

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA JADERNÁ A FYZIKÁLNĚ INŽENÝRSKÁ  
KATEDRA DOZIMETRIE A APLIKACE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
**Zkoušky provozní stálosti v mamografii**

Autor: Natálie Peterková  
Vedoucí práce: Ing. Kateřina Daníčková  
Praha, 2023

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Peterková** Jméno: **Natálie** Osobní číslo: **494703**  
Fakulta/ústav: **Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření**  
Studijní program: **Radiologická technika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Zkoušky provozní stálosti v mamografii**

Název bakalářské práce anglicky:

**Quality control of mamographic unit**

Pokyny pro vypracování:

1. Vyhledat informace a sepsat úvod o zobrazovacím procesu v mamografii.
2. Vypracovat přehled doporučení pro provádění zkoušek na mamografickém pracovišti v ČR (včetně připravovaného doporučení SÚJB v dostupné verzi) i jinde ve světě, a to včetně doporučených testů specifikovaných výrobcí daných zařízení.
3. Syntetizovat tyto informace a vytvořit metodiky a vzorový protokol pro zkoušky provozní stálosti mamografických zařízení s přímou digitalizací obrazu (FFDM) pro konkrétní pracoviště.
4. Ověřit funkčnost metodiky protokolu pro zkoušky provozní stálosti mamografických zařízení s přímou digitalizací obrazu (FFDM) na konkrétním pracovišti praktickým měřením a hodnocením výsledků ve spolupráci s místním klinickým radiologickým fyzikem.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Národní radiologické standardy a indikační kritéria – Mamografie, Věstník MZ ČR 3/2021.
- [2] ACR Digital Mammography QC Manual, ACR 2018, revised 2020.
- [3] European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis, Fourth Edition (2013 + updates 2017).
- [4] Quality Controls in Digital Mammography, EFOMP Mammo Working Group Protocol, March 2015.
- [5] připravované doporučení SÚJB pro QC v digitální mamografii

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Kateřina Daníčková katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření FJFI**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

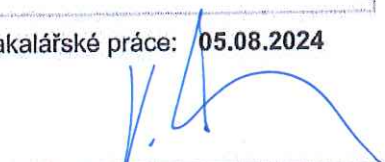
Datum zadání bakalářské práce: **02.10.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.08.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

  
Ing. Kateřina Daníčková  
podpis vedoucí(ho) práce

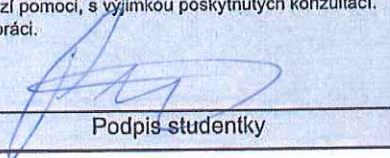
  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
doc. Ing. Václav Čuba, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

16. 10. 2023  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studentky



## PROHLÁŠENÍ

Já níže podepsaná

Příjmení, jméno studenta: **Peterková Natálie**

Osobní číslo: **494703**

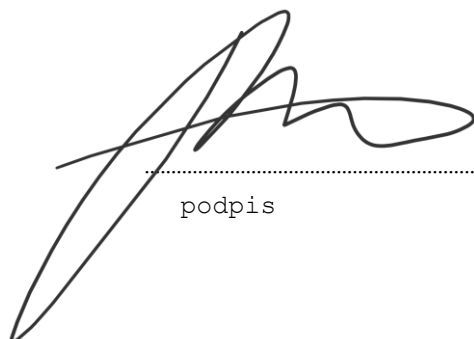
Název studijního programu: **Radiologická technika**

prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci s názvem

### ***Zkoušky provozní stálosti v mamografii***

vypracovala samostatně a uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací a Rámcovými pravidly používání umělé inteligence na ČVUT pro studijní a pedagogické účely v bakalářském a navazujícím magisterském studiu.

V Praze dne **3.1.2025**



.....  
podpis

Děkuji Ing. Kateřině Daničkové za vedení bakalářské práce. Mé poděkování patří též Ing. Daše Švaříkové za pomoc při zpracování dat i korektuře.

Natálie Peterková

*Název práce:*

**Zkoušky provozní stálosti v mamografii**

*Autor:* Natálie Peterková

*Studijní program:* Radiologická technika

*Druh práce:* Bakalářská práce

*Vedoucí práce:* Ing. Kateřina Daníčková  
Fakultní nemocnice v Motole

*Abstrakt:* Bakalářská práce se zaměřuje na mamografii jako základní diagnostickou metodu, která klade důraz na precizní nastavení přístroje a optimalizaci parametrů s cílem dosáhnout maximální kvality snímků při minimální expozici pacientky ionizujícímu záření. Práce systematicky porovnává tři nejnovější mezinárodní standardy (EFOMP, ACR a SÚJB). Na základě této rešerše je navržena metodika pro zařízení Planmed Nuance Excel, která obsahuje protokol v programu Microsoft Excel. Cílem této práce je poskytnout informace pro zlepšení postupů kontroly mamografických zařízení, což by mělo přispět k zlepšení diagnostických výsledků a bezpečnosti pacientek podstupujících mamografická vyšetření.

*Klíčová slova:* Mamografie, Zkoušky provozní stálosti, Metodika, Protokol

*Title:*

**Quality control of mamographic unit**

*Author:* Natálie Peterková

*Abstract:* The bachelor thesis focuses on mammography as a basic diagnostic method, which implies on the precise setting of the device and optimization of parameters in order to achieve maximum image quality with minimal exposure of the patient to ionizing radiation. The work systematically compares the three latest international standards (EFOMP, ACR and SUJB). Based on this search, a methodology for the Planmed Nuance Excel device is proposed, which includes a protocol in Microsoft Excel. The goal of this work is to provide information to improve the inspection procedures of mammography facilities, which should help to improve diagnostic outcomes and safety of patients undergoing mammography examinations.

*Key words:* Mamography, Quality controls, Methodology, Protocol

# Obsah

<b>1</b>	<b>Zobrazovací řetězec v mammografii</b>	<b>10</b>
1.1	Rentgenka . . . . .	11
1.2	Filtr . . . . .	12
1.3	Komprese . . . . .	12
1.4	Protirozptylová mřížka . . . . .	13
1.5	Receptor obrazu . . . . .	14
1.6	Expoziční automatika a řízení expozice . . . . .	15
1.7	Zobrazení . . . . .	16
1.8	Planmed Nuance Excel . . . . .	17
<b>2</b>	<b>Přehled doporučení pro provádění ZPS</b>	<b>18</b>
2.1	Vizuální kontrola . . . . .	19
2.2	AEC . . . . .	20
2.3	Rozlišení při nízkém kontrastu . . . . .	24
2.4	Rozlišení při vysokém kontrastu . . . . .	25
2.5	Komprese . . . . .	26
2.6	Analýza opakovaných snímků . . . . .	27
2.7	Systém zobrazení . . . . .	28
<b>3</b>	<b>Návrh ZPS pro FN Motol</b>	<b>33</b>
3.1	Analýza dat FN Motol . . . . .	33
3.1.1	Tloušťka prsu . . . . .	33
3.1.2	Síla komprese . . . . .	34
3.2	Metodika . . . . .	34
3.2.1	Vizuální kontrola . . . . .	36
3.2.2	AEC . . . . .	37
3.2.3	Rozlišení při nízkém kontrastu . . . . .	41
3.2.4	Rozlišení při vysokém kontrastu . . . . .	42
3.2.5	Komprese . . . . .	43
3.2.6	Analýza opakovaných snímků . . . . .	45
3.2.7	Systém zobrazení . . . . .	46

<b>4 Protokol</b>	<b>50</b>
4.1 2024 - nové . . . . .	50
4.2 Roční shrnutí . . . . .	51
<b>5 Diskuze</b>	<b>52</b>
<b>Literatura</b>	<b>55</b>
<b>Seznam obrázků</b>	<b>58</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>59</b>

# Zkratky a definice

ACR	American College of Radiology
AEC	Expoziční automatika (Automatic Exposure Control)
CNR	Poměr kontrastu a šumu (Contrast to noise ratio)
DICOM	Formát snímků (Digital Imaging and Communications in Medicine)
EFOMP	European Federation of Organizations for Medical Physics
PACS	Systém určen pro bezpečnou a důvěryhodnou elektronickou výměnu obrazové zdravotnické dokumentace (Picture Archiving and Communication System)
PMMA	Polymethylmethakrylát, běžně známý jako plexisklo nebo akrylátové sklo
RA	Radiologický asistent
RF	Radiologický fyzik
ROI	Oblast zájmu (Region of interest)
RT	Radiologický technik
SDNR	Poměr signálu a šumu normovaný k dávce (Signal to noise ratio to dose)
SNR	Poměr signálu a šumu (Signal to noise ratio)
SOLF	Samostatné oddělení lékařské fyziky Fakultní nemocnice v Motole
UNIS	Univerzální nemocniční informační systém
FNM	Fakultní nemocnice Motol

# Úvod

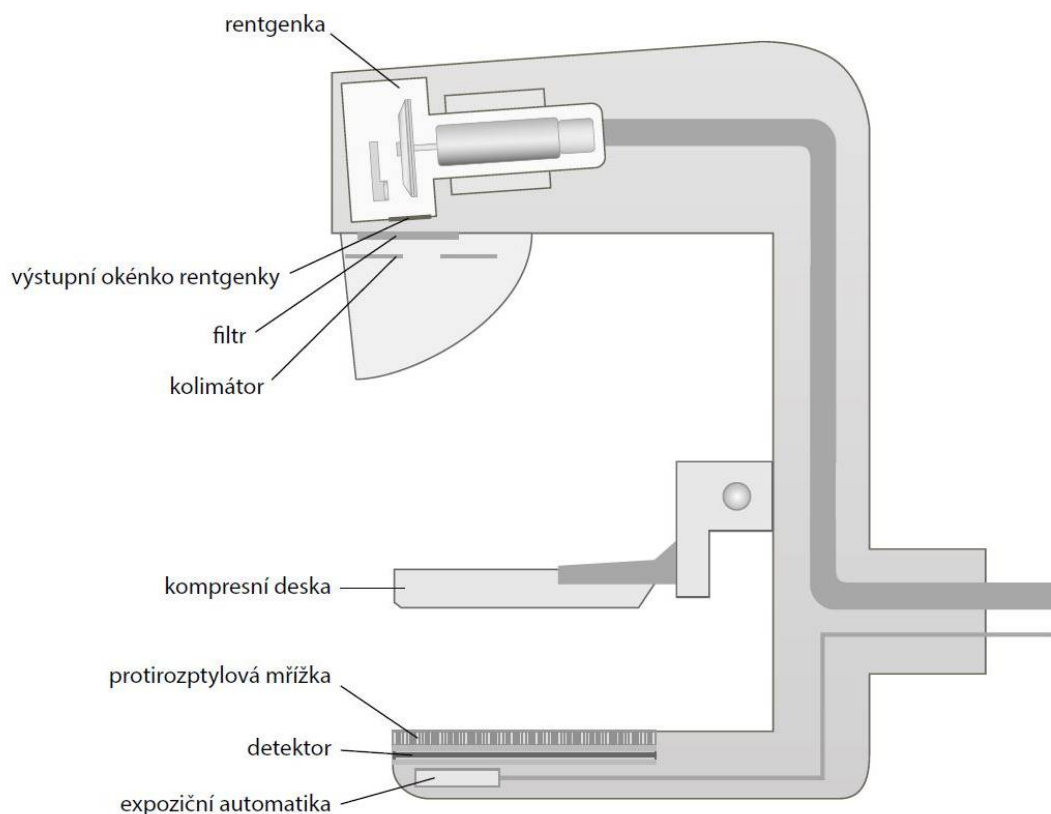
Třetím nejčastějším nádorovým onemocněním u žen (v roce 2018) byl karcinom prsu. V roce 2018 to byla čtvrtá nejčastější příčina úmrtí ze všech onkologických diagnóz. Incidence tohoto onemocnění narůstá od 40 let věku, nejvyšší výskyt je ve věkové kategorii 60–74 let. Prognózu onemocnění určuje zejména stadium (pokročilost onemocnění), ve kterém byla nemoc diagnostikována. V I. stadiu dosahuje 5letého přežití 100 % patientek, zatímco ve stadiu IV. pouze kolem 25 %). [8] Vzhledem k uvedené statistice byl v České republice v roce 2002 zaveden mamografický screening, který je plně hrazen pojišťovnou. Screening zvyšuje pravděpodobnost diagnózy onemocnění v časném stadiu a tedy i pravděpodobnost přežití. [6]

Mamografie je tedy v tomto směru základní diagnostickou metodou a vzhledem k jejímu screeningovému využití vyžaduje precizní nastavení přístroje a optimalizaci parametrů pro dosažení maximální kvality snímku při minimální expozici pacientky ionizujícímu záření. S přechodem od analogových k digitálním technologiím se mění i způsob kontroly celého zobrazovacího systému. Tato práce v rešeršní části systematicky zkoumá tři nejnovější mezinárodními standardy a to od European Federation of Organizations for Medical Physics (EFOMP), American College of Radiology (ACR) a Státního ústavu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) v České republice. Na základě rešerší navrhuje metodiku založenou na kombinaci těchto přístupů upravenou dle specifík FN Motol a doporučení od výrobce mamografického zařízení Planmed Nuance Excel. Nová metodika obsahuje návodný protokol v programu Microsoft Excel, který slouží k usnadnění zápisu při provádění zkoušek provozní stálosti v praxi. Přístup zahrnuje jak technické specifikace zařízení, tak i klinické aspekty. Přínos práce spočívá v lepším a komplexnějším zajištění kvality technologického procesu mamografie a také v návrzích možností, jak se ještě více přiklonit ke klinické praxi při zkouškách provozní stálosti.

