apoptóza může nastat i při menších dávkách IZ a projevuje se nejčastěji ve tkáních, kde probíhá rychlé buněčné dělení (Podzimek, 2013, s. 280).

Změna genetické informace buňky může být rovněž příčinou mutací, které dělíme na:

- a. mutace gametické, které poškozují zárodečné buňky a jejich důsledky se mohou projevit až v dalších generacích,
- b. mutace somatické, které se projevují přímo u ozářeného jedince a mohou vést ke vzniku zhoubných nádorů (Podzimek, 2013, s. 280).

Většina poškození ozářených buněk je opravena reparačními mechanismy organismu. Mechanismus působení IZ je přehledně zpracován na obrázku 9.



Obrázek 9 – Schéma poškození buňky (Podzimek, 2013, s. 283)

2.3.2.3 Interakce ionizujícího záření na úrovni tkání

Konečný výsledek působení IZ na buňku a tkáň je závislý i na dalších faktorech. Mezi nejčastější patří citlivost orgánů k ozáření IZ tzv. radiosenzitivita. Obrázek 10 popisuje radiosenzitivitu ozářených orgánů vzhledem k radiosenzitivitě celého těla. Obecně platí, že vysokou citlivost vůči IZ vykazují tkáně, v nichž probíhá rychlé buněčné dělení. Dalším faktorem jsou tzv. reparační mechanismy, které se uplatňují především při frakcionovaném nebo protražovaném ozáření. Současně je celkový účinek ovlivněn rozsahem a prostorovým rozložením dávky (Podzimek, 2013 s. 281–282).



Obrázek 10 – Orgány a tkáně podle tkáňového váhového faktoru (Obrázek podle Vyhlášky č. 422/2016 – příloha č. 2 sestavil autor)

2.3.3 Účinky ionizujícího záření na lidský organismus

Účinky ionizujícího záření na lidský organismus dělíme:

1. podle doby od ozáření, za kterou se daný klinický účinek projeví:
 - a) časně účinky – klinicky se projeví v krátkém čase po ozáření (hodiny, dny),
 - b) pozdní účinky – klinicky se projeví za delší dobu po ozáření (měsíce, roky),
2. podle typu poškozených buněk:
 - a) somatické účinky – projeví se u ozářené osoby,
 - b) genetické účinky – projeví se až v některé z dalších generací (Rozlívka, 2006, s. 25).

3. podle vztahu dávky a účinku (obrázek 12):

- a) Deterministické účinky IZ se projeví až po překročení daného dávkového prahu. S rostoucí dávkou se zvyšuje míra poškození. Jedná se o účinky, ke kterým dochází v důsledku smrti velkého množství ozářených buněk. Deterministické účinky mohou být časně i pozdní, lokální i systémové. Většinou je jejich klinický obraz charakteristický pro daný účinek – lze je rozlišit od poškození z jiných příčin. Při mamografickém vyšetření můžeme výskyt deterministických účinků zcela vyloučit (Kolektiv autorů, 2019, s.38). Mezi deterministické účinky patří: akutní nemoc z ozáření, radiační dermatitida, radiační poškození oční čočky, postižení fertility a poškození plodu v těle matky (1.–15. týden) (Rozlívka, 2006, s. 26).
- b) Stochastické účinky IZ jsou bezprahové, s rostoucí dávkou se zvyšuje pravděpodobnost vzniku poškození, nikoliv však jeho závažnost. Jsou vyvolány mutacemi. Účinky mohou vzniknout i při nízkých dávkách, existuje lineární závislost pravděpodobnosti výskytu těchto účinků na velikost dávky. Stochastické účinky mohou být pouze pozdní, nemají charakteristický klinický obraz (nelze je odlišit od onemocnění vzniklých z jiných příčin) (Kolektiv autorů, 2019, s. 39). Mezi stochastická poškození patří: zhoubné nádory, genetické poškození a poškození plodu v těle matky (od 15. týdne) (Rozlívka, 2006, s. 28).

Přehledné rozdělení biologických účinků IZ na lidský organismus nabízí obrázky 11 a 12.

DETERMINISTICKÉ		STOCHASTICKÉ	
ČASNÉ (akutní)	POZDNÍ (chronické)		
SOMATICKÉ		GENETICKÉ	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ akutní nemoc z ozáření ▪ akutní dermatitida ▪ poškození fertility 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ poškození oční čočky ▪ chronická dermatitida 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zhoubné nádory u ozářeného jedince 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ genetické změny u potomstva
Poškození plodu v těle matky			

Obrázek 11 – Přehled biologických účinků na lidský organismus (Kolektiv autorů, 2019, s. 38)

deterministické účinky	stochastické účinky
<ul style="list-style-type: none"> • jsou prahové • jsou lokální • jsou časné i pozdní • jsou pouze somatické • mají charakteristický klinický obraz (kromě oční čočky) • záleží na protražovanosti • jsou charakterizovány ekvivalentní dávkou H_T • <i>citlivost tkání a orgánů:</i> <ul style="list-style-type: none"> • kostní dřeň, lymfatické a pohlavní orgány, oční čočka • kůže, výstelka střeva • plíce, rostoucí kosti a chrupavky • kosti • svaly, centrální nervový systém 	<ul style="list-style-type: none"> • nejsou prahové • nejsou lokální • jsou pouze pozdní • jsou somatické i genetické • nemají charakteristický klinický obraz • nezáleží na protražovanosti • jsou charakterizovány efektivní dávkou E • <i>citlivost tkání a orgánů:</i> <ul style="list-style-type: none"> • kostní dřeň, plíce, žaludek, zažívací trakt • mléčná žláza, štítná žláza • kůže • oční čočka, svaly, centrální nervový systém

Obrázek 12 – Porovnání deterministických a stochastických účinků (upraveno dle Kolektiv autorů, 2019, s. 38–40)

2.4 Vybrané veličiny a jednotky používané v radiační ochraně

Veličiny a jednotky používané v radiační ochraně můžeme rozdělit na veličiny a jednotky charakterizující účinky IZ na látku a na veličiny a jednotky charakterizující účinky IZ na lidský organismus.

1) charakterizující účinky IZ na prostředí / látku

- a) absorbovaná dávka slouží k posouzení účinků záření u přímo i nepřímo IZ:

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \text{ (Gy)}$$

kde,

$\bar{\epsilon}$ – je střední sdělená energie daného objektu (J),

m – je hmotnost tohoto objektu (kg),

d – znamená nekonečně malý přírůstek uvažované veličiny,

- b) kerma charakterizuje působení nepřímo IZ (tj. fotonového záření nebo neutronů) z hlediska předávání energie primárních nenabitých částic nabitým částicím v daném prostředí:

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

kde,

E_k – je kinetická energie IZ (J),

m – hmotnost objemového elementu (kg),

d – znamená nekonečně malý přírůstek uvažované veličiny (Podzimek, 2013, s. 224, 226).

2) charakterizující účinky IZ na lidský organismus

- a) ekvivalentní dávka se používá ke stanovení deterministických účinků, tj. poškození konkrétní tkáně / orgánu:

$$H_T = \sum w_R * D_{TR} \text{ (Sv)}$$

kde,

w_R – je radiační váhový faktor (faktor zohledňující, jaký druh IZ na člověka působí),

D_{TR} – je střední absorbovaná dávka v orgánu nebo tkáni (Gy),

- b) efektivní dávka se používá pro hodnocení ozáření z hlediska stochastických účinků, tj. možnosti genetické změny:

$$E = \sum_T w_T * H_T \text{ (Sv)}$$

kde,

w_T – je příslušný tkáňový váhový faktor (faktor zohledňující riziko vzniku stochastických účinků v konkrétním orgánu),

H_T – je ekvivalentní dávka v ozářených orgánech nebo tkáních (Sv) (Podzimek, 2013, s. 235–236).

- c) kolektivní dávka je součet efektivních dávek všech jedinců v určité skupině za dané období a vyjadřuje míru ozáření dané populace, jednotkou je Sievert (Kodl, Heribanová, Urban, 2007, s. 15)

3 VÝZKUMNÁ ČÁST

3.1 Cíl práce

Hlavním cílem výzkumné části bakalářské práce je provést analýzu, jakým způsobem ovlivňuje tloušťka komprimovaného prsu:

- napětí,
- přídatnou filtraci,
- střední dávku v mléčné žláze.

Dílním cílem výzkumné části je vypočítat střední dávku v mléčné žláze pro vybraný vzorek vyšetřených žen, které splňovaly následující kritéria:

- vyšetření podstoupily v rámci screeningového programu,
- neměly prsní implantáty,
- splňovaly věkové rozhraní od 40–49 let nebo od 50–64 let.

3.2 Výzkumné otázky a hypotézy

Jakým způsobem ovlivňuje tloušťka komprimovaného prsu napětí, přídatnou filtraci a střední dávku v mléčné žláze?