# Kapitola 1

## Zobrazovací řetězec v mammografii

Speciální mamografický systém má mnoho specifických atributů jako je např. kompresní deska nebo filtrace. Hlavní komponenty typického systému jsou zobrazeny na schématu na obrázku 1.1. Podrobnější specifika jednotlivých částí jsou popsána v této kapitole. Celý zobrazovací řetězec je seřazen z hlediska ionizujícího záření - od jeho vzniku, přes interakce v pacientovi, až po samotné zobrazení. Mamografický přístroj používaný pro diagnostiku se nijak neliší od toho screeningového.



Obrázek 1.1: Konstrukce mamografického systému [5]

## 1.1 Rentgenka

K vzniku rentgenového záření dochází v rentgenové trubici (rentgence, rentgenové lampě). Rentgenka je skleněná evakuovaná trubice, jejíž základními součástmi jsou katoda a anoda. Celá baňka je chlazená olejem a umístěna ve stínícím krytu s kolimátorem. Katoda je tvořena spirálovitě navinutým 0,2 mm tlustým vláknem z wolframu s příměsí thoria (to zvyšuje efektivitu emise elektronů a zároveň zvýší životnost katody). Vláknem je připojeno ke žhavicímu obvodu. Pokud obvodem, potažmo vláknem, prochází elektrický proud, dochází k jeho zahřívání a následné termoemisi elektronů. Množství emitovaných elektronů roste s teplotou. Uvolněné elektrony jsou fokusovány pomocí fokusáčnických mistichek do úzkého svazku, který je urychlován rozdílným elektrickým potenciálem mezi katodou a anodou. Tyto urychlené elektrony nakonec za vzniku rentgenového záření dopadají na anodu. [5]

Materiál anody je nejčastěji molybden ( $Z=42$ ) nebo rhodium ( $Z=45$ ). Charakteristické záření z K-slupky má u molybdenu energie 17,5 keV a 19,6 keV. U rhenia je to 20,2 keV a 22,7 keV. Tyto energie jsou optimální pro snímkování komprimovaného prsu. Stále častěji se také používá wolfram a to zejména kvůli vysokému atomovému číslu ( $Z=74$ ) a vysoké tepelné kapacitě (anoda může dosáhnout vyšších teplot, aniž by došlo ke zničení). Negativní vlastností wolframu je nežádoucí nízkoenergetické charakteristické záření z L-slupek (8-10 keV), což snižuje kontrast obrazu. Existence wolframové anody byla tedy podmíněna až nástupem digitálních technologií, kdy se kvalita a zejména kontrast obrazu zlepšují následným postprocesingem (to u filmu není možné). Zároveň je nutné využít vhodnou filtraci.

Mamografické rentgenky mají rotující anodu s úhlem sklonu terčíku od  $0^\circ - 16^\circ$ . Typická vzdálenost ohnisko-receptor obrazu je 65-70 cm. Z důvodu dostatečného pokrytí pole (s klasickými rozměry 24 x 30 cm) je celá rentgenka skloněna ještě o  $22^\circ - 24^\circ$ .

U běžné skiografie problematický heel efekt (intenzita svazku klesá ve směru katoda-anoda) je u mamografických vyšetření využíván, protože prs má směrem od hrudní stěny zmenšující se tloušťku. Katoda rentgenky pak směřuje k hrudní stěně pacientky (větší tloušťka prsu) a anoda směrem od hrudní stěny k bradavce.

Místo, kam na anodu dopadají urychlené fokusované elektrony uvolněné termoemisí z katody se nazývá ohnisko. Čím menší ohnisko, tím vyšší je kvalita obrazu (snižuje se totiž geometrická neostrost). Mamografická rentgenová trubice je vyráběna s dvěma ohnisky o rozměrech 0,3 a 0,1 mm, přičemž druhé jmenované se používá k zobrazování spot technikou (zvětšení obrazu). Větší ohnisko se používá pro standardní mamografická vyšetření. Důležitý rozdíl mezi mamografií a skiografií je nízké provozní napětí, pod 40 kV a také delší expoziční čas.

Používají se proudy do 100 mA pro větší (0,3 mm) ohnisko a do 25 mA pro menší (0,1 mm) ohnisko u molybdenových a rhodiových anod. Pokud má systém anodu wolframovou,

je možné, kvůli vyššímu bodu tání, použít vyšší proudy, do 50 mA pro malé ohnisko a až 200 mA pro velké ohnisko. Z tohoto důvodu jsou wolframové anody pro mamografii nejlepší volbou. Wolframové anody nalézají největší využití u digitální tomosyntézy.

Výstupní okénko o velmi malé tloušťce (0,5 - 1 mm) je vyrobeno z berylia ( $Z=4$ ). Okénko, díky nízkému atomovému číslu a malé tloušťce, odfiltruje nízkenergetické fotony (do 5keV), které nepřispívají k tvorbě obrazu a pouze zvyšují radiační zátěž. Zbytek záření prochází ven z rentgenky a po průchodu filtrem dopadá na kompresní desku, poté dále skrz pacienta až na detektor. [2]

## 1.2 Filtr

Materiál filtru se volí tak, aby kombinace použité anody a filtru umožnila získat spektra o potřebné energii. Filtr je možné v průběhu klinického provozu měnit. Kvůli velkému množství fotonů charakteristického záření o energiích používaných v mamografii je na anodu vhodný molybden. Filtrem se filtrují zejména fotony nízkých energií (nižších než energie píků charakteristického záření) a také příliš vysokých energií (vyšších než energie píků charakteristického záření). Při použití kombinace Mo/Mo jsou odfiltrovány jak fotony nízkých, tak vysokých energií a využívá se pro menší tloušťky komprimovaného prsu, případně u prsů s nižší denzitou. Kombinace Mo/Rh se využívá pro větší tloušťky, kdy potřebujeme spektrum s vyšší energií (to získáme kvůli K-hraně Rh). Kombinace Rh/Mo by nám odfiltrovala píky charakteristického záření a naopak by dostatečně neodfiltrovala oblast před a za nimi, proto nemá využití. Pokud bude tloušťka prsu taková, že nebude postačovat kombinace Mo/Rh, použije se Rh/Rh, které má charakteristické píky ve vyšších energiích, než molybdenové anody.

Vlivem nástupu digitálních systémů (tedy snazšího postprocesingu) se využívá anoda wolframová (s efektivnější produkcí záření), kde jsou pak filtry hliníkové, stříbrné nebo rhodiové. Spektrum z wolframové anody je kvůli vysokému počtu nežádoucích nízkenergetických fotonů nutné více filtrovat. [2]

## 1.3 Komprese

Kompresse prsu je nedílnou součástí mamografického vyšetření. Pevná komprese snižuje překrývající se anatomii, snižuje tloušťku tkáně a zmenšuje bezděčný pohyb prsou (dýchání). Dalším přínosem je menší geometrické rozostření anatomických struktur a nižší radiační dávka do prsních tkání. Kompresse také snižuje požadavky na dynamický rozsah detektoru a umožňuje vylepšení zpracování digitálního obrazu a jeho větší flexibilitu.

Kompresse je dosaženo pomocí kompresní desky připojené k mechanické sestavě. Plocha kompresní desky odpovídá velikosti obrazu na receptoru ( $18 \times 24$  cm nebo  $24 \times 30$  cm) a je zpravidla plochá a paralelní s podložkou. Má pravoúhlý okraj u hrudní stěny, aby došlo

k vytvoření jednolitě a na všech místech stejně tlusté tkáně, při použití přiměřené síly 100 N až 200 N. Kompresi nastavuje individuálně radiologický asistent při komunikaci s pacientkou. Přestože pevná komprese není pohodlná, je nezbytná pro kvalitní mamografii. [2]

## 1.4 Protirozptylová mřížka

Po průchodu záření pacientem (prsni tkání) prochází záření protirozptylovou mřížkou a dopadá na receptor obrazu.

Fotony letící ve směru receptoru obrazu se mohou cestou absorbovat nebo rozptýlit. Některé rozptýlené fotony se mohou dostat až na receptor obrazu, kde nejen že k tvorbě obrazu nepřispívají, ale i zhoršují kontrast obrazu. Snahou je tedy odstranit tyto rozptýlené fotony a zároveň je nutné, aby na receptor dopadlo dostatečné množství fotonů, které nesou informaci k tvorbě obrazu. SPR (scatter-to-primary-ratio) je množství rozptýleného záření, které je definováno jako poměr energie deponované v určité části od rozptýleného záření S a energie deponované ve stejné části od primárního záření P:

$$SPR = \frac{S}{P}. \quad (1.1)$$

SPR závisí na mnoha faktorech a u mamografie je jeho snížení obzvlášť důležité, neboť pracujeme s nízkokontrastním objektem. Rozptýlené záření dopadající na obrazový receptor lze značně snížit použitím protirozptylové mřížky nebo využitím tzv. air-gap techniky. V mamografii je umístěna mřížka mezi prsem a detektorem. Mamografické mřížky propouštějí asi 60 % až 70 % primárního rentgenového záření a absorbují 75 % až 85 % rozptýleného záření.

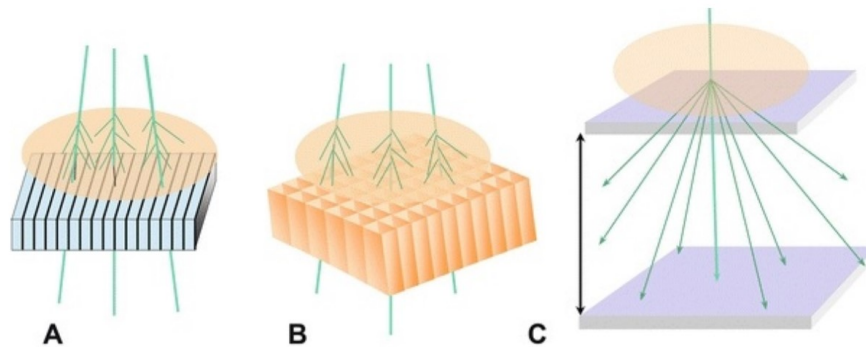
Lineární fokusované mřížky (na obrázku 1.2 A) jsou v mamografii běžně s poměrem mřížky (výška svodových přepážek děleno meziseptovou vzdáleností) 4-5 (např. výška 1,5 mm, 0,30 mm vzdálenost mezi septy, tloušťka septa 0,016 mm). Septa jsou většinou vyrobená z olova. Prostory mezi septy jsou vyrobeny z uhlíkových vláken (ideální by byl vzduch, ale to vzhledem malé pevnosti olova není možné). Typické jsou frekvence mřížky (počet párů septum-meziseptální prostor na cm) 30/cm až 45/cm. Aby se zabránilo vzniku artefaktů od mřížky, musí se mřížka pohybovat kolmo ke směru mřížky během expozice. Při příliš krátké expozici dochází vlivem malého pohybu mřížky k artefaktům.