S vyšší tloušťkou komprimovaného prsu se bude napětí zvyšovat. Vyšší napětí umožní lepší prostupnost rentgenového svazku prsem a vyšší podíl fotonů dopadajících na receptor obrazu (Súkupová, 2019).

Filtrace u mamografického přístroje absorbuje fotony nízkých, ale i vysokých energií. Kombinace použité anody a filtru je volena tak, aby umožňovala získání spektra o vhodném energetickém rozsahu. U wolframové anody se setkáváme s přídatnou filtrací z rhodia (pro menší tloušťky komprimovaného prsu) a stříbra (pro větší tloušťky komprimovaného prsu) (Súkupová, 2018, s. 95).

S rostoucí tloušťkou komprimovaného prsu lze předpokládat vyšší střední dávku v mléčné žláze (Poulová a kol., 2013).

3.3 Metodika výzkumu a zpracování dat

Hlavním cílem výzkumné části bakalářské práce bylo provést analýzu, jakým způsobem ovlivňuje tloušťka komprimovaného prsu napětí, přídatnou filtraci a střední dávku v mléčné žláze. Dílčím cílem bylo vypočítat střední dávku v mléčné žláze pro vybraný vzorek vyšetřených žen. Průzkum proběhl formou retrospektivní kvantitativní studie.

Pro posouzení vlivu tloušťky komprimovaného prsu na napětí, přídatnou filtraci a střední dávku v mléčné žláze byl proveden náhodný sběr dat u 156 vyšetřených žen a analýza vývoje sledovaných parametrů v závislosti na tloušťce komprimovaného prsu žen vybraných do statistického šetření.

Pro stanovení středních dávek v mléčné žláze byla použita metodika dle Národních radiologických standartů – Radiologická fyzika z května 2015 (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2015, s. 16) a dle Doporučení Evropské unie pro zajištění kvality v mamografickém screeningu a diagnostice (Perry et al., 2013, s. 23).

3.3.1 Veličiny důležité pro porovnání radiační zátěže vyšetřených žen

Pro porovnání radiační zátěže vyšetřených žen je nezbytné stanovit střední dávku v mléčné žláze D_G . Výchozí veličinou pro stanovení D_G je dopadající kerma, jejíž hodnota byla stanovena z hodnoty K_i změřené v rámci poslední ZDS.

3.3.1.1 Postup výpočtu dopadající kermey

Dopadající kerma K_i je definována jako kerma měřená volně ve vzduchu v místě vstupu záření do vyšetřovaného prsu, započítává se pouze dopadající záření tzn. není zohledněn zpětný rozptyl. Údaje o dopadající kermě jsou získávány ze ZDS a z údajů v PACS. Přepočet dopadající kermey K_i pro každé použité napětí, filtraci a vzdálenost ohnisko kůže FSD byl proveden dle vztahu:

$$K_i = Y_r \cdot \left(\frac{r}{FSD}\right)^2 \cdot P_{It} \text{ (mGy)}$$

kde,

Y_r – je výtěžnost v definované vzdálenosti r od ohniska v jednotkách mGy/mAs při ZDS,

FSD – je vzdálenost ohnisko kůže při vyšetření,

P_{It} – znamená součin proudu a expozičního času v jednotkách mAs při vyšetření (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2015, s. 15).

3.3.1.2 Postup výpočtu střední dávky v mléčné žláze

Střední dávka v mléčné žláze D_G pro konkrétní vyšetření se vypočítává ze vztahu:

$$D_G = K_i \cdot g \cdot c \cdot s \text{ (mGy)}$$

kde,

K_i – je dopadající kerma ve vzduchu bez zpětného rozptylu v jednotkách mGy (výpočet viz kapitola 3.3.1.1),

g – je konverzní faktor, který převádí dopadající kermu na střední dávku v mléčné žláze pro prs s 50% glanduralitou (50 % tuková tkáň a 50 % mléčná žláza) a spektrum rentgenky Molybden/Molybden (dále Mo/Mo) (tabulka 1),

c – je korekční faktor, který upravuje rozdíl ve složení prsu odlišného od 50% glandurality (tabulka 2 a 3),

s – je korekční faktor na aktuálně použité spektrum rentgenky anoda/filtrace (tabulka 4) (Perry et al., 2013, s. 23).

U konverzního faktoru g a korekčního faktoru c je brána v potaz tloušťka komprese (Breast thickness) a polotloušťka (HVL, Half Value Layer), kterou zjistíme v PZ nebo poslední ZDS.

Tabulka 1 – Konverzní faktory g v závislosti na tloušťce komprimovaného prsu a polotloušťky (Perry et al., 2013, s. 37)

HVL (mm Al)	Breast thickness (mm)									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
0.30	0.390	0.274	0.207	0.164	0.135	0.114	0.098	0.0859	0.0763	0.0687
0.35	0.433	0.309	0.235	0.187	0.154	0.13	0.112	0.0981	0.0873	0.0786
0.40	0.473	0.342	0.261	0.209	0.172	0.145	0.126	0.1106	0.0986	0.0887
0.45	0.509	0.374	0.289	0.232	0.192	0.163	0.14	0.1233	0.1096	0.0988
0.50	0.543	0.406	0.318	0.258	0.214	0.177	0.154	0.1357	0.1207	0.1088
0.55	0.573	0.437	0.346	0.287	0.236	0.202	0.175	0.1543	0.1375	0.1240
0.60	0.587	0.466	0.374	0.31	0.261	0.224	0.195	0.1723	0.1540	0.1385
0.65	0.622	0.491	0.399	0.332	0.282	0.244	0.212	0.1879	0.1682	0.1520
0.70	0.644	0.514	0.421	0.352	0.300	0.259	0.227	0.2017	0.1809	0.1638
0.75	0.663	0.535	0.441	0.371	0.317	0.274	0.241	0.2143	0.1926	0.1746
0.80	0.682	0.555	0.460	0.389	0.333	0.289	0.254	0.2270	0.2044	0.1856

Tabulka 2 – Korekční faktory *c* pro ženy ve věku 40–49 let v závislosti na tloušťce komprimovaného prsu a polotloušťce (Perry et al., 2013, s. 37)

Breast thickn. (mm)	Gland. (%)	HVL (mm Al)										
		0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
20	100	0.885	0.891	0.9	0.905	0.91	0.914	0.919	0.923	0.928	0.932	0.936
30	82	0.894	0.898	0.903	0.906	0.911	0.915	0.918	0.924	0.928	0.933	0.937
40	65	0.940	0.943	0.945	0.947	0.948	0.952	0.955	0.956	0.959	0.961	0.964
50	49	1.005	1.005	1.005	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.003	1.003	1.003
60	35	1.080	1.078	1.074	1.074	1.071	1.068	1.066	1.061	1.058	1.055	1.051
70	24	1.152	1.147	1.141	1.138	1.135	1.130	1.127	1.117	1.111	1.105	1.098
80	14	1.220	1.213	1.206	1.205	1.199	1.190	1.183	1.172	1.163	1.154	1.145
90	8	1.270	1.264	1.254	1.248	1.244	1.235	1.225	1.214	1.204	1.193	1.181
100	5	1.295	1.287	1.279	1.275	1.272	1.262	1.251	1.238	1.227	1.215	1.203
110	5	1.294	1.290	1.283	1.281	1.273	1.264	1.256	1.242	1.232	1.220	1.208

Tabulka 3 – Korekční faktory *c* pro ženy ve věku 50–64 let v závislosti na tloušťce komprimovaného prsu a polotloušťce (Perry et al., 2013, s. 37)

Breast thickn. (mm)	Gland. (%)	HVL (mm Al)										
		0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
20	100	0.885	0.891	0.9	0.905	0.91	0.914	0.919	0.923	0.928	0.932	0.936
30	72	0.925	0.929	0.931	0.933	0.937	0.94	0.941	0.947	0.950	0.953	0.956
40	50	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
50	33	1.086	1.082	1.081	1.078	1.075	1.071	1.069	1.064	1.060	1.057	1.053
60	21	1.164	1.160	1.151	1.15	1.144	1.139	1.134	1.124	1.117	1.111	1.103
70	12	1.232	1.225	1.214	1.208	1.204	1.196	1.188	1.176	1.167	1.157	1.147
80	7	1.275	1.265	1.257	1.254	1.247	1.237	1.227	1.213	1.202	1.191	1.179
90	4	1.299	1.292	1.282	1.275	1.27	1.26	1.249	1.236	1.225	1.213	1.200
100	3	1.307	1.298	1.29	1.286	1.283	1.272	1.261	1.248	1.236	1.224	1.211
110	3	1.306	1.301	1.294	1.291	1.283	1.274	1.266	1.251	1.240	1.228	1.215

Tabulka 4 – Korekční faktory *s* pro používané kombinace anoda/filtr (Perry et al., 2013, s. 35)

Target material	Filter material	Filter thickness (μm)	s-factor
Mo	Mo	30	1.000
Mo	Rh	25	1.017
Rh	Rh	25	1.061
W	Rh	50–60	1.042
W	Ag	50–75	1.042

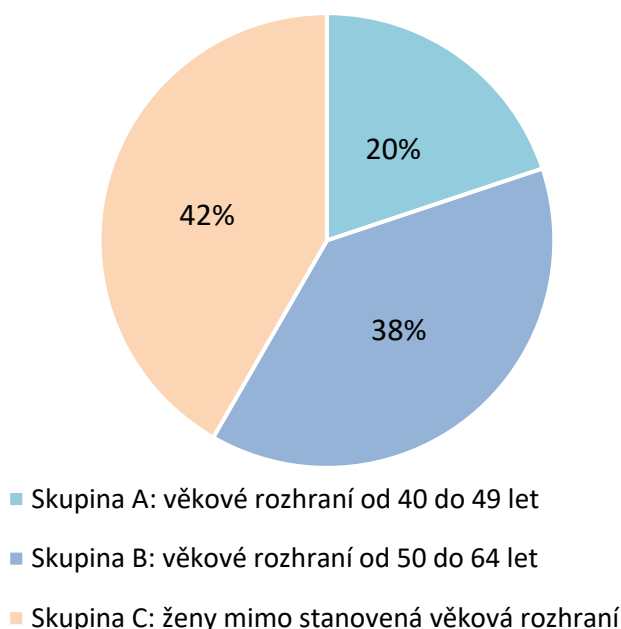
3.3.2 Sběr dat

Sběr dat jednotlivých vyšetření probíhal na akreditovaném screeningovém mamografickém pracovišti ve FN HK (Fakultní nemocnici Hradec Králové) v červnu a v červenci 2019. Na základě kladného posouzení vedením Radiologické kliniky byl tento kvantitativní výzkum schválen vedením FN HK.

Ve výše uvedeném časovém období byl proveden náhodný sběr dat u 156 vyšetřených žen. Do statistického šetření byly vybrány pouze ženy, které splňovaly následující kritéria:

- vyšetření podstoupily v rámci screeningového programu,
- neměly prsní implantáty,
- splňovaly věkové rozhraní od 40–49 let nebo od 50–64 let.

Uvedené věkové kategorie byly zvoleny vzhledem ke korekčnímu faktoru c zohledňujícímu v rámci výpočtu střední dávky v mléčné žláze glandularitu prsu, který je v Doporučení Evropské unie pro zajištění kvality v mamografickém screeningu a diagnostice, stanoven právě pro tyto věkové kategorie. Při respektování uvedených kritérií bylo možné provést statistické šetření u 91 žen, tj. u 58 % ze všech žen zahrnutých do kvantitativního výzkumu. Zastoupení zúčastněných žen je znázorněno ve výšečtovém grafu na obrázku 13.



Obrázek 13 – Procentuální zastoupení všech zúčastněných žen

Data ke statistickému šetření byla získávána z vyšetření provedených na mamografickém přístroji Hologic Lorad Selenia (obrázek 14). Zdrojem vysokého napětí je vysokofrekvenční generátor. Rozsah vysokého napětí je od 20 kV do 39 kV. Rozsah elektrického množství je od 3 mAs do 400 mAs. Materiál terčíku rotační anody je wolfram, velikost ohniska je pro běžné snímky 0,3 mm, pro zvětšené snímky 0,1 mm. Materiály přídatné filtrace jsou pro menší tloušťky komprimovaného prsu rhodium, pro větší tloušťky komprimovaného prsu stříbro. Vzdálenost ohnisko–podpěra prsu je 64 cm. Detektorem obrazu je přímá digitalizace, aktivním prvkem flat panelu je amorfní selen. (Hologic, 2008, s.183–192)

Všechna vyšetření byla prováděna v režimu expoziční automatiky. Přístroj je vybaven digitálním indikátorem síly a tloušťky komprese. Na základě indikované tloušťky komprimované prsní tkáně volí systém expoziční automatiky odpovídající hodnotu napětí, expoziční čas, respektive elektrické množství je řízeno ionizační komůrkou. Obrazová data včetně expozičních parametrů a další informace související s vyšetřením (jméno a příjmení pacienta apod.) jsou automaticky přenášena do systému PACS (Daneš, 2002, s. 19).



Obrázek 14 – Mamografický přístroj Hologic Lorad Selenia

Z protokolů o přijímací zkoušce a zkoušce dlouhodobé stability mamografického přístroje byly čerpány parametry:

- dopadající kerma,
- polotloušťka pro dané napětí a materiál anoda–filtrace,
- vzdálenost ohnisko–podpěra prsu.

Z údajů o vyšetření v PACS byly vyhledány následující parametry:

- napětí,
- elektrické množství,
- tloušťka komprimovaného prsu,
- projekce,
- věk vyšetřených žen.

Zpracování uvedených dat a výpočet střední dávky v mléčné žláze budou provedeny v tabulkovém procesoru Microsoft Excel.

Pro zpracování a vizualizaci dat v rámci šetření vlivu tloušťky komprimovaného prsu na napětí, přídatnou filtraci a střední dávku v mléčné žláze byl využíván analytický softwarový nástroj STATISTICA.

3.4 Výsledky výzkumu

Do statistického šetření bylo zařazeno 91 žen, tj. 182 expozičních v rámci CC projekce levého a pravého prsu. 62 expozičních bylo provedeno u věkové kategorie A, tj. od 40 let do 49 let. 120 expozičních bylo provedeno u věkové kategorie B, tj. od 50 let do 64 let.

3.4.1 Výsledky výpočtů střední dávky v mléčné žláze

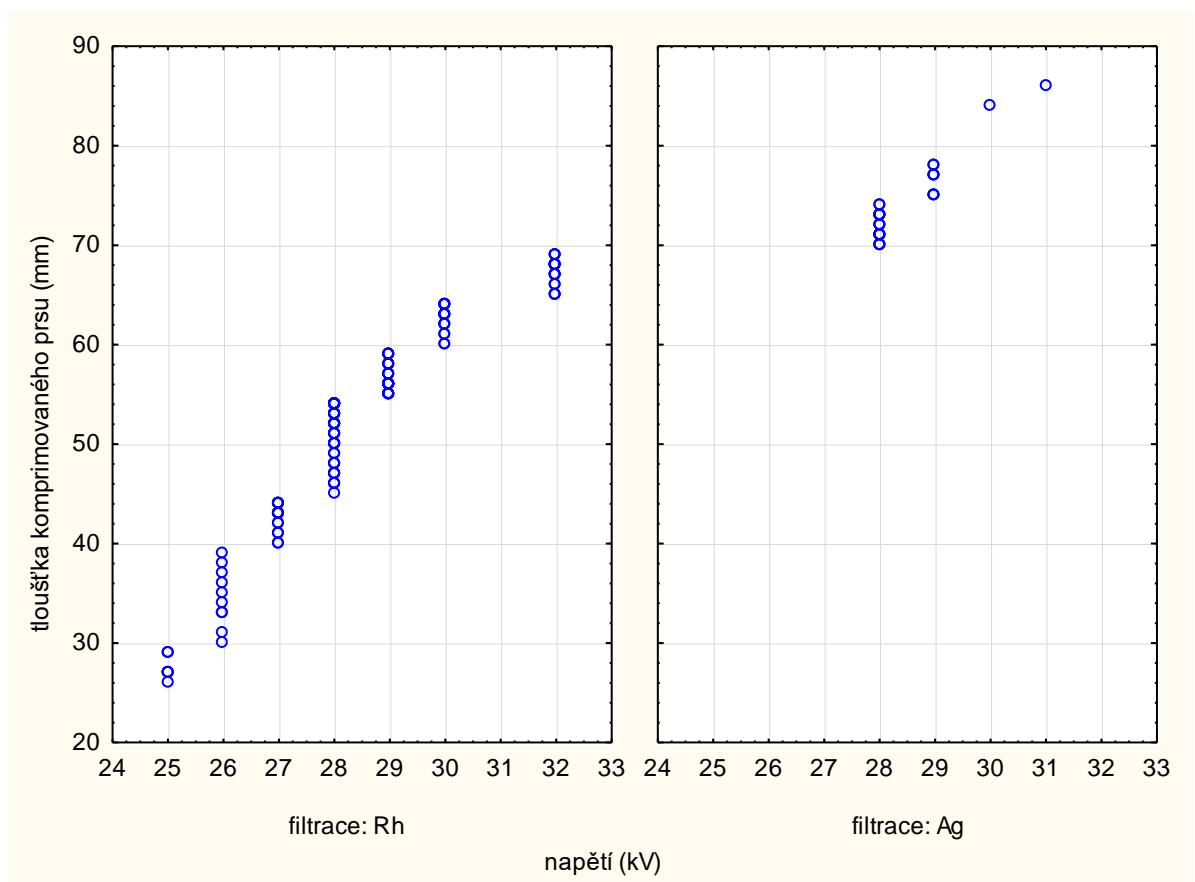
Pro další šetření bylo nejprve nutné provést výpočty střední dávky v mléčné žláze. Náhled do provedených výpočtů umožňuje tabulka 5. Průměrná hodnota střední dávky v mléčné žláze u všech vyšetřených žen byla 1,95 mGy na jednu expozici.