Buněčná mřížka (na obrázku 1.2 B) vyrobená z tenkých měděných přepážek zajišťuje potlačení rozptylu ve 2D. Struktura buněčné mřížky je pevná, a proto je zde možné použít vzduch jako materiál mezi septy. Během získávání expozice se mřížka pohybuje jak ve směru osy x, tak ve směru osy y.

V mřížce je pohlceno velké množství záření (a to i toho, které přispívá k tvorbě obrazu) a proto je nutné zvýšit celkové množství produkovaných fotonů. Dávka pacientovi je pak 2-3 vyšší.

Air-gap technika (na obrázku 1.2 C) využívá toho, že vzduchová mezera snižuje rozptyl

zvětšením vzdálenosti prsu od detektoru, takže velká část rozptýleného záření mine detektor. Při použití air-gap techniky, dochází k přiblížení zobrazovaného objektu a tím pádem se zorné pole zmenší. Dávka na prs kvůli zmenšené vzdálenosti zdroje od objektu se zvětší. Nicméně dostatečně velká vzduchová mezera umožní snížení některých parametrů akvizice získávání (např. mAs) natolik, že dávka na prs je stejná jako u mamografická akvizice s mřížkou. Ztrátu kontrastu obrazu, ke které dochází, při air-gap technice, lze do značné míry obnovit technikami digitálního zpracování obrazu pro tloušťku komprimovaného prsu do 6 cm. Část výrobců nabízí možnost (jak technicky, tak softwarově) provést akvizici bez mřížky. [2]



Obrázek 1.2: Techniky proti rozptylu běžně používané v mamografii

- (A) Lineární mřížka - poměr mřížky cca 5 a meziprostorový materiál z uhlíkových vláken
- (B) Buněčná mřížka - konstrukce z měděného plechu s mřížkovým poměrem cca 3,8 a meziprostorový materiál vzduch
- (C) Air-gap technika - používaná na zvětšování.[2]

## 1.5 Receptor obrazu

Rentgenové záření po průchodu kompresní deskou, prsní tkáně a protirozptylovou mřížkou, dopadá na receptor obrazu. V mamografii se dříve využívali systémy film-folie, které byly postupně nahrazeny nepřímou digitalizací (CR technologie). Nejmodernější variantou je technologie přímé digitalizace. [5] Protože se v České republice pro mamografii používá již pouze technologie přímé digitalizace, bude následující odstavec věnován pouze té. [12]

**Flat panel detektory**, kde první slovo značí plošný či plochý, jsou tvořeny velkým množstvím detekčních elementů, pixely, uspořádaných do matice. Velikost pixelu se u mamografických detektorů pohybuje mezi 50-100  $\mu\text{m}$ . Detekční element obsahuje citlivou plochu a elektronickou součástku a jako celek slouží k zachycení elektronů vytvořených expozicí. Úroveň elektrického signálu v každém z těchto elementů koresponduje s intenzitou

záření, které dopadlo na konkrétní místo. Tento signál je následně odečítán elektronikou pomocí tzv. thin-film tranzistorové matice. Elektronika, tedy tranzistor, je zodpovědná za odečítání informace. V emitoru se akumuluje náboj vytvořený při expozici, kolektor je spojen s vyčítacími vodiči a báze je spojena s adresními vodiči. Během expozice je báze záporná (tranzistor nevodivý), při vyčítání se postupně aplikuje kladné napětí na vodiče a jsou postupně spínány vypínače (tranzistor se uzavře, stává se vodivým) umožňující sebrat náboj z emitoru příslušného detekčního elementu (tím umožňuje pohyb náboje od fotonásobiče/fotodiody ke zesilovači). Dále je signál převeden přes analogově-digitální převodník do digitální podoby v počítači. Existují dva hlavní typy flat panel detektorů: **Flat panel detektory s přímou konverzí** využívají vrstvu amorfního selenu (a-Se), která přímo přeměňuje dopadající fotony na elektrický náboj. Tato metoda umožňuje vytvoření velmi malých pixelů, což vede k vysokému prostorovému rozlišení. **Flat panel detektory s nepřímou konverzí** obsahují nejprve Cu vrstvu pro vytvoření tzv. build-upu dávky (nárůst dávky v důsledku relativně dlouhého dosahu sekundárně nabitých částic, vytvořených interakcí fotonů v pacientovi). Následuje vrstva scintilační látky, v mamografii prakticky pouze jodidu cesného (CsI), kde dopadající fotony vyvolávají světelné záblesky. Ty jsou následně zachyceny polovodičovými fotodiodami z amorfního křemíku (a-Si) na skleněném substrátu, kde dochází k uvolnění elektrického náboje. Tato konstrukce detektorů je v současné době nejčastěji používána.[2]

## 1.6 Expoziční automatika a řízení expozice

Expoziční automatika (AEC - Automatic Exposure Control) upravuje napětí a délku expozice. Zpravidla je u mamografu umístěna až pod receptorem. Nad receptorem by totiž způsobovala artefakty (na snímku by byl viditelný obrys AEC).[5] AEC využívá jeden nebo více senzorů záření, zesilovač náboje, napěťový komparátor a volič referenčního napětí pro řízení expozice. Princip řízení expozice spočívá v porovnání úrovně záření měřené detektorem s nastavenou referenční hodnotou. Pokud je úroveň signálu příliš nízká, řídicí obvod navýší expozici rentgenového zdroje. Pokud je úroveň signálu příliš vysoká, řídicí obvod sníží expozici rentgenového zdroje. U kazetových obrazových receptorů CR byl dozimetrický senzor umístěn pod kazetou. U flat panel detektorů (FPD) je signál AEC generován detektorem a oblast senzoru je vybrána uživatelem na konzoli generátoru jako výběr z několika (5) diskretních malých čtvercových oblastí rozmístěných rovnoměrně od středové osy (okraj hrudní stěny) přibližně do středu detektoru.

Algoritmy AEC využívají několik vstupů k dosažení konzistentního toku rentgenového záření, včetně tloušťky stlačeného prsu, kV, výběr materiálu anody (pokud je k dispozici) a volby filtrace. Operátor (radiologický asistent) má obvykle dvě nebo tři možnosti, jak nastavit AEC. První a také nejpoužívanější je plně automatický režim AEC, který nastavuje optimální kV a filtraci (a materiál terčíku anody na některých systémech) z krátké zkušební expozice v délce přibližně 100 ms, během které se stanoví propustnost prsou.

Druhou možností je automatický výběr kV s krátkou testovací expozicí v kombinaci s operátorem zvoleným materiálem anody a materiálem filtrace. Nejvíce variabilní je pak poslední možnost, kdy je automatická pouze doba expozice a to na základě manuálně nastaveného materiálu anody, filtru a hodnot kV. Méně automatická nastavení se využívají pro neobvyklé zobrazovací okolnosti jako je zobrazení prsou s implantáty, zvětšení nebo pro úpravu celkového SNR snímku.

Expozice kontrolovaná AEC, která překročí předem nastavenou dobu (např. delší než 5 s), je ukončena záložním časovačem. Taková situace může nastat, pokud dojde k poruše snímače AEC resp. zesilovače nebo pokud jsou kV nastaveny příliš nízko a tudíž prsem neprochází dostatečné množství rentgenového záření. V posledně uvedené situaci musí operátor zvolit vyšší kV, aby dosáhl vyšší pronikavosti záření a tím pádem kratší doby expozice.

Nepřesná odezva časovače AEC může mít za následek podexponování (krátká expozice) nebo přeexponování (dlouhá expozice) digitálního snímku. Nepřesná odezva může být způsobena složením prsní tkáně (tuková versus žlázová), heterogenitou, komprimovanou tloušťkou mimo rozsah kalibrace (příliš tenká nebo příliš silná), vadným senzorem nebo nevhodným nastavením kV. Pro extrémně tenká nebo tlustá prsa může být odezva příliš pomalá a expozice je ukončena později, což může způsobit přeexponování. Pokud je expozice ukončena příliš rychle mohou se na snímku objevit artefakty z mřížky kvůli nedostatku úplného pohybu mřížky během krátké expozice. Moderní AEC systémy při použití zcela automatického módu vyhodnotí celou exponovanou oblast detektoru a identifikují signál z nejvíce zeslabených oblastí prsu k měření adekvátně detekované plynulost pro tuto oblast před ukončením expozice. Tento režim by však neměl být používán při zobrazování prsou s implantáty. [2]

## 1.7 Zobrazení

Vzhledem k tomu, že nejčastější využití mamografických přístrojů je mamografický screening, jsou na prohlížení obrazové dokumentace mnohem vyšší nároky. Monitory musí splňovat přísnější parametry než monitory pro běžnou skiagrafií.

Čtení snímků by mělo být prováděno na zobrazovacích monitorech schválených FDA pro mamografii. Monitory mají rozlišení minimálně 5 MPx, vertikální orientaci s úhlopříčkou přibližně 53 cm, počet pixelů 2 560 x 2 048 a kalibrovaný udržitelný jas minimálně 450 cd/m<sup>2</sup>. Pokud by měl monitor nižší jas, je zobrazení mnohem citlivější vůči okolnímu osvětlení.

Typická konfigurace pracovních stanic zahrnuje dva 5 MPx monitory umístěné vedle sebe, alternativou je použití jednoho monitoru s rozlišením 10 - 12 MPx a úhlopříčkou 76-80 cm, který vytváří dva zobrazovací prostory o rozlišení alespoň 5 MPx. Součástí sestavy je také jeden běžný monitor sloužící pro zápis zprávy, vyhledávání a atp.

Všechny diagnostické monitory musí být zkalibrovány podle GSDF křivky, aby bylo zajištěno konzistentní a optimální zobrazení rozsahu šedých odstínů a anatomického kontrastu.[2]

## 1.8 Planmed Nuance Excel

Ve FN Motol je mamografický přístroj *Planmed Nuance Excel* s rokem výroby 2015. Typ rentgenky je *Varian, M113T*. Filtry jsou k dispozici *Rh* a *Ag*. Protirozptylová mřížka lineární s meziprostrovým materiálem z uhlíkových vláken. Detektor použitý v zařízení je *Planmed, EXCEL*. [9]

# Kapitola 2

## Přehled doporučení pro provádění ZPS

### Použitá doporučení a standardy pro ZPS

#### **Věstník Ministerstva zdravotnictví**

Nejaktuálnější Národní radiologické standardy a indikační kritéria pro mamografii obsahuje Věstník Ministerstva zdravotnictví 3/2021. Dokument se týká všech standardně poskytovaných výkonů a definuje standardní a dobrou praxi, která odpovídá současným poznatkům vědy a klinické medicíny. [12]

#### **Doporučení SÚJB**

Nejnovější doporučení z roku 2009 je dostupné na webových stránkách SÚJB, kde je také uvedeno, že bude revidováno.[11] V tomto doporučení jsou mimo jiné uvedeny také testy pro nedigitalizovaná pracoviště (kontola negatoskopu, stupně zčernání a fading), ty v této práci dále rozebírána nejsou, neboť žádné takové pracoviště už na území České republiky není evidováno. Od 1. 1. 2022 je i pro diagnostickou mamografii používán pouze FFDM (Full Field Direct Mammography) [12]. V této práci jsou testy z tohoto doporučení shrnuty a použity jako výchozí body pro aktualizaci ZPS. Z dalších doporučení a metodik jsou k nim doplněny obdobné testy.