Tabulka 5 – Zpracování dat a výpočty střední dávky v mléčné žláze

ZDS					parametry vyšetření										konverzní a korekční faktory			D ₀
kV	filtrace	r [mm]	w [mGy/10 mAs]	HVL	pacientka	věk	věková kategorie	tloušťka prsu	projekce	filtrace	kV	mAs	FSD	Kf	g	c	s	
25	Rh	620	0,346	0,504	52	48	A	27	LCC	Rh	25	61	613	2,16	0,447	0,911	1,042	0,92
25	Rh	620	0,346	0,504				26	RCC	Rh	25	67	614	2,36	0,461	0,911	1,042	1,03
25	Rh	620	0,346	0,504	54	49	A	29	LCC	Rh	25	66	611	2,35	0,42	0,911	1,042	0,94
25	Rh	620	0,346	0,504				27	RCC	Rh	25	68	613	2,41	0,447	0,911	1,042	1,02
25	Rh	620	0,346	0,504	85	49	A	27	LCC	Rh	25	82	613	2,90	0,447	0,911	1,042	1,23
26	Rh	620	0,395	0,510				30	RCC	Rh	26	71	610	2,90	0,412	0,912	1,042	1,13
25	Rh	620	0,346	0,504	76	57	B	29	LCC	Rh	25	92	611	3,28	0,42	0,934	1,042	1,34
26	Rh	620	0,395	0,510				35	RCC	Rh	26	83	605	3,44	0,368	0,969	1,042	1,28
26	Rh	620	0,395	0,510	126	45	A	31	LCC	Rh	26	54	609	2,21	0,403	0,916	1,042	0,85
26	Rh	620	0,395	0,510				33	RCC	Rh	26	59	607	2,43	0,386	0,923	1,042	0,90
26	Rh	620	0,395	0,510	64	51	B	38	LCC	Rh	26	92	602	3,85	0,341	0,988	1,042	1,35
26	Rh	620	0,395	0,510				33	RCC	Rh	26	72	607	2,97	0,386	0,956	1,042	1,14
26	Rh	620	0,395	0,510	67	52	B	34	LCC	Rh	26	106	606	4,38	0,377	0,963	1,042	1,66
27	Rh	620	0,441	0,524				40	RCC	Rh	27	124	600	5,84	0,329	1,000	1,042	2,00
26	Rh	620	0,395	0,510	117	60	B	36	LCC	Rh	26	92	604	3,83	0,359	0,975	1,042	1,40
27	Rh	620	0,441	0,524				41	RCC	Rh	27	90	599	4,25	0,323	1,007	1,042	1,44

3.4.2 Vliv tloušťky komprimovaných prsů na napětí, přídavnou filtraci a střední dávku v mléčné žláze

Vývoj napětí a materiálu přídavné filtrace k tloušťce komprimovaného prsu prezentuje bodový graf na obrázku 15. Z grafu vyplývá, že s rostoucí tloušťkou komprimovaného prsu se hodnota napětí postupně zvyšuje, a to až do tloušťky 69 mm. Od tloušťky 70 mm se materiál přídavné filtrace mění z Rh na Ag a napětí se vrací na 28 kV. S dalším růstem tloušťky komprimovaného prsu se napětí opět postupně zvyšuje.



Obrázek 15 – Bodový graf závislosti napětí a filtrace na tloušťce komprimovaného prsu

Hodnoty napětí podle tloušťky komprese a materiálu přídavné filtrace byly seřazeny do tabulky 6. Z tabulky je patrných devět rozmezí tloušťky komprimovaného prsu a dvě hodnoty tloušťky komprese zahrnující po jedné expozici pro každou hodnotu napětí. Z uvedených hodnot je zřejmé, že se zvyšující se tloušťkou komprimovaného prsu se zvyšuje nejen napětí ale i vypočtené hodnoty střední dávky v mléčné žláze. Pro prsy s tloušťkou komprese vyšší než 70 mm dochází ke změně filtrace z Rh na Ag.

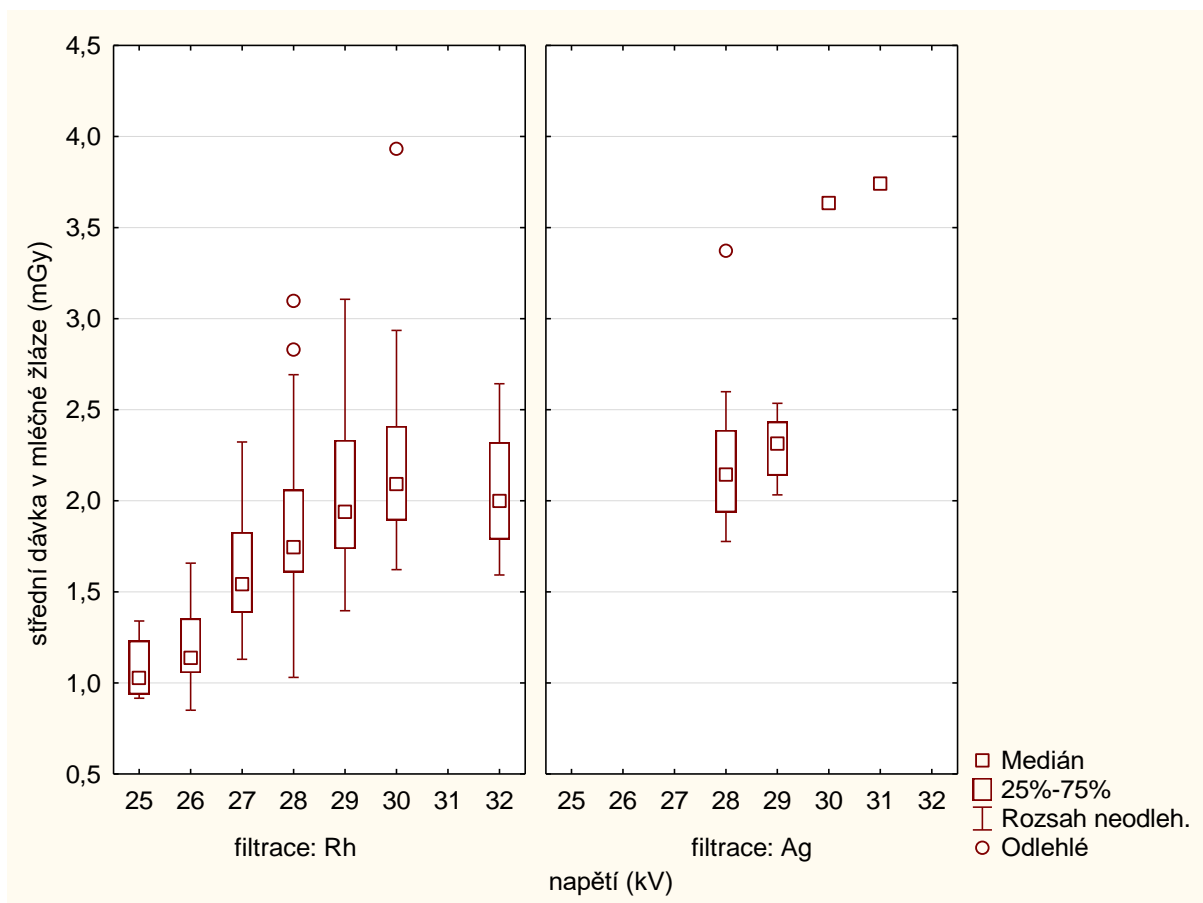
Výkyv v trendu postupného růstu střední dávky v mléčné žláze byl zaznamenán pro napětí 32 kV s Rh filtrací, respektive tloušťky komprimovaného prsu 65–69 mm. Výkyv trendu lze přisuzovat zvýšení napětí mezi 60–64 a 65–69 mm o dva kilovolty a související vyšší penetrační schopností záření a úspore dávky u prsů s tloušťkou komprese 65–69 mm. Příčinou však může být i složení skupiny posuzovaných expozic bez vyloučení extrémních hodnot.

Významný výkyv v trendu byl zaznamenán rovněž u prsů s tloušťkou komprese 84 a 86 mm. Tento výkyv přisuzujeme ojedinělému výskytu prsů s uvedenými tloušťkami komprese ve skupině posuzovaných expozic.

Tabulka 6 – Střední dávky v mléčné žláze, napětí a filtrace pro různé tloušťky komprimovaného prsu

Tloušťka prsu po kompresi (mm) rozmezí od – do	Filtrace	Napětí (kV)	Střední dávka v mléčné žláze (mGy) rozmezí od – do	Střední dávka v mléčné žláze (mGy) průměr	Střední dávka v mléčné žláze (mGy) medián	Počet expozic ve vzorku
26 – 29	Rh	25	0,92 – 1,34	1,08	1,03	6
30 – 39	Rh	26	0,85 – 1,66	1,19	1,14	10
40 – 44	Rh	27	1,13 – 2,32	1,60	1,54	17
45 – 54	Rh	28	1,03 – 3,10	1,84	1,74	47
55 – 59	Rh	29	1,40 – 3,11	2,08	1,94	34
60 – 64	Rh	30	1,62 – 3,93	2,23	2,09	18
65 – 69	Rh	32	1,59 – 2,64	2,06	2,00	19
70 – 74	Ag	28	1,78 – 3,37	2,20	2,14	21
75 – 78	Ag	29	2,03 – 2,54	2,29	2,31	8
84	Ag	30	3,64	-	-	1
86	Ag	31	3,74	-	-	1

Pro lepší orientaci v závislosti střední dávky v mléčné žláze na napětí a materiálu přídavné filtrace byly dodatečně vytvořeny i krabicové grafy vyjadřující nejen medián ale i první a třetí kvartil hodnot střední dávky v mléčné žláze, viz obrázek 16.



Obrázek 16 – Krabicové grafy závislosti střední dávky v mléčné žláze D_G na napětí a filtraci

Hodnoty mediánu, prvního a třetího kvartilu D_G v závislosti na napětí a filtraci, viz tabulka 7.

Tabulka 7 – Hodnoty mediánu, prvního kvartilu a třetího kvartilu střední dávky v mléčné žláze v závislosti na napětí a přidavné filtraci

Napětí (kV)	Filtrace	Medián (mGy)	První kvartil (mGy)	Třetí kvartil (mGy)
25	Rh	1,03	0,94	1,23
26	Rh	1,14	1,06	1,35
27	Rh	1,54	1,39	1,83
28	Rh	1,74	1,61	2,06
29	Rh	1,94	1,74	2,33
30	Rh	2,09	1,89	2,41
32	Rh	2,00	1,79	2,32
28	Ag	2,14	1,94	2,39
29	Ag	2,31	2,14	2,43
30	Ag	3,64	-	-
31	Ag	3,74	-	-

Z šetření výkyvů střední dávky v mléčné žláze u prsů s tloušťkou komprese větší než 65 mm vyvstala otázka závislosti vlivu věku vyšetřovaných žen na střední dávku v mléčné žláze podpořená výkyvem v trendu hodnot střední dávky v mléčné žláze u prsů s tloušťkou komprese 84 a 86 mm, které byly zaznamenány právě u žen věkové kategorie B (50–64 let).

3.4.3 Tloušťka komprimovaných prsů podle věku žen

V tabulce 6 nalezneme průměr, medián, minimum a maximum pro konkrétní věkové rozhraní. Z maximálních hodnot tloušťky komprimovaného prsu u vymezených věkových kategorií je zřejmé, že prsy tloušťky komprese 84 a 86 mm náleží do skupiny žen věkové kategorie B (50–64 let).

Tabulka 8 – Tloušťky komprimovaného prsu

	celkem	věková kategorie A (od 40 let do 49 let)	věková kategorie B (od 50 let do 64 let)
počet expozič	182	62	120
	tloušťka komprimovaného prsu (mm)		
průměr	56	56	57
medián	56	56	56
minimum	26	26	29
maximum	86	78	86

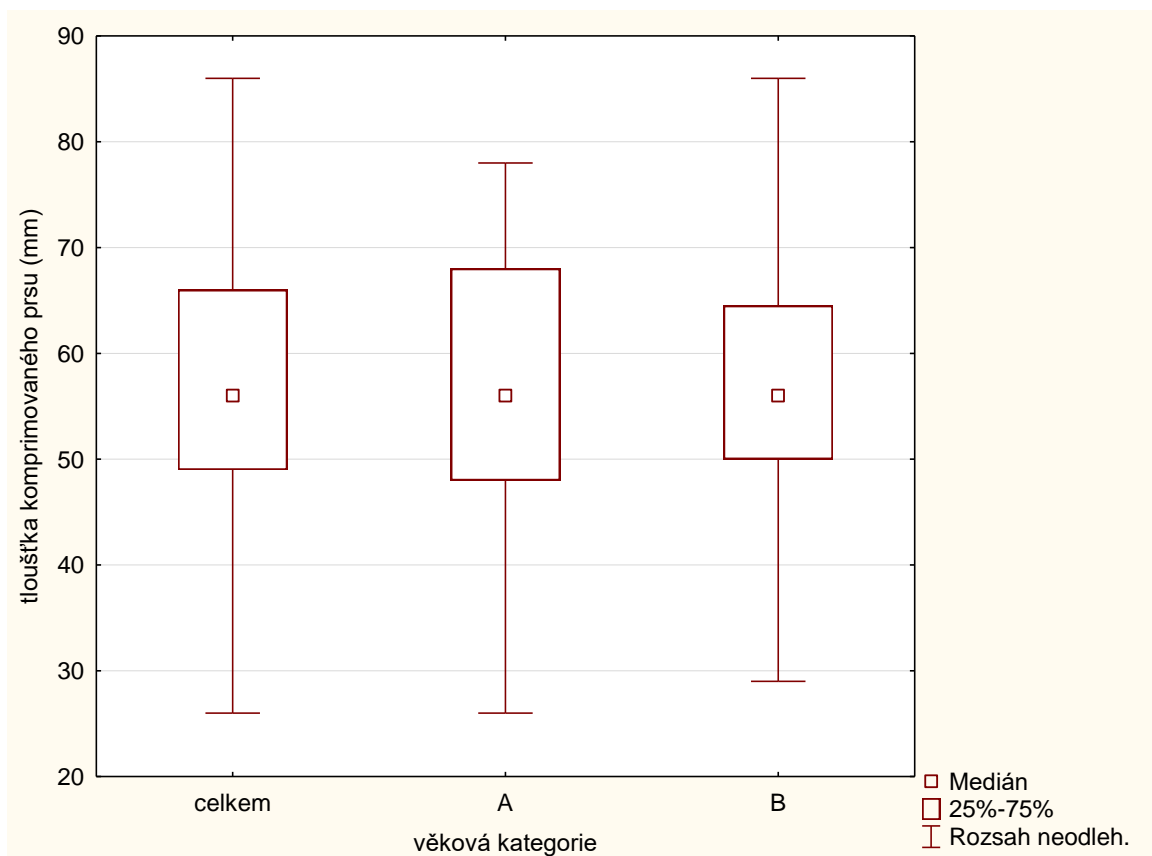
Pro lepší přehlednost byly zpracovány tři krabicové grafy (obrázek 17) vymežující rozmezí tloušťky komprimovaného prsu pro:

- obě věkové kategorie,
- věkovou kategorii A,
- věkovou kategorii B.

První graf ukazuje rozložení hodnot tloušťky komprimovaného prsu u všech zkoumaných žen. Hodnoty tloušťky komprimovaného prsu byly v rozmezí 26 mm až 86 mm. Medián je 56 mm, první kvartil 49 mm a třetí kvartil 66 mm.

Druhý graf ukazuje hodnoty tloušťky komprimovaného prsu u žen od 40 do 49 let. Rozsah hodnot tloušťky komprimovaného prsu je 26 mm až 78 mm. Medián je 56 mm, první kvartil je 48 mm a třetí kvartil je 68 mm.

Třetí graf ukazuje hodnoty tloušťky komprimovaného prsu u žen od 50 do 64 let. Rozsah hodnot tloušťky komprimovaného prsu je 29 mm až 86 mm. Medián je 57 mm, první kvartil je 50 mm a třetí kvartil je 64,5 mm.