#### **EUREF**

Čtvrté vydání Evropských standardů pro zajištění kvality screeningu a diagnostiky rakoviny prsu vydala Evropská komise v roce 2006. V následujících letech byly zpracovány další dodatky a v této práci je citováno čtvrté revidované vydání z roku 2013. V procesu přípravy je páté vydání. Tento zdroj (vydání z roku 2006) je uveden v Doporučení od SÚJB. V ohledu ZPS v něm nedošlo k žádným významným změnám a není tedy dále porovnáván.[3]

## ACR

American College of Radiology vydala v roce 2016 doporučení pro provádění testů v digitální mamografii, poslední aktualizací došlo v roce 2020. V tomto doporučení jsou používány specifické fantomy. ACR DM fantom (na obrázcích 2.1 a 2.2) odpovídá složením 50 % tukové tkáně a 50 % měkké tkáně, obsahuje voskový insert 2.3. Součástí doporučení od ACR jsou i tabulky s prostorem pro naměřená data. [1]

## EFOMP - Mammo Protocol

Nejnovější vydání mamografického protokolu od EFOMPu je z roku 2015 (vydáno 2017). Tento dokument se zaměřuje jen na nejdůležitější testy pro každou část zobrazovacího řetězce. EFOMP nepožaduje použití přesného fantomu, kromě části zaměřující se na kvalitu obrazu, jinak doporučuje řídit se legislativou dané země. Součástí doporučení je i protokol v Excelu určený k zápisu naměřených dat. [4]

## Doporučení od výrobce: Planmed Nuance/Nuance Excel - User's manuals

Obsahuje veškeré informace k měření výrobcem doporučovaných testů. V této kapitole není obsažen, protože se jedná o testy doporučované výrobcem, nejsou použitelné obecně. Je však zahrnut do zpracování metodiky v další kapitole. Původní metodika z něj vychází většinou bez úprav. [10]

## Metodika ZPS FN Motol

Metodika byla ve FN Motol vytvořena v roce 2017 a od té doby neprošla velkou aktualizací. Z velké části vychází z Doporučení SÚJB a Doporučení od výrobce. Protože její úprava je prováděna v následující kapitole, není v této kapitole více rozebírána. [7]

# 2.1 Vizuální kontrola

## Doporučení SÚJB

Cílem vizuální kontroly rtg zařízení a příslušenství je odhalení prasklin, kontrola kompletnosti vybavení a jeho funkčnost. Neodhalení těchto nedostatků může vést k opakování expozice, což je rozhodně nežádoucí.

Radiologický asistent průběžně kontroluje celé rtg zařízení, zejména pak kompresní desku, kde nesmí být praskliny delší než 5 mm nebo ostré hrany. Pohyblivé části zařízení musí být mechanicky funkční, stejně tak ovládací prvky celého zařízení. Světelné pole musí být viditelné při běžném osvětlení místnosti.

V případě nesplnění požadavků je na místě konzultace s odpovědnou osobou, která rozhodne o dalším postupu.

Tyto testy provádí průběžně (po každém zapnutí přístroje) radiologický asistent. [11]

## 2.2 AEC

### Doporučení SÚJB

Kontrola kompenzace tloušťky si klade za cíl ověřit správné fungování expoziční automatiky pomocí PMMA fantomů tlouštěk 3 cm, 4 cm, 6 cm s doporučenými rozměry většími než 15 cm x 10 cm pro obdélník nebo poloměr větší než 10 cm pro půlkruh.

Na podpěru se nejprve umístí nejtenčí fantom (3 cm) tak, že jeho hrana je na hraně podpěry ve směru k hrudní stěně, ve směru kolmém je fantom umístěn uprostřed. Proveďte komprese silou 50 - 100 N. Senzor AEC se nastaví do polohy co nejbližší k hrudní stěně. V režimu plné expozice se provede snímek a expoziční parametry se zaznamenají do tabulky. Vybere se ROI o velikosti 1 cm<sup>2</sup> zhruba uprostřed obrazu ve směru kolmém na hrudní stěnu pacientky a zhruba 6 cm vzdálená od okraje podpěry prsu ve směru k hrudní stěně. V této ROI se zaznamená střední hodnota pixelu a směrodatná odchylka. Stejným postupem získáme data pro zbylé tloušťky 4 cm a 6 cm.

Pokud dojde k odchýlení hodnot pixelů pro tloušťky 3 cm a 6 cm od tloušťky 4 cm o více jak 10 %, je nutné provést seřízení AEC servisním technikem.

Tento test provádí radiologický asistent jednou týdně.

Dlouhodobá reprodukovatelnost standardního nastavení expozice se kontroluje v rámci dlouhého časového období pomocí standardního testovacího fantomu nebo bloku PMMA o tloušťce 4 cm.

Fantom se umístí tak, aby jeho přední hrana byla přisazena k hraně podpěry u hrudní stěny a ve směru kolmém je fantom položen na střed. Proveďte komprese silou 50-100 N. Senzor AEC se nastaví do pozice nejbližší hrudní stěně a v režimu plné automatiky je provedena expozice. Zaznamenají se expoziční parametry. Uprostřed obrazu a cca 6 cm od hrudní stěny se vybere ROI o cca 1 cm<sup>2</sup> a zapíše se SNR.

SNR se porovná s referenčním (z výchozího testu) a absolutní hodnota odchylky oproti referenční nesmí překročit 10 %. Pokud dojde k překročení limitu, test se opakuje. Pakliže nevyhoví ani podruhé ale ostatní testy vyhovují, není nutné kontaktovat servisní firmu. Firma se kontaktuje až v případě stejného zjištění při další zkoušce.

Zkouška se provádí týdně radiologickým asistentem.

K ověření změny kermy na snímek v závislosti na změně stupňů zčernání se používá standardní testovací fantom, příp. PMMA tloušťky 4 cm.

Fantom je umístěn na prostředek podpěry a nastaví se tak, aby hranou přiléhal k hrudní stěně. Komprimuje se silou 50-100. Senzor expoziční automatiky se nastaví nejbližší k

hrudní stěně a v režimu plné automatiky se provede expozice. Zaznamenají se expoziční parametry. Zkouška se opakuje pro stupně zčernání o dva vyšší, resp. o dva nižší od klinicky používaného stupně zčernání.

Posuzuje se změna elektrického množství (mAs), nepřímo tak změna vstupní povrchové kermy, která má být v rozmezí 5 - 15 % při změně o jeden stupeň zčernání. Pokud tomu tak není, o dalším postupu rozhodne (po konzultaci s odpovědnou osobou) osoba provádějící test.

Test provádí osoba pověřená vykonáváním pololetních ZPS a to pololetně.

CNR se zjišťuje pro PMMA fantom tloušťky 5 cm s doporučenými rozměry většími než 15 cm x 10 cm pro obdélník nebo poloměr větší než 10 cm pro půlkruh spolu se zeslabující vrstvou Al (0,2 mm tloušťky, 10 x 10 cm<sup>2</sup>).

Fantom se umístí na podpěru prsu tak, aby u hrudní stěny přiléhal svojí hranou k hraně podpěry a v kolmém směru byl uprostřed podpěry. Na fantom je umístěna vrstva Al a to tak, že se nachází napravo od středu fantomu (ve směru rovnoběžném na hrudní stěnu) a střed Al vrstvy je zhruba 6 cm od hrudní stěny. Provede se komprese a to tak, aby kompresní deska doléhala na fantom. Provede se expozice a to v manuálním režimu s parametry blízkými režimu plné automatiky. Vytvoří se dvě ROI s rozměry cca 4 cm<sup>2</sup>, obě cca 6 cm od hrudní stěny. Jedna se bude nacházet na levé straně fantomu a druhá ve cca středu zeslabující vrstvy.

V obou ROI se odečtou střední hodnota pixelu a směrodatná odchylka. Vypočte se poměr kontrast-šum CNR. Odchylka od referenční hodnoty by neměla překročit 10 %.

Teto test provádí radiologický asistent týdně.

Ověření kompenzace tloušťky a napětí se provádí při klinicky používaném nastavení AEC. Kompenzace se testuje v rozsahu 2 -7 cm PMMA, je tedy pro test vhodné mít 7 desek o tloušťce 1 cm s rozměry alespoň 15 x 10 cm (případně půlkruhy s poloměrem alespoň 10 cm). Dalším potřebným vybavením je Al zeslabující vrstva 0,2 mm hliníku s doporučenými rozměry 10 x 10 cm.

Fantom 2 cm PMMA se umístí na podpěru tak, aby podélně byl uprostřed a hranou přisazen k hrudní stěně. Na vrchní fantom se položí zeslabující vrstva Al na pravou stranu (při pohledu od hrudní stěny) a střed vrstvy je 6 cm od hrudní stěny. Neprovádí se komprese, ale kompresní deska musí být v kontaktu s fantomem. Expozice se provede v manuálním módu při parametrech nastavených pro expozici 2 cm PMMA v režimu plné automatiky. Vytvoří se dvě ROI o cca 4 cm<sup>2</sup>, obě 6 cm vzdálené od hrudní stěny. Jedna ROI bude umístěna na levé straně, tedy pouze na PMMA, druhá na pravé straně, tedy na Al fantomu.

Vypočte se CNR (poměr kontrast šum). Měření se opakuje pro tloušťky PMMA 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm a 7 cm. Získané hodnoty CNR se porovnají s hodnotami pro 5 cm. Požadován je relativní poměr CNR dané tloušťky k CNR 5 cm konkrétní čísla jsou uvedeny

v tabulce 2.1. V případě nesplnění požadavků se zkouška opakuje. Pokud ani při opakovaní přístroj nevyhoví požadavkům, rozhodne o dalším postupu osoba provádějící zkoušku (po konzultaci s odpovědnou osobou).

Test provádí osoba pověřená prováděním testů ZPS pololetně.

Tloušťka PMMA (cm)	CNR (relativně k 5,0 cm PMMA) (%)
2	$\geq 115$
3	$\geq 110$
4	$\geq 105$
5	100
6	$\geq 95$
7	$\geq 90$

Tabulka 2.1: Požadované CNR v závislosti na tloušťce fantomu PMMA

## ACR

Pro výpočet CNR obrazu se použije ACR DM fantom.

Umístí se na podpěru prsu stejně jako na obrázku 2.1 a manuálně komprimuje přibližně 50 N. Při tomto testu je podstatné použít vždy stejnou sílu komprese. Indikovaná tloušťka by měla odpovídat reálné tloušťce fantomu. Zaznamenají se expoziční parametry snímku. Označí se dvě kruhové ROI (každá cca 1 cm<sup>2</sup>), jedna v tmavém kruhu na snímku a druhá vpravo vedle něj. CNR se pak spočítá z definice. Jeho hodnota musí být CNR  $\geq 2$  a zároveň musí být CNR  $\geq 85\%$  posledního testu. Při nevyhovění musí být korekce provedeny před klinickým použitím.

Test se provádí ročně.

Pro kontrolu funkce expoziční automatiky doporučuje jako fantom použít 4 nebo více tkáňově ekvivalentních desek (např. akryl, BR-12, BR-50), ze kterých se seskládá tloušťka 2, 4, 6, a 8 cm. Deska má tvar pulkruhu a rozměr průměrně velkého prsu.

Pokud je to možné, použije se menší kompresní deska, jinak se použije standardní deska. 2 cm fantom se umístí na podpěru prsu. Proveďte se komprese silou 50 N nebo se pouze sníží kompresní deska tak, aby došlo ke kontaktu desky a fantomu. Pokud je to možné sníží se citlivost ionizační komory na 0 a AEC senzor se umístí do středu fantomu. Nastaví se velké ohnisko. Proveďte se expozice v klinicky používaném módu. Zapiší se expoziční parametry.

Vytvoří se dvě kruhové ROI (každá cca 1 cm<sup>2</sup>), jedna v bude uprostřed snímku (pozadí) a druhá na fantomu zhruba 3 cm od hrudní stěny, a v kolmém směru vycentrovaná. Spočítá se SNR z definice.

Test se opakuje pro tloušťky 4, 6 a 8 cm.  
Test se doporučuje provádět ročně.

## EFOMP

Test krátkodobé reprodukovatelnosti AEC se provádí za účelem snížení opakování snímků a kontroly reprodukovatelnosti SDNR. EFOMP pro tento test doporučuje PMMA fantom o tloušťce 45 mm s hliníkových čtvercem tloušťky 0,2 mm o straně 10-15 cm. Dále je potřeba software pro analýzu obrazu (např. ImageJ nebo jakýkoliv jiný).

Před zahájením snímkování je potřeba vypnout případný pre-procesing. PMMA blok se umístí na podpěru prsu hranou k hrudní stěně a ve směru kolmém na střed podložky. Na fantom se položí hliníkový čtvereček 5-6 cm od hrudní stěny. Připevní se kompresní deska s rozměry odpovídající velikosti fantomu. Komprimuje se silou 30 - 50 N, pokud to povoluje expoziční automatika. Totožných snímků se provede celkem 5.