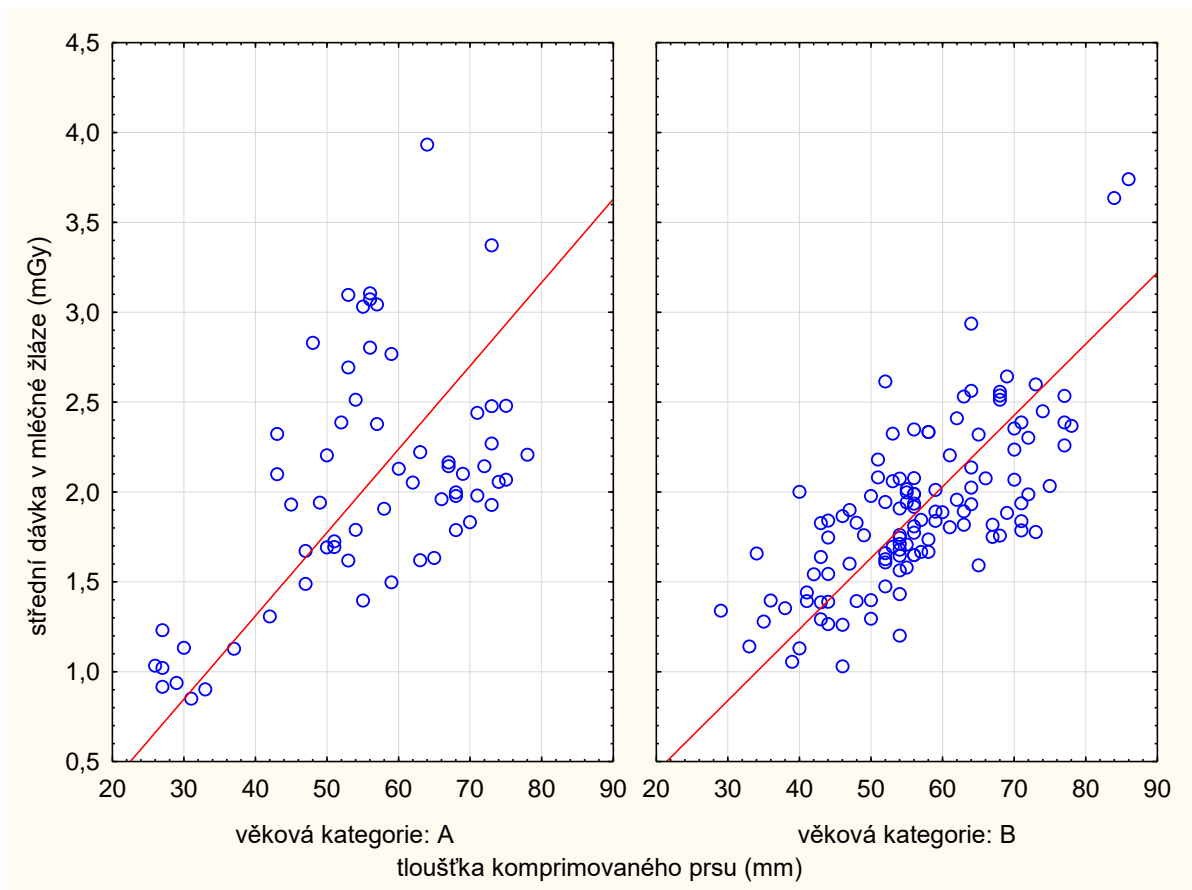


Obrázek 17 – Krabicový graf zobrazující tloušťky komprimovaného prsu k věkovým kategoriím

Z krabicových grafů je zřejmé, že mezikvartilové rozpětí tloušťky komprimovaného prsu ve skupině všech vyšetřených žen je v rozmezí 49 až 66 mm. Výrazně menší mezikvartilové rozpětí tlouštěk komprimovaného prsu jsme zaznamenali u kategorie B. Příčinou může být klimakterium v rámci kterého se mléčná žláza přestavuje v tukovou tkáň a její objem se zmenšuje.

3.4.4 Vliv tloušťky komprimovaných prsů a věku vyšetřovaných žen na střední dávku v mléčné žláze

Bodové grafy na obrázku 16 ukazují vývoj střední dávky v mléčné žláze k tloušťce komprimovaného prsu u věkových kategorií žen A (40–49 let) a B (50–64 let). Ortogonální spojnice trendu naznačuje, že se vzrůstajícím věkem žen se střední dávka v mléčné žláze vzhledem k tloušťce komprimovaného prsu mírně snižuje. Rovněž je patrné, že střední dávky v mléčné žláze mají pro věkovou kategorii B oproti věkové kategorii A menší rozptyl hodnot, který stejně jako u rozpětí tlouštěk komprimovaného prsu připisujeme změnám v glandularitě prsů.



Obrázek 18 – Bodový graf vývoje střední dávky v mléčné žláze k tloušťce komprimovaného prsu

4 DISKUZE

Vypočítané hodnoty střední dávky v mléčné žláze byly nejprve seřazeny podle tloušťky komprese zařazeny do odpovídajících rozpětí, vypočtené hodnoty průměrů a mediánů střední dávky v mléčné žláze byly porovnány s:

- a) Národními diagnostickými referenčními úrovněmi (Vyhláška č. 422/2016 Sb., příloha č. 22),
- b) Doporučením Evropské unie pro zajištění kvality v mamografickém screeningu a diagnostice (Perry et al., 2013, s. 24),
- c) Studie Poulové, Urminské-Klozové, Kohoutové a Grepla (2013).

ad a) Národní diagnostické referenční úrovně (NDRÚ)

Národní diagnostické referenční úrovně určují střední dávku v mléčné žláze pro konkrétní rozsah tlouštěk komprimovaného prsu v CC projekci. Pouze 92 ze 182 expozic provedených u 91 žen odpovídalo rozsahu tlouštěk komprimovaného prsu dle NDRÚ.

V tabulce 8 jsou uvedeny rozsahy tlouštěk komprese dle NDRÚ, střední dávka v mléčné žláze dle NDRÚ, vypočítaný průměr a medián střední dávky v mléčné žláze pro konkrétní počet expozic ve vzorku. Pro přehlednost byl vytvořen sloupcový graf (obrázek 19), kde je graficky znázorněno zmíněné porovnání středních dávek v mléčné žláze.

Z tabulky a grafu byly vyřazeny dva rozsahy tlouštěk komprimovaného prsu:

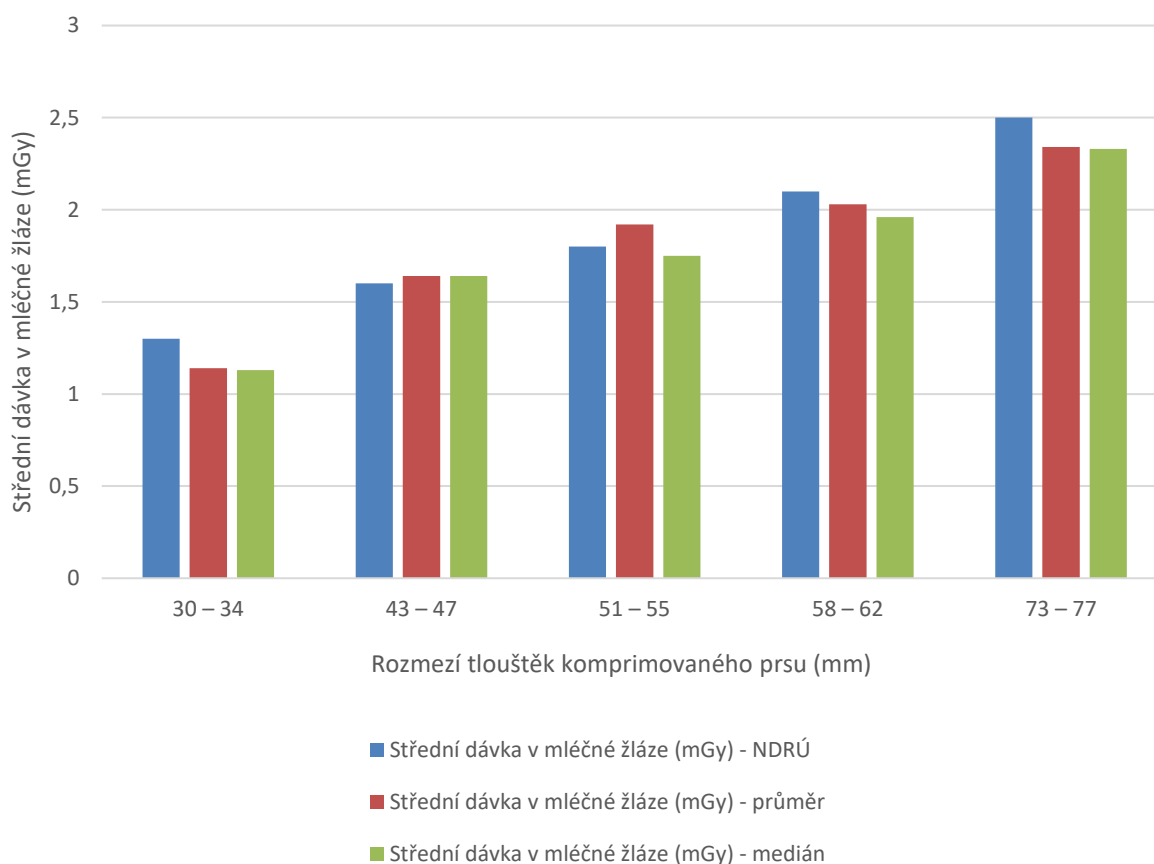
- 19–23 mm: v souboru vyhodnocovaných expozic nebyla nalezena žádná odpovídající hodnota,
- 85–95 mm: byla nalezena pouze jedna expozice, proto nelze toto rozmezí tlouštěk adekvátně zhodnotit.