Pro každý snímek se zaznamenají expoziční parametry a použitá kombinace anoda/filtrace. Při zpracování obrazu se povolí automatický post-procesing. Vybere se ROI čtvercového tvaru uprostřed hliníkového čtverce. Zaznamená se střední hodnota odezvy (mean) a směrodatná odchylka (StdDev). Druhá ROI bude mít také čtvercový tvar a bude pokrývat celou plochu hliníkového čtverce a část jeho okolí, tloušťka pokrytého okolí se definuje v Image J pomocí *Selection* → *Make Band*. Postup se zopakuje se stejnými velikostmi ROI pro všech pět snímků. Do tabulky se zaznamenají automaticky vypočtené hodnoty  $K_i$ , které slouží jako kontola krátkodobé reprodukovatelnosti dávky a hodnoty SDNRN ověřující podobnou kvalitu obrazu všech provedených snímků. Z průměrné hodnoty a směrodatné odchylky naměřených hodnot se pak vypočte variační koeficient (COV). Ten dle EFOMP nesmí překročit 5 % hranici jak pro  $K_i$ , tak pro SDNR.

Test se doporučuje provádět ročně, případně ve speciálních případech (přejímací zkouška, při výměně komponentů ovlivňující funkci AEC - zdroj, filtr, detektor nebo při změně nastavení AEC).

Kontrola kompenzace SDNR se dle protokolu EFOMP provádí souběžně se stanovením střední dávky v mléčné žláze, to však spadá už pod ZDS. EFOMP pro tento test doporučuje PMMA fantomy o tloušťce 30 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm a 60 mm s hliníkových čtvercem tloušťky 0,2 mm o straně 10-15 mm. Dále je potřeba software pro analýzu obrazu (např. ImageJ nebo jakýkoliv jiný).

Před samotným snímkováním se vypína případný pre-procesing. PMMA blok o tloušťce 20 mm se umístí na podpěru prsu hranou k hrudní stěně a ve směru kolmém na střed podložky. Na fantom se položí hliníkový čtvereček 5-6 cm od hrudní stěny. Připevní se kompresní deska rozměry odpovídající velikosti fantomu. Komprimuje se silou 30 - 50 N, pokud to povoluje expoziční automatika. Totéž se opakuje se všemi dalšími fantomy, hliníkový čtverec se nikam neposouvá. Z každého snímku se zaznamenají expoziční parametry

a použitá kombinace anoda/filtrace.

Postup zpracování je stejný jako v předchozím případě. ROI se ale bude muset lehce přesouvat protože se pravděpodobně nepodaří udržet hliníkový čtverec na přesně stejném místě.  $\Delta SDNR_{45mm}$ , tedy SNDR konkrétní tloušťky vztažené k tloušťce 45 mm se získá ze vzorce 2.1, kde  $SDNR_i$  je pro tloušťku  $i$  a  $SDNR_{45mm}$  je pro tloušťku 45 mm.

$$\Delta SDNR_{45mm} = \frac{SDNR_i - SDNR_{45mm}}{SDNR_{45mm}} \cdot 100 \quad (2.1)$$

Takto získané hodnoty pak nesmí překročit limitní hodnoty uvedené v tabulce 2.2.

Tloušťka PMMA (mm)	$\Delta SDNR_{45mm}$ (%)
20	$\geq 0$
30	$\geq 0$
40	$\geq 0$
45	0
50	$\geq -15$
60	$\geq -30$

Tabulka 2.2: Požadované  $\Delta SDNR_{45mm}$  v závislosti na tloušťce fantomu PMMA

Test se doporučuje provádět ročně, případně ve speciálních případech (přejímací zkouška, při výměně komponentů ovlivňující funkci AEC - zdroj, filtr, detektor nebo při změně nastavení AEC).

## 2.3 Rozlišení při nízkém kontrastu

### Doporučení SÚJB

Cílem těchto zkoušek je včasné odhalení zhoršené kvality obrazu. Ta následně může způsobit ztrátu diagnostické informace, proto je důležité odhalit případné nedostatky co nejdříve.

Referenční hodnota se u těchto testů určí jako střední hodnota z pěti měření prováděných s odstupem jednoho týdne. Při překročení tolerančních limitů se zkouška opakuje. Servisní firmu se doporučuje kontaktovat, pokud všechny ostatní testy vyhovují, až pokud přístroj nevyhoví ani při následující periodicky prováděné ZPS.

Na screeningových mamografech se tyto testy provádí týdně, na nescreeningových čtvrtletně.

Rozlišení systému lze určit prostřednictvím zobrazení mamografického fantomu (ten obsahuje objekty pro geometrické rozlišení a stanovení nízkokontrastních detailů). Fantom se umístí na podpěru prsu doprostřed ve směru na hrudní stěnu. Jeho přední hrana přiléhá k hraně podpěry u hrudní stěny pacientky. Provede se komprimace silou 50 - 100 N. Senzor AEC se nastaví co nejbližší hrudní stěně a v režimu plné automatiky se provede expozice. Z výsledného snímku se odečte počet viditelných objektů. Jedná se o subjektivní test a proto je ideální, aby byl prováděn stále stejnou osobou. Počet viditelných detailů se se od referenční hodnoty nesmí zhoršit o více než jednu skupinu.

## 2.4 Rozlišení při vysokém kontrastu

### Doporučení SÚJB

Stejně jako test rozlišení při nízkém kontrastu, tak i test rozlišení při vysokém kontrastu se provádí za účelem odhalení zhoršené kvality obrazu a následnému předejití ztráty diagnostické informace. Provádí se pomocí čárového testu pro rozlišení při vysokém kontrastu alespoň do 20 lp/mm se čtyřmi zeslabujícími deskami PMMA každá tloušťky 1 cm doporučenými rozměry většími než 15 cm x 10 cm pro obdélník nebo poloměr větší než 10 cm pro půlkruh. V doporučení je jako substitute uveden i fantom reprezentující 45 mm tlustý prs (50 % tuk, 50 % vazivové tkáně), který má diagonálně umístěné čárové testy pro rozlišení při vysokém kontrastu alespoň do 20 lp/mm.

Čárový test se umístí mezi desky PMMA, tak aby nad i pod byly 2 cm PMMA. Test nezakrývá senzor expoziční automatiky. Desky s čárovým testem se položí na podpěru prsu tak, aby hrana byla přisazena k hraně podpěry u hrudní stěny a ve směru kolmém byly uprostřed. Následně se provede komprese silou 50 - 100 N. Při senzoru expoziční automatiky nastaveném co nejbližší hrudní stěně se v režimu plné automatiky provede expozice.

Počet rozlišitelných párů čar se vyhodnotí na diagnostickém monitoru, i za použití elektronické lupy. Počet rozlišitelných párů čar se nezhorší o více jak jednu skupinu od referenční hodnoty (tato hodnota se určí při výchozí ZPS). Pokud testy nevyhoví, je na místě jej opakovat. Pokud ani při opakování testu nedojde ke zlepšení, vyhodnotí osoba provádějící zkoušku další postup.

Kontrola kvality rozlišení při vysokém kontrastu je prováděna čtvrtletně osobou pověřenou ZPS.

## ACR

Dle tohoto doporučení se kontrola vysokého kontrastu provádí pomocí čárového fantomu s frekvencí 10 lp/mm a ACR DM fantomu. ACR DM fantom se položí na podpěru prsu, na něj položí čárový fantom pod úhlem 45° k hraně podpěry prsu. Proveďte se lehká komprese a následná expozice v nejčastěji klinicky používaném módu.

Musí být rozlišitelná frekvence minimálně 4 lp/mm a minimálně 6 lp/mm při zvětšení.

Test se provádí ročně.

## 2.5 Komprese

### Doporučení SÚJB

Důležitou součástí mamografického vyšetření je komprese prsu. Kontroluje se přesnost indikace síly komprese, homogenita a přesnost indikace tloušťky komprese. Pokud přístroj nevyhoví při některém z následujících tří testů, měření konkrétního testu se opakuje. Jestliže nevyhoví ani při druhém měření, rozhodne osoba provádějící zkoušku o dalším postupu.

Kontrola přesnosti indikace síly komprese se provádí pomocí analogových nebo digitálních vah.

Váha se umístí na podpěru prsu a provede se komprese. Síla komprese je cca 100 - 120 N. Následně se na váze odečte kompresní síla, která by měla být neměnná 1 minutu. Stejný postup se použije i pro maximální přednastavenou kompresní sílu.

Odchylka přístrojem indikované a vahou měřené síly by měla být menší než 20 N.

Kontrolu přesnosti indikace síly komprese provádí pověřený radiologický asistent jednou měsíčně na screeningových pracovištích a čtvrtletně na diagnostických pracovištích.

Kontrola přesnosti indikace kompresní tloušťky se provádí pomocí PMMA fantomů tlouštěk 3 cm, 4 cm, 6 cm s doporučenými rozměry většími než 15 cm x 10 cm pro obdélník nebo poloměr větší než 10 cm pro půlkruh.

Na podpěru se nejprve umístí nejtenčí fantom (3 cm) tak, že jeho hrana je na hraně podpěry ve směru k hrudní stěně, ve směru kolmém je fantom umístěn uprostřed. Proveďte se komprese silou 50 - 100 N. Indikovaná tloušťka komprese se odečte a zaznamená. Postup se opakuje pro zbývající tloušťky.

Rozdíl mezi indikovanou a skutečnou tloušťkou by neměl přesáhnout 5 mm.

Tento test provádí osoba pověřená čtvrtletními testy čtvrtletně.

Homogenita komprese se testuje při maximální klinicky používané kompresní síle. K tomuto testu se používá blok tvrdého molitanu (o hustotě asi 30 mg/cm<sup>3</sup>) a měřítko.

Molitan se umístí na podpěru tak, aby byl na středu kompresní desky ve směru kolmém

na osu rentgenky. Komprese se provede při kompresní síle 100 - 120 N a následně se změří kolmé vzdálenosti mezi podpěrou prsu a rohy levé a pravé strany kompresní desky. Rozdíl komprimované tloušťky levé a pravé strany nesmí být větší než 5 mm. Homogenita komprese je testována čtvrtletně osobou pověřenou čtvrtletními testy ZPS.

## ACR

Ke kontrole indikátoru komprese se dle doporučení používá fantom ve tvaru válce, který lze stlačit.

Fantom se umístí podstavou na podpěru prsu ke kraji u hrudní stěny. Nainstaluje se menší kompresní deska, je-li k dispozici. Nejprve se změří tloušťka samotného fantomu a poté se provede komprese silou 100 - 150 N.

Zaznamenaná se tloušťka stlačeného fantomu a expoziční parametry. Indikovaná tloušťka a změřená tloušťka se od sebe nesmí lišit o více než 5 mm. Při nesouhlasu se test opakuje a pokud ani tak nevyhoví, kontaktuje se servisní firma. Náprava by měla proběhnout do 30 dní.

Frekvence testu je jednou měsíčně.

Test síly komprese se provádí pomocí kalibrované mechanické osobní váhy (nikoliv digitální).

Váha se umístí na podpěru prsu na ručník (slouží jako ochrana před poškozením). Ze stejného důvodu se druhý ručník umístí na váhu a provede se komprese taková, aby váha ukázala 25 liber (111 N). V automatickém módu by maximální dosažená síla měla být 200 liber, provede se i tento test.

Pro manuální i automatický mód musí být dosažitelná maximální síla minimálně 111 N. V automatickém módu maximální síla nesmí přesáhnout 200 N. Při nefunkčnosti je nutné přístroj opravit ještě před dalším klinickým použitím. Opravu provádí servis.

Test se provádí jednou za půl roku.

## 2.6 Analýza opakovaných snímků

### Doporučení SÚJB

Analýza opakovaných snímků má zjistit příčiny a procentuální zastoupení opakovaných snímků. Na základě analýzy je možné zlepšit efektivitu a snížit množství opakovaných snímků.

Opakované snímky (zaznamenaný v Knize pro záznam opakovaných snímků) se sečtou za čtvrtletí a stanoví se příčiny a procentuální zastoupení opakovaných snímků.

Opakované snímky by měli tvořit maximálně 3 % z celkového počtu snímků. Na základě

zjištěných příčin k opakování snímku jsou provedena opatření.  
Analýza se provádí čtvrtletně osobou pověřenou čtvrtletními testy ZPS.

## ACR

Pro analýzu opakovaných snímku doporučuje ACR mít minimálně 250 pacientů. Opakované snímky se zaznamenají a vyhodnotí se jejich procento z celkového počtu expozic. Zaznamenají se i příčiny opakování expozic. Příčiny expozic se roztrídí do kategorií pro přesnější analýzu.

Procento opakovaných snímků by nemělo být vyšší než 2% (až 5%).

Analýzu doporučuje provádět měsíčně nebo čtvrtletně.

## 2.7 Systém zobrazení

### Doporučení SÚJB

Vizuální kontrola obrazu si klade za cíl odhalení artefaktů v obraze na pracovní stanici, které jsou způsobeny zobrazovacím řetězcem.

Na obraze se sleduje přítomnost struktur, které snižují kvalitu obrazu a mohou vést ke znehodnocení diagnostické informace.

V případě nálezu takovýchto struktur je nutné nalézt jejich příčinu a zajistit její odstranění.

Test provádí radiologický asistent na pracovní stanici rtg.[11]

Při tomto testu se kontroluje homogenita odezvy plochy receptoru obrazu na rentgenové záření pomocí PMMA fantomu tloušťky 4,5 cm (příp. 4 cm) o rozměrech receptoru obrazu.

Fantom se umístí na podpěru prsu a zkomprimuje se silou 50-100 N. Expozice se provede v manuálním režimu při nastavení jako v režimu plné automatiky. Zvolí se pět ROI, každá o ploše cca 1 cm<sup>2</sup>. Jedna ROI bude uprostřed, zbylé čtyři v rozích vždy 2 cm od krajů.

Změří se střední hodnota pixelu a směrodatná odchylka a vypočítá SNR. Při porovnání všech ROI by maximální odchylka mezi nimi neměla přesáhnout 15 %. Pokud v testu zařízení neuspěje, je třeba test opakovat, pokud neprojde ani na podruhé o dalším postupu rozhodně osoba provádějící test po konzultaci s odpovědnou osobou o dalším postupu.

Homogenita je kontrolována jednou týdně radiologickým asistentem.

Dalším testem, kontrolující kvalitu obrazu je kontrola znehodnocení kvality obrazu zvýšením šumu, na který se používá standardní testovací fantom, příp. blok PMMA o tloušťce 4,0 cm.

Fantom se umístí na podpěru tak, aby přiléhal k hrudní stěně a v kolmém směru byl uprostřed podpěry a komprimuje se silou 50-100 N. Použije se manuální režim s parametry jako u režimu plné automatiky a provede se expozice. Uprostřed obrazu a cca 6 cm daleko od hrudní stěny se umístí 4 cm<sup>2</sup> ROI.

Změří se hodnota pixelu a směrodatná odchylka, z nich se stanoví poměr signál-šum (SNR). Měření se provede celkem pro 5 nastavení elektrického množství (mAs). První hodnota se získá výše popsaným postupem a další jsou o 10 % a 20 % nižší, resp. vyšší. Stanoví se závislost SNR na elektrickém množství. Tato závislost by měla být lineární. Nelinearita je projevem jiného, než kvantového šumu. Změny v SNR v referenční ROI by z dlouhodobého hlediska neměly přesáhnout 10 %. Pokud to tak není, je na místě zjištění příčiny a její odstranění.

Test provádí osoba pověřená prováděním ZPS pololetně.

Kontrola artefaktů zobrazením rastru mřížky v obraze se provádí opět pomocí PMMA fantomu. Tento má rozměry receptoru obrazu a tloušťku 2 cm.

Fantom se umístí na podpěru prsu a provede se komprese 50 - 100 N. Senzor expoziční automatiky se nastavuje do polohy nejbližší hrudní stěně a v režimu plné automatiky se provede expozice.

Expoziční parametry se zaznamenají a sledují se artefakty v obraze. Linie mřížky nesmí být viditelné.

Test provádí jednou ročně osoba pověřená prováděním ročních testů ZPS.

Geometrická deformace obrazu a sledování tvorby artefaktů v obraze se hodnotí pomocí PMMA fantomu tloušťky 4 cm a testovacího objektu s vertikálními a horizontálními liniemi.

Testovací objekt je umístěn na podpěru prsu a nad něj se vloží PMMA fantom. Expozice se provede v režimu plné automatiky.

Na obraze se sledují geometrická zkreslení a artefakty. Obraz nesmí obsahovat artefakty a viditelné geometrické zkreslení. Pokud se některé ze zmíněných objeví, musí být odstraněny servisem.

Provádí osoba pověřená prováděním ročních testů ZPS jednou ročně.

Dle doporučení SÚJB se na detektoru kontrolují nekorigované vadné prvky nebo jejich selhání. Testy se provádí dle instrukcí výrobce zařízení. Požadavky jsou taktéž udány výrobcem, pokud test nevyhoví, zkouška se opakuje. Při nevyhovění ani při druhém pokusu rozhodne osoba provádějící test (konzultace s odpovědnou osobou) o dalším postupu.

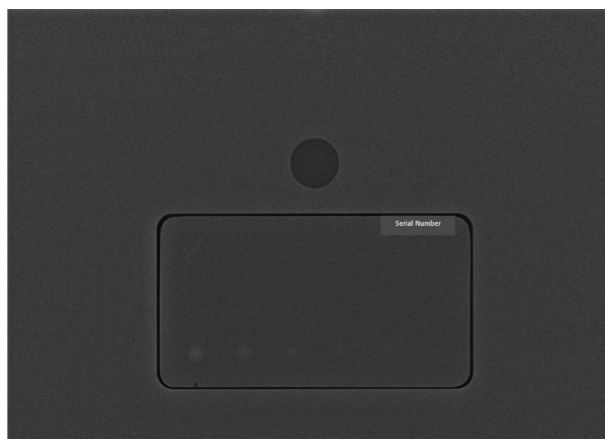
Prvním testem je kontrola funkčnosti prvků detektoru. Používá se na něj fantom PMMA 4,5 cm (příp. 4 cm).

Test provádí jednou týdně radiologický asistent.

Jako druhé se kontroluje rozmístění vadných prvků detektoru. Používá se software dodaný



Obrázek 2.1: ACR DM fantom



Obrázek 2.2: Snímek ACR DM fantomu

výrobce.

Test provádí pololetně osoba pověřená prováděním ZPS.

## ACR

Vizuální kontrola zařízení se dle ACR doporučuje provádět jednou měsíčně a oproti Doporučení od SÚJB zde nejsou žádná specifika navíc.

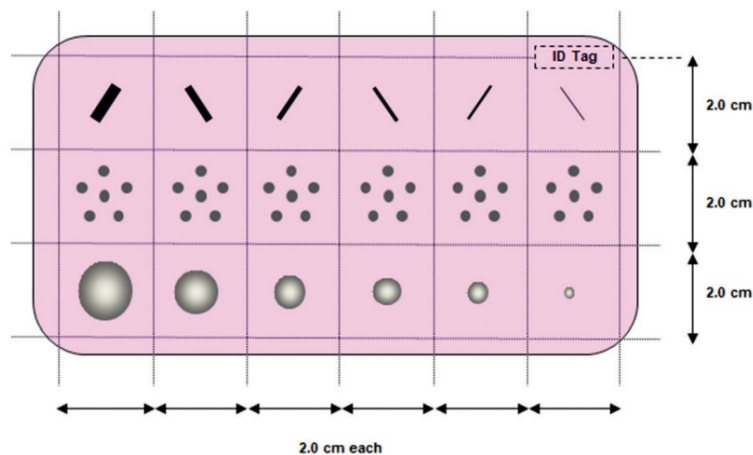
Kontrola artefaktů v obraze se provádí pomocí fantomu ACR DM fantomu. Tento fantom je navržen tak, aby pokrýval většinu plochy detektoru a poskytoval stejné zeslabení jako mamografický fantom ACR 1999. Fantom odpovídá 4,2 cm tloušťky stlačeného prsu, který se skládá z 50 % ze žláz a 50 % z tukové tkáně. Fantom je zobrazen na obrázku 2.1 a jeho snímek na obrázku 2.2.

Fantom se umístí na podpěru prsu tak, jak je vidět na obrázku 2.1 (růžovým blokem k hrudní stěně) a provede se komprese silou 50 N. Expozice se v provede v manuálním režimu při nastavení jako v režimu plné automatiky. Expoziční parametry se zapíší do protokolu. Na obraze se prohlíží artefakty, případně nefunkční pixely.

Test se doporučuje provádět jednou týdně.

Pro kontrolu kvality obrazu se použije ACR DM fantom. Z tohoto snímku se vypočítává i SNR.

Umístí se na podpěru prsu stejně jako na obrázku 2.1 a manuálně komprimuje přibližně 50 N. Při tomto testu je podstatné použít vždy stejnou sílu komprese. Indikovaná tloušťka by měla odpovídat reálné tloušťce fantomu. Zaznamenají se expoziční parametry snímku. Pokud je možné, k hodnocení snímku se nastaví obdobné parametry jako v místnosti, kde radiolog hodnotí snímky. Snímek se zobrazí na pracovní stanici a sleduje se přítomnost artefaktů. Na snímku, ve voskové části fantomu se sleduje přítomnost kontrastních objektů 2.3. Pro hodnocení přítomnosti objektů existuje hodnotící tabulka, na základě



Obrázek 2.3: Insert ACR DM fantomu s kontrastními značkami

	bod	půlbod	kritérium
vlákna	délka $\geq 8\text{mm}$	$8 > \text{délka} \geq 5\text{mm}$	$\geq 2$
skupiny teček	4-6 teček/skupina	2-3 tečky/skupina	$\geq 3$
velké objekty	$\geq 0,75$ hrany	$0,75 > \text{hrany} \geq 0,5$	$\geq 2$

Tabulka 2.3: Bodové hodnocení insertu v mamografickém fantomu ACR DM fantom. Za každý viditelný objekt v řadě se udělují (půl)bod. Kritérium je vždy součet bodů za celou řadu pro jeden konkrétní typ kontrastního objektu (vlákna, skupiny teček, velké objekty).

kteřé se započítá bod (za celý nebo téměř celý objekt viditelný), příp. půlbod. (za část viditelného objektu) pro každou kategorii. Přesněji i s kritérii splnění testu je uvedeno v tabulce 2.3. Při nevyhovění musí být korekce provedeny před klinickým použitím. Test se doporučuje provádět jednou ročně.

Výpočet SNR se provádí ze snímku z předchozího odstavce.

Označí se dvě kruhové ROI (každá cca  $1\text{ cm}^2$ ), jedna v tmavém kruhu na snímku a druhá vpravo vedle něj (pozadí). SNR se pak spočítá z definice.

Jeho hodnota musí být  $\text{SNR} \geq 40$ . Při nevyhovění musí být korekce provedeny před klinickým použitím.

Test se doporučuje provádět jednou ročně.

## EFOMP

EFOMP v rámci doporučení popisuje vizuální kontrolu artefaktů s doporučeným fantomem PMMA o tloušťce 25 - 45 mm pokrývající celou plochu detektoru. Další postup je identický s postupem uvedeným u ACR.

Test homogenity se dle doporučení od EFOMP provádí s homogéním fantomem - bloky PMMA pokrývajícími celou plochu detektoru. Tloušťka fantomu se doporučuje mezi 25 mm a 45 mm.

Fantom PMMA se umístí na podpěru prsu tak, aby pokrýval celou plochu detektoru. Použije se největší možná kompresní deska a provede se komprese silou 30-50 N. Proveďte se expozice a zaznamenají se expoziční parametry.