Průměry vypočítaných středních dávek v mléčné žláze pro dané rozsahy tlouštěk komprimovaného prsu víceméně odpovídaly hodnotám NDRÚ. Odchyly se vyskytly u dvou rozsahů tlouštěk komprimovaného prsu. U rozsahu tlouštěk komprimovaného prsu od 43–47 mm byl průměr střední dávky v mléčné žláze o 0,04 mGy (2,5 %) vyšší než stanovené hodnoty NDRÚ. U rozsahu tlouštěk komprimovaného prsu od 51–55 mm byl průměr střední dávky v mléčné žláze o 0,12 mGy (6,67 %) vyšší než stanovené hodnoty NDRÚ.

Uvedené odchylky lze přisuzovat zahrnutí extrémních hodnot. Při porovnání hodnot mediánů středních dávek v mléčné žláze pro stanovené rozsahy tloušťky komprimovaného prsu se od hodnot NDRÚ odchýlila pouze hodnota vypočtená pro tloušťku komprimovaného prsu v rozsahu 43–47 mm, a to o 0,04 mGy (2,5 %) z hodnoty NDRÚ.

Tabulka 9 – Porovnání hodnot NDRÚ a vypočítaných hodnot středních dávek v mléčné žláze (Tabulka dle Vyhlášky č. 422/2016, přílohy č. 22 a vlastních dat)

Tloušťka prsu po kompresi (mm)	Střední dávka v mléčné žláze (mGy)	Střední dávka v mléčné žláze (mGy) průměr	Střední dávka v mléčné žláze (mGy) medián	Počet expozic ve vzorku
	<i>NDRÚ</i>	<i>Bakalářská práce</i>	<i>Bakalářská práce</i>	<i>Bakalářská práce</i>
30 – 34	1,30	1,14	1,13	5
43 – 47	1,60	1,64	1,64	19
51 – 55	1,80	1,92	1,75	36
58 – 62	2,10	2,03	1,96	17
73 – 77	2,50	2,34	2,33	14



Obrázek 19 – Sloupcový graf porovnání NDRÚ a vypočítaných hodnot průměru a mediánu středních dávek v mléčné žláze

ad b) Doporučení Evropské unie pro zajištění kvality v mamografickém screeningu a diagnostice

Tabulka 10 prezentuje porovnání Doporučení Evropské unie pro zajištění kvality v mamografickém screeningu a diagnostice a vypočítaných hodnot pro daný počet expozičních vzorků. Pro konkrétní tloušťky komprimovaného prsu (tj. 21 mm, 32 mm, 45 mm, 53 mm, 60 mm, 75 mm, 90 mm) bylo nalezeno pouze 12 expozičních ze 182 expozičních provedených u 91 žen, proto byly do souboru zařazeny i hodnoty středních dávek v mléčné žláze vypočtené pro prsy s tloušťkou komprese v rozsahu ± 2 mm od stanovených hodnot.

Průměry vypočítaných středních dávek v mléčné žláze pro dané rozsahy tlouštěk komprimovaného prsu víceméně odpovídaly hodnotám Evropského doporučení. Odchytky se vyskytly u dvou rozsahů tlouštěk komprimovaného prsu. U rozsahu tlouštěk komprimovaného prsu od 30–34 mm byl průměr střední dávky v mléčné žláze o 0,14 mGy (14 %) vyšší než stanovené hodnoty Evropského doporučení. U rozsahu tlouštěk komprimovaného prsu od 43–47 mm byl průměr střední dávky v mléčné žláze o 0,04 mGy (2,5 %) vyšší než stanovené hodnoty Evropského doporučení. Při porovnání hodnot mediánů středních dávek v mléčné žláze pro stanovené rozsahy tlouštěk komprimovaného prsu se od hodnot Evropského doporučení odchýlily stejné dvě hodnoty jako v případě průměrů, a to u rozsahu tlouštěk komprimovaného prsu od 30–34 mm o 0,13 mGy (13 %) a 43–47 mm o 0,04 mGy (2,5 %). Uvedené odchytky lze přisuzovat malému počtu expozičních vzorků (pouze 5 expozičních pro 30–34 mm) a současně i ponechání extrémních hodnot v posuzovaném souboru.

Tabulka 10 – Porovnání hodnot Evropského doporučení a vypočítaných hodnot středních dávek v mléčné žláze

Tloušťka prsu po kompresi (mm)	Střední dávka v mléčné žláze (mGy)	Střední dávka v mléčné žláze (mGy) průměr	Střední dávka v mléčné žláze (mGy) medián	Počet expozičních ve vzorku
	<i>Evropské doporučení</i>	<i>Bakalářská práce</i>	<i>Bakalářská práce</i>	<i>Bakalářská práce</i>
30 – 34	≤ 1,0	1,14	1,13	5
43 – 47	≤ 1,6	1,64	1,64	19
51 – 55	≤ 2,0	1,92	1,75	36
58 – 62	≤ 2,4	2,03	1,96	17
73 – 77	≤ 3,6	2,34	2,33	14

ad c) Studie Poulové, Urminské-Klozové, Kohoutové a Grepla

Tabulka 11 prezentuje porovnání středních dávek v mléčné žláze pro konkrétní tloušťky komprimovaného prsu dle NDRÚ. Poulová a kol. do studie nezahrnuli rozmezí tlouštěk komprimovaného prsu od 30–34 mm, proto nebylo toto rozmezí hodnoceno. Vypočítané hodnoty střední dávky v mléčné žláze vychází v porovnání se studií Poulové a kol. mírně vyšší. Obě studie byly provedeny na identických mamografických přístrojích. Vyšší vypočtené hodnoty D_G oproti studii Poulové a kol. z ledna 2013 lze přisuzovat rozdílné metodice stanovení hodnot středních dávek v mléčné žláze, ale i opotřebení mamografických přístrojů v době sběru dat.

Tabulka 11 – Porovnání hodnot studie Poulová a kol. a vypočítaných středních dávek v mléčné žláze

Tloušťka prsu po kompresi (mm)	Střední dávka v mléčné žláze (mGy)	Střední dávka v mléčné žláze (mGy) průměr	Střední dávka v mléčné žláze (mGy) medián	Počet expozič ve vzorku
	<i>Poulová a kol.</i>	<i>Bakalářská práce</i>	<i>Bakalářská práce</i>	<i>Bakalářská práce</i>
43 – 47	1,35	1,64	1,64	19
51 – 55	1,58	1,92	1,75	36
58 – 62	1,93	2,03	1,96	17
73 – 77	1,98	2,34	2,33	14

5 ZÁVĚR

Cíle stanovené ve výzkumné části bakalářské práce byly splněny. Byl proveden sběr dat a výpočty středních dávek v mléčné žláze. Vypočtené hodnoty střední dávky v mléčné žláze byly seřazeny podle tloušťky komprese, expozičního napětí a přídavné filtrace. Z výsledných hodnot byla nalezena pravidla pro vliv tloušťky komprimovaného prsu na: napětí, filtraci a střední dávku v mléčné žláze, která potvrdila stanovené hypotézy.

Se vzrůstající tloušťkou komprimovaného prsu se zvyšovala i hodnota expozičního napětí. Při překročení tloušťky komprese 70 mm došlo ke změně přídavné filtrace z Rh na Ag a poklesu napětí, s dalším růstem tloušťky komprimovaného prsu se napětí opět postupně zvyšovalo. Se vzrůstající tloušťkou komprimovaného prsu se postupně zvyšovala i glandulární dávka. Výkyvy hodnot byly zaznamenány u rozmezí tlouštěk komprimovaného prsu 65–69 mm. Tento výkyv lze přisuzovat zvýšení napětí mezi 60–64 a 65–69 mm o dva kilovoly a související lepší penetrační schopnosti záření s vyšší energií spektra. Příčinou však mohlo být rovněž složení skupiny posuzovaných expozičních hodnot bez vyloučení extrémních hodnot. Výkyv hodnot u tlouštěk komprimovaného prsu 84 a 86 mm přisuzujeme ojedinělému výskytu prsů s uvedenými tloušťkami komprese ve skupině posuzovaných expozičních hodnot. Přičemž vliv věkových kategorií žen na vyšší dávky u prsů s tloušťkou komprimovaného prsu 84 a 86 mm se neprokázal.

Největší zastoupení tlouštěk komprimovaného prsu u všech vyšetřených žen bylo v rozmezí 49–66 mm. Hodnoty průměrné tloušťky komprimovaného prsu byly 56 mm u věkové kategorie A (40–49 let) a 57 mm u věkové kategorie B (50–64 let).

Dílčí cíl bakalářské práce – seznámit se s historií mamografie, mamografickým přístrojem a jeho komponenty, principy mamografického zobrazování, ověřováním vlastností mamografických přístrojů a jejich příslušenství, přípravou a postupy mamografického vyšetření, mamografickým screeningem, biologickými účinky ionizujícího záření a vybranými jednotkami používanými v radiační ochraně byl splněn v teoretické části bakalářské práce.