Ze snímku se odstraní veškerý postprocesing. Zvolí se 8 ROI, každá s plochou 1 cm<sup>2</sup>. Vytvoříme ROI v levém horním rohu a k ní ROI sousedící. Toto provedeme pro každý roh. Spočítá se lokální a globální homogenita. Lokální homogenita (LU) se spočítá podle vzorce (2.3), kde MVP je střední hodnota pixelu. Index  $i$  značí libovolnou ROI a  $n$  ROI s ní sousedící.

$$LU = \max \left( \frac{|MPV_i - MPV_n|}{MVP_n} \right) \leq 0,05 \quad (2.2)$$

Globální homogenita je vypočtena ze vzorce

$$GU = \max \left( \frac{|MPV_{max_i} - MPV_{image}|}{MVP_{image}} \right) \leq 0,1 \quad (2.3)$$

Test se doporučuje provádět jednou ročně.

# Kapitola 3

## Návrh ZPS pro FN Motol

### 3.1 Analýza dat FN Motol

Na základě dat z období 1.1.2022 - 1.4.2024 z FN Motol byla zpracována stručná mini-analýza. Cílem analýzy je porovnání klinických dat s hodnotami používanými pro ZPS.

#### 3.1.1 Tloušťka prsu

Klinická data jsou zobrazena v histogramu na obrázku 3.1, kde jsou data na základě předpokladu normálního rozložení proložena gaussovou křivkou ve tvaru

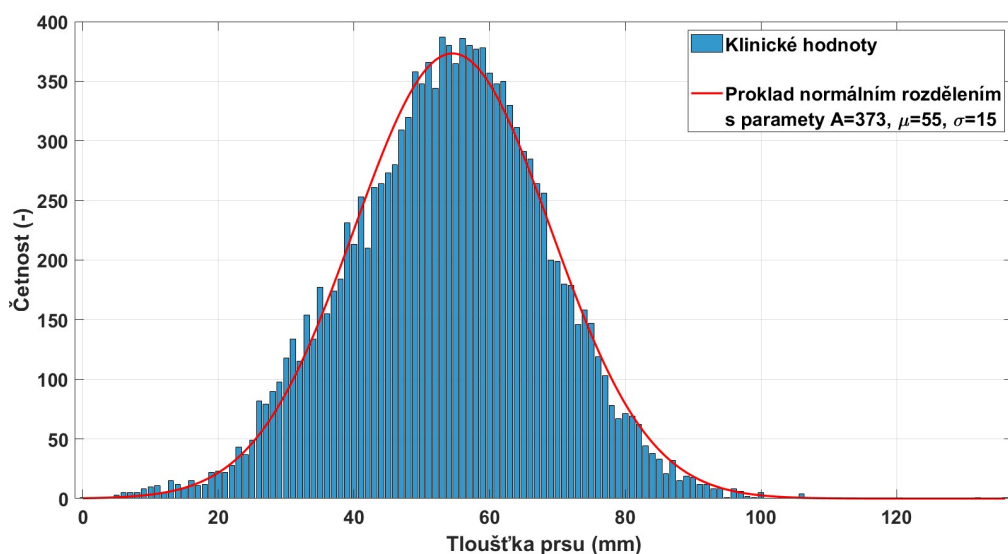
$$f(x) = A \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}.$$

Pro výstup jsou podstatné parametry

- Střední hodnota, která je zároveň medián i průměr:  $\mu = 55mm$
- Rozptyl  $\sigma = 15$ .

Při normální distribuci platí, že  $\mu \pm \sigma$  zahrnuje 68,2 % všech dat. Pro více sigma a pro konkrétní hodnoty souboru dat z FNM jsou hodnoty uvedeny v tabulce 3.1.

Z těchto informací vyplývá, že by bylo vhodné měření ZPS provádět pro tloušťku prsní tkáně 5,5 cm, což i odpovídá současným metodikám. Jaké zvolit krajní hodnoty měřeného intervalu, je otázkou, ale z vydaných metodik vyplývá, že byly nejspíš použity hodnoty z rozptylu  $2\sigma$ .



Obrázek 3.1: Klinické tloušťky prsu za období 1.1.2022 - 1.4.2024, zpracováno v programu Matlab2023a

p		-	+
68,2 %	$\mu \pm \sigma$	40,04	69,00
95,4 %	$\mu \pm 2 \cdot \sigma$	25,56	83,48
97,9 %	$\mu \pm 3 \cdot \sigma$	11,08	97,96

Tabulka 3.1: Přepočítání pravděpodobností p, pro tloušťky prsou dle normálního rozdělení, zpracováno v programu Matlab2023a

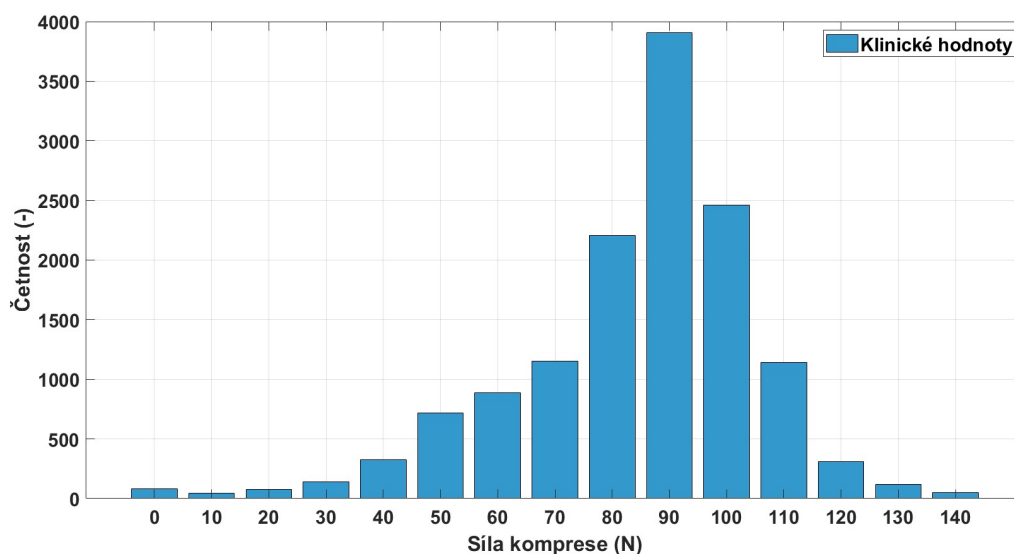
### 3.1.2 Síla komprese

Z grafu na obrázku 3.2 vyplývá, že nejpoužívanější tloušťka komprese je 90 N, nikoliv 100 N jak předpokládá většina doporučení. Dále vidíme, že se používají i komprese v nižších desítkách N nebo i 0 N. V těchto případech se zpravidla jedná o biopsie nebo o komplikovanější diagnostické případy.

## 3.2 Metodika

V rámci aktualizace metodiky ZPS mamografu ve FN Motol došlo k několika hlavním změnám, které jsou podrobněji rozepsány u každého testu v sekci úpravy, pakliže test není zcela zrušen:

- **Úplného zrušení testu** se týká samostatného testu Zobrazení artefaktů mřížky - tento artefakt lze kontrolovat v rámci pravidelného testu homogenity. Zrušen byl také samostatný test přesnosti indikátoru tloušťky komprese - tu lze provádět v



Obrázek 3.2: Klinicky používané kompresní síly za období 1.1.2022 - 1.4.2024, zpracováno v programu Matlab2023a

rámci testu dlouhodobé reprodukovatelnosti nebo CNR. Zcela zrušen úbyl pak test stupňů zčernání.

- **Sloučení více testů do jednoho** proběhlo např. pro test dlouhodobé reprodukovatelnosti a test kompenzace tloušťky - hodnocená informace se opakovala.
- **Snížení počtu měření v rámci jednoho testu** bylo zavedeno z nedostatku PMMA desek o rozměrech plochy detektoru. Ve FN Motol jsou momentálně k dispozici 3 PMMA desky o tloušťce 2 cm. Desky o tloušťce 1 cm jsou pouze s rozměry menšími, bylo potřeba umístit dvě vedle sebe, což se projevilo rýhou na snímku a také nerovným povrchem - jednotlivé desky se od sebe liší tloušťkou v řádu nízkých jednotek mm. V případě, že by měření nevycházelo, je vždy doporučeno ho doplnit o jemnější vzorkování. Tedy použít desky s tloušťkou 1 cm. Z dlouhodobého hlediska je však doporučen nákup desek o nižší tloušťce.
- **Snížení počtu zaznamenaných parametrů z jednoho testu** umožňuje větší přehlednost zpracovávaných dat a také rychlejší zpracování (vzhledem k ručnímu přepisování dat systém-papír-počítač). Velká většina parametrů je dlouhodobě neměnných (např. filtr použitý pro danou tloušťku) nebo velmi mírně proměnných (např. 31 kV nebo 30 kV). Zaznamenávané expoziční parametry mají přímý vliv na testovanou veličinu a jejich změna by se přímo projevila ve změně např. SNR, k jejímu odhalení by tedy došlo. Veškeré expoziční parametry je možné dohledat v PACS zpětně.

- **Osoba test provádějící nebo zpracovávající** byla upravená v případech, které to umožňují s přenesením vyšší odpovědnosti za zpracování na pracovníka SOLF.
- **Úpravy testu dle nejnovějších dostupných metodik** byly primárním cílem této bakalářské práce, proto jsou provedeny všude, kde to bylo smysluplné.
- **Úprava frekvence testu** byly provedena za účelem zajištění kvality jakosti celého zobrazovacího řetězce.

Metodika vychází z původní metodiky ZPS mamografu FN Motol sepsané v roce 2017 a z pokynů uvedených zejména k softwarovým testům v návodu k přístroji Planmed Nuance.

### 3.2.1 Vizuální kontrola

Test:	<b>Vizuální kontrola zařízení</b>
Úprava:	V oblasti vizuální kontroly zařízení nedošlo ke změnám, je zde tedy uvedeno původní znění z metodiky.
Cíl zkoušky:	Odhalení prasklin, kontrola kompletnosti vybavení a jeho funkčnost. Neodhalení těchto nedostatků může vést k opakování expozice, což je rozhodně nežádoucí.
Pomůcky:	Žádné.
Provedení:	Vizuálně se ověří celistvost a neporušenost zařízení a správná funkce všech mechanických prvků i všech tlačítek a indikátorů. Zkontroluje se viditelnost světelného pole a příp. praskliny na kompresní desce či podpěře prsu.
Požadavky:	Bez závad.
Náprava:	Případné nedostatky se popíše v deníku a oznámí vedoucímu RA nebo pracovníkovi SOLF.
Frekvence:	Průběžně.
Provádí:	RA.

### 3.2.2 AEC

Test:	<b>SNR</b>
Úprava:	Test je softwarový, tedy není provedena úprava. Tento test by bylo možné vyřadit, vzhledem k tomu, že se týdně kontroluje SNR v rámci dlouhodobé reprodukovatelnosti. Jedná se ovšem o automatický test daný výrobcem a jeho provedení není časově náročné. Proto je zde tento test zachován a doplněn o informace od výrobce.
Cíl zkoušky:	Kontrola SNR.
Pomůcky:	Kalibrační fantom.
Provedení:	V programu „Planmed Nuance Manager“ se zvolí ikona „Quality“ a v ní záložka „Quality Control“, klikne se na „Test“ u „SNR Test“. Testuje se bez kompresní desky a ochrany hlavy a s kalibračním fantomem. Zvolí se projekce CC pravá (přístroj je v manuálním nastavení (31 kV, 63 mAs, Ag filtr)). Po uvedení do stavu „ready“ se provede expozice stlačením expozičního tlačítka. Po uzavření okna pomocí kliknutí na „Done“ se ukáže stanovené SNR, které se zaznamená do papírové tabulky.
Požadavky:	SNR > 50
Náprava:	Pokud SNR < 50 doporučuje výrobce zkontolovat expoziční parametry a použitý fantom a poté expozici opakovat. Pokud problém stále přetrvává doporučuje se provést kalibraci detektoru. Posledním krokem je kontaktování servisu, který provede opravu před dalším klinickým použitím.
Frekvence:	Měsíčně.
Provádí:	RA.