Tloušťka komprimovaného prsu má zásadní vliv na radiační zátěž pacienta. Je žádoucí, aby komprese prsu byla dostatečná, tj. v rozmezí od 80–120 N, jak je doporučeno ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví České republiky – Národních radiologických standardech a indikačních kritériích – Mamografie, z roku 2021.

Téma vybízí k dalšímu výzkumu, a to vlivu flexibilně tvarované kompresní desky na střední dávku v mléčné žláze. Tato otázka nebyla do bakalářské práce zahrnuta z kapacitních důvodů.

6 POUŽITÁ LITERATURA

ABRAHÁMOVÁ, Jitka, 2019. *Co byste měli vědět o rakovině prsu. 2.*, aktualizované a doplněné vydání. Praha: Grada. 172 s. ISBN 978-802-7120-550.

BARTOŇKOVÁ, H, 2002. *Manuál prevence a časně detekce nádorových onemocnění: prevence nádorových onemocnění ve 21. století.* Brno: Masarykův onkologický ústav. 94 s. ISBN 80-238-9513-3.

DANEŠ, Jan, 2002. *Základy mamografie: vybrané kapitoly pro lékaře a laborantky.* Praha: X-Egem. 199 s. ISBN 80-719-9062-0.

DANEŠ, Jan, 2004. *Mamografie, diagnostika a screening rakoviny prsu. Moderní babcí [online].* Praha. (4), 6. 6 s. [cit. 2020-08-06]. Dostupné z: <https://www.levret.cz/publikace/casopisy/mb/2004-4/?pdf=135>

DANEŠ, Jan, 2005. Máme evropskou úroveň. *Rentgen bulletin [online].* Praha: Státní ústav radiační ochrany. 4 s. [cit. 2020-08-06]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rentgen6-2005.pdf>

FERDA, Jiří, Hynek MÍRKA, Jan BAXA a Alexander MALÁN, 2015. *Základy zobrazovacích metod.* Praha: Galén. 148 s. ISBN 978-807-4921-643.

GOLD, Richard, Lavrence BASSETT a Bobbi WIDOFF, 1990. *Radiologic History Exhibit: Highlights from the History of Mammography.* In: RadioGraphics [online]. Los Angeles, **10**(6), 21 s. [cit. 2021-03-07]. ISSN 1111-1131. Dostupné z: <https://pubs.rsna.org/doi/pdf/10.1148/radiographics.10.6.2259767>

HLADÍKOVÁ, Zuzana, 2009. *Diagnostika a léčba onemocnění prsu.* Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 105 s. ISBN 978-80-244-2268-8.

Hologic, 2008. *Selenia Installation and Hardware Maintenance Manual: Part Number MAN-00745.* In: Slideshare [online]. USA: Hologic. 236 s. [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/juanandrade17/lorad-4-selenia>

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

KODL, Otto, Alena HERIBANOVÁ a František URBAN, 2007. *Radiační ochrana při zubních radiodiagnostických vyšetřeních*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Havlíček Brain Team. Studijní pomůcky (Česká stomatologická komora). 80 s. ISBN 978-80-87109-04-5.

KODL, Otto, Eva JURSIKOVÁ, 2005. *Požadavky na mamografické zařízení screeningového pracoviště*. Rentgen bulletin [online]. Praha: Státní ústav radiační ochrany. 4 s. [cit. 2020-08-06]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rentgen6-2005.pdf>

KOLEKTIV AUTORŮ, 2019. *Radiační ochrana: pro vybrané pracovníky* [online]. Brno: ČEZ a.s. Učební texty pro přípravu personálu. 117 s. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/skoleni/skoldohprac/zoz_ro.pdf

MALÍKOVÁ, Hana, 2019. *Základy radiologie a zobrazovacích metod*. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum. 156 s. ISBN 978-80-246-4036-5.

Mamo.cz: Epidemiologie karcinomu prsu, 2019a. In: *Mamo.cz: Program mamografického screeningu v České republice* [online]. Brno: Masarykova univerzita. [cit. 2020-11-30]. ISSN 1804-0861. Dostupné z: <https://www.mamo.cz/cs/lekari/epidemiologie-karcinomu-prsu/#ceska-republika>

Mamo.cz: Sedmnáct let mamografického screeningu v ČR: programu se účastní necelé dvě třetiny žen, 2019b. In: *Mamo.cz: Program mamografického screeningu v České republice* [online]. Brno: Masarykova univerzita. [cit. 2020-11-30]. ISSN 1804-0861. Dostupné z: <https://www.mamo.cz/news-detail/cs/292-sedmnact-let-mamografickeho-screeningu-v-cr-programu-se-ucastni-necele-dve-tretiny-zen/>

MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY, 2010. Doporučený standard pro poskytování screeningu karcinomu prsu a provádění diagnostické mamografie v České republice. *Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky* [online]. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR, roč. 2010, částka 4, s. 4-34, ISSN: 1211-0868. [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/wp-content/uploads/wepub/3705/36344/Vestnik%20MZ%20CR%204-2010.pdf>

MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY, 2011. Standardy zdravotní péče – národní radiologické standardy – radiologická fyzika „postupy pro stanovení a hodnocení dávek pacientů při lékařském ozáření“. *Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky* [online]. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR, roč. 2011, částka 9, s. 24-98, ISSN: 1211-0868. [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/wp-content/uploads/wepub/5340/36204/Vestnik%20MZ%20CR%209-2011.pdf>

MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY, 2015. Stanovení a hodnocení dávek pacientů v rentgenové diagnostice a při intervenčních metodách. *Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky* [online]. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR, roč. 2015, částka 6, s. 8-19, ISSN: 1211-0868. [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: https://www.csfm.cz/userfiles/file/Legislativa/Vestniky-MZ/zdravotnictvi_06-15.pdf

MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY, 2021. Národní radiologické standardy a indikační kritéria – Mamografie. *Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky* [online]. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR, roč. 2021, částka 3, s. 2-18, ISSN: 1211-0868. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: https://www.mzcr.cz/wp-content/uploads/2021/03/Vestnik-MZ_3-2021.pdf

PATRŇÁ, Marta, 2008. Historie mamografie. *Praktická radiologie*. **13**(4), s. 10-11. ISSN 1211-5053.

PERRY, N., M. BROEDERS, C. DE WOLF, S. TÖRNBERG, R. HOLLAND a L. VON KARSA, ed, 2013. *European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis: Fourth edition, supplements*. 4. vydání. Belgie: Evropská unie. ISBN 978-92-79-32970-8.

PODZIMEK, František, 2013. *Radiologická fyzika: fyzika ionizujícího záření*. V Praze: České vysoké učení technické. 334 s. ISBN 978-80-01-05319-5.

POULOVÁ, Zuzana, Hana URMINSKÁ-KLOZOVÁ, Jitka KOHOUTOVÁ a Jakub GREPL, 2013. *Radiační zátěž na prsní žlázu nejen při screeningovém vyšetření* [online]. In: *linkos.cz* [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/radiacni-zatez-na-prsni-zlazu-nejen-pri-screeningovem-vysetreni/>

ROZLÍVKA, RNDr. Zdeněk, 2006. *Radiační ochrana na pracovištích s diagnostickými rentgeny ve zdravotnictví*. Pardubice: UNIT spol. s.r.o.. UNIT spol. s.r.o. Studijní materiál. Lektor Ing. Marcela Žáková. 100 s.

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

SKÁLA, Bohumil, 2011. *Obecně preventivní a vyhledávací postupy u nádorových onemocnění v primární péči: doporučený diagnostický a léčebný postup pro všeobecné praktické lékaře 2011*. Praha: Společnost všeobecného lékařství ČLS JEP. 24 s. ISBN 978-80-86998-49-7.

SKOVAJSOVÁ, Miroslava, 2003. *Mamodiagnostika: integrovaný přístup*. Praha: Galén. 299 s. ISBN 80-726-2220-X.

SKOVAJSOVÁ, Miroslava, 2012. *Screening nádorů prsu v České republice*. Praha: Maxdorf. Ambulantní gynekologie. 87 s. ISBN 978-80-7345-310-7.

STRNAD, P, 2014. *Nemoci prsu v každodenní praxi*. Praha: Maxdorf. Jessenius. 146 s. ISBN 978-80-7345-390-9.

SÚKUPOVÁ, Lucie, 2018. *Radiační ochrana při rentgenových výkonech - to nejdůležitější pro praxi*. Praha: Grada Publishing. 280 s. ISBN 978-80-271-0709-4.

SÚKUPOVÁ, Lucie, 2019. *Jak se mění dávka pacientovi se změnou expozičních parametrů?* [online]. In: sukupova.cz. Elektronický příspěvek. 21.10.2019 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/jak-se-meni-davka-pacientovi-se-zmenou-expozicnich-parametru/>

Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2016, částka 172, s. 6629-6656. ISSN 1211-1244. Dostupné také z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/sb0172-2016.pdf>