Test:	<b>Kompenzace tloušťky a dlouhodobá reprodukovatelnost</b>
Úprava:	Servisní firma doporučuje kontrolovat pouze hodnoty SNR, ne střední hodnoty pixel value. Tento test je podle toho upraven. Jsou zde také použity fantomy tlouštěk 2 cm, 4 cm a 6 cm z důvodu komplikovaného použití jiných tlouštěk. Od předcházejícího testu se liší vyšším rozsahem měřených tlouštěk zpracováním.
Cíl zkoušky:	Sledování reakce AEC na změnu tloušťky a napětí, stability SNR u jednotlivých tlouštěk a kontrola glandulární dávky.
Pomůcky:	3 PMMA desky tloušťky 2 cm, distanční podložky.
Provedení:	Přístroj zůstává v klinickém režimu s kompresní deskou a ochranou hlavy. Do středu podpěry prsu se srovná 2 cm PMMA tak, aby jejich delší strana přesahovala o 1 cm hranu u hrudní stěny. Na PMMA desky se umístí distanční pomůcky dle tabulky 3.2.2 tak, aby co nejméně zasahovaly do radiačního pole. Zvolí se projekce CC pravá, komprimuje se silou 100 N a exponuje se v režimu AEC. Stejným způsobem se exponuje PMMA o tloušťce 4 cm a 6 cm (s odpovídajícími distančními podložkami). Před odesláním se ze všech snímků odstraní postprocessing.
Zpracování:	Do protokolu se zaznamená SNR z ROI umístěné přibližně ve středu fantomu a 6 cm od hrudní stěny. Ze snímku 4 cm PMMA se zapíše glandulární dávka.
Požadavky:	Velikost odchylky SNR pro 2 cm a 6 cm je oproti SNR ve 4 cm $\leq 10\%$ .
Náprava:	Při nevyhovujících hodnotách se v PACS zkontolují expoziční parametry a expozice se opakuje s vyšší hustotou kroku (použijí se tloušťky 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 cm) pro přesnější identifikaci problému. Při použití 1 cm PMMA desek se klade zvýšený důraz na jejich skládání a jejich vzájemnou rovnoměrnost. Pokud problém stále přetrvává doporučuje se provést kalibraci detektoru. Posledním krokem je kontaktování servisu, který provede opravu před dalším klinickým použitím.
Frekvence:	Týdně.
Provádí:	RA - provede expozice a snímky odesílá do PACS. Pracovník SOLF provede zpracování.

Tloušťka PMMA (cm)	Odpovídající tloušťka prsu (cm)	Tloušťka distanční pomůcky (cm)
2,0	2,1	0,1
3,0	3,2	0,2
4,0	4,5	0,5
4,5	5,3	0,8
5,0	6,0	1,0
6,0	7,5	1,5
7,0	9,0	2,0

Tabulka 3.2: Výběr vhodných distančních pomůcek pro různé tloušťky

Test:	<b>CNR</b>
Úprava:	Tento test je prováděn softwarově, nebyla zde provedena úprava.
Cíl zkoušky:	Ověření schopnosti přístroje udržet souvislou kvalitu obrazu.
Pomůcky:	Fantom RMI 156.
Provedení:	Klikne se na „Test“ u „CNR Test“ Na podpěru prsa se umístí mamografický RMI fantom tak, jak je popsáno v návodu na použití (do středu podpěry, 1 cm od hrany od hrudní stěny, šikmý roh doleva na straně bradavky) Zvolí se projekce CC pravá (přístroj je v manuálním nastavení (31 kV, 63 mAs, Ag filtr), proto se nemusí komprimovat) Po uvedení do stavu „ready“ se provede expozice. Na monitoru se zobrazí snímek fantomu a dva čtverce. Tažením se umístí čtverce podle pokynů na obrazovce (plný čtverec se umístí do oblasti fantomu pod největší skvrnu, čárkovaný do největší skvrny). Software na základě dat ze čtverců po kliknutí na „Done“ vypočítá CNR. Hodnota CNR se zapíše do papírové tabulky.
Požadavky:	Odchylka CNR od referenční hodnoty $\leq 10\%$ . Požadavek výrobce: $\text{CNR} \leq 2\%$ .
Náprava:	Při nevyhovujícím výsledku testu doporučuje výrobce zkontolovat expoziční parametry a použitý fantom a poté expozici opakovat. Pokud problém stále přetrvává doporučuje se provést kalibraci detektoru. Posledním krokem je kontaktování servisu, který provede opravu před dalším klinickým použitím.
Frekvence:	Týdenní.
Provádí:	RA.

Test:	<b>Kompenzace tloušťky a napětí (CNR)</b>
Úprava:	Byla provedena úprava tloušťky desek, protože ve FN Motol u mamografu jsou pouze 3 PMMA desky o tloušťce 2 cm o ploše pokývající celý detektor. Zbývající desky o tloušťce 1 cm mají poloviční rozměry. Je snaha je nepoužívat, dokud se nepořídí nové. Byl proveden přepočet a CNR se porovnává s hodnotou pro 4 cm.
Cíl zkoušky:	Sledování reakce AEC na změnu tloušťky a ověření stability zobrazovacího řetězce.
Pomůcky:	3x PMMA deska tloušťky 2 cm, 2 x Al folie tloušťky 0,1 mm, distanční podložky.
Provedení:	V klinickém režimu se do středu podpěry prsu s přesahem 1 cm u hrudní stěny umístí 2 cm PMMA. Na PMMA desky se umístí distanční pomůcky dle tabulky 2 tak, aby co nejméně zasahovaly do radičního pole. Na fantom se umístí 2 Al fólie tloušťky 0,1 mm na pravou stranu desek (při pohledu od hrudní stěny) a střed vrstvy je 6 cm od hrudní stěny. Vše se komprimuje silou 100 N a provede se expozice v automatickém režimu se zvolenou projekcí CC pravá. Celý postup se opakuje i pro 4 cm a 6 cm PMMA. Na snímcích se vždy odstraní postprocessing. Vytvoří se dvě ROI o cca 4 cm <sup>2</sup> , obě 6 cm vzdálené od hrudní stěny. Jedna ROI bude umístěna na levé straně, tedy pouze na PMMA, druhá na pravé straně, tedy na Al fantomu. Vypočítá se CNR pro každou tloušťku.
Požadavky:	$CNR(2cm) \geq 110 CNR(4cm)$ a $CNR(6cm) \geq 90 CNR(4cm)$ . Pro jemnější vzorkování jsou kritéria uvedena v tabulce 3.3 .
Náprava:	Při nevyhovujícím výsledku testu doporučuje výrobce zkontolovat expoziční parametry a použitý fantom a poté expozici opakovat. Expozice se opakuje s vyšší hustotou kroku (použijí se tloušťky 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 cm) pro přesnější identifikaci problému. Při použití 1 cm PMMA desek se klade zvýšený důraz na jejich skládání a jejich vzájemnou rovnoměrnost. Pokud problém stále přetrvává doporučuje se provést kalibraci detektoru. Posledním krokem je kontaktování servisu, který provede opravu před dalším klinickým použitím.
Frekvence:	Pololetní.
Provádí:	Pracovník SOLF.

Tloušťka PMMA (cm)	CNR (relativně k 5,0 cm PMMA) (%)
1	$\geq 120$
2	$\geq 115$
3	$\geq 110$
4	$\geq 105$
5	100
6	$\geq 95$
7	$\geq 90$

Tabulka 3.3: Požadované CNR v závislosti na tloušťce fantomu PMMA při použití vyšší hustoty vzorkování

### 3.2.3 Rozlišení při nízkém kontrastu

Test:	<b>Kvalita obrazu – rozlišení při nízkém kontrastu</b>
Úprava:	Jedná se o softwarový test, je zde uvedeno původní znění metodiky s doplněnými informacemi o nápravě a formě zápisu.
Cíl zkoušky:	Kontrola rozlišení při nízkém kontrastu
Pomůcky:	Fantom RMI 156.
Provedení:	V programu „Planmed Nuance Manager“ se zvolí ikona „Quality“ a v ní záložka „Quality Control“, klikne se na „Test“ u „Phantom Test“. Na podpěru prsa se umístí mamografický RMI fantom tak, jak je popsáno v návodu na použití (do středu podpěry, 1 cm od hrany od hrudní stěny, šikmý roh doleva na straně bradavky). Zvolí se projekce CC pravá a fantom se komprimuje silou 100 N (10 kg). Po uvedení do stavu „ready“ se provede expozice stlačením expozičního tlačítka. Do připravené tabulky na papíru se opíše expoziční parametry (kV, mAs, filtr) a indikovaná tloušťka. Na monitoru se zobrazí snímek fantomu a tabulka. Ze snímku se za pomoci zvětšení a úprav kontrastu a jasu odečtou počty viditelných objektů (vlákna, shluky bodů a kolečka) a výsledek se zaznamená do tabulky (na monitoru i papírově). Klikne se na tlačítko „Done“.
Požadavky:	Počet viditelných detailů se nesmí změnit o více než 1 skupinu od hodnoty stanovené jako referenční a zároveň splňovat požadavky od výrobce: minimální počet rozeznatelných vláken: 4, shluků bodů: 3, skvrn: 4).
Náprava:	Pokud je zaznamenána větší změna v počtu rozeznatelných testovacích objektů, je třeba porovnat poslední snímek s původním snímkem, aby se zjistilo, zda je změna skutečná, nebo zda se zhoršily podmínky sledování. Pokud nejsou splněna doporučená kritéria, měl by být pořízen a vyhodnocen druhý snímek. Pokud kritéria stále nejsou splněna, je nutné nalézt příčinu a odstranit ji před dalším použitím v klinickém provozu.
Frekvence:	Denně.
Provádí:	RA.

### 3.2.4 Rozlišení při vysokém kontrastu

Test:	<b>Rozlišení při vysokém kontrastu a geometrická deformace</b>
Úprava:	Test je sloučen s testem geometrické deformace a upraven dle metodik SÚJB a ACR.
Cíl zkoušky:	Kontrola rozlišení při vysokém kontrastu. Zanedbání tohoto testu může vést ke zhoršené kvalitě obrazu a ztrátě diagnostické informace.
Pomůcky:	Fantom s pomůckou obsahující čarový test.
Provedení:	V klinickém režimu se umístí fantom obsahující čarový test na podpěru prsu tak, aby čáry na čarovém testu svíraly s hranou podpěry u hrudní stěny úhel 45°. Zvolí se projekce CC pravá a provede se komprese silou 100 N. Exponuje se v režimu AEC zmáčknutím expozičního tlačítka. Snímek se odešle a s pomocí úprav kontrastu a jasu, zvětšení a lupy se vyhodnotí, k jaké hodnotě hustoty lp/mm jsme schopní rozeznat čáry od sebe. Sleduje se možná geometrická deformace obrazu.
Požadavky:	Počet rozlišitelných párů čar se nesmí zhoršit o více než 1 stupeň od předcházející ZPS. Nesmí docházet ke geometrické deformaci obrazu.
Náprava:	Při nevyhovění se snímek opakuje. Následně se kontaktuje servis, který určí příčinu problému a provede opravu před dalším klinickým použitím přístroje.
Frekvence:	Čtvrtletně.
Provádí:	Pracovník SOLF.

### 3.2.5 Kompresse

Test:	<b>Přesnost indikátoru síly komprese</b>
Úprava:	ACR tento test provádí pomocí kalibrované osobní váhy, zde je popsána původní metodika doplněná o nápravná opatření ACR.
Cíl zkoušky:	Kontrola přesnosti indikátoru síly komprese.
Pomůcky:	Compression Test Device, 1 PMMA deska o tloušťce 2 cm.
Provedení:	V klinickém režimu se na podpěru prsu umístí pomůcka na kontrolu indikátoru síly komprese, na ni PMMA deska a vše se zkomprimuje silou 100 N (první zastavení). Po přibližně jedné minutě se odečte síla komprese. Zaznamená se indikovaná i změřená hodnota. Měření se provede i pro maximální sílu komprese, tedy 200 N.
Požadavky:	Odchylka indikované a změřené hodnoty $\leq 2\text{kg}$ . Zároveň se ověří, že přístroj neumožňuje přesáhnout 200 N.
Náprava:	Opravu provede servisní firma před dalším klinickým použitím přístroje.
Frekvence:	Měsíčně.
Provádí:	Pracovník SOLF.
Test:	<b>Přesnost indikátoru tloušťky komprese</b>
Úprava:	Test se upravil podle metodiky SÚJB.
Cíl zkoušky:	Kontrola přesnost indikátoru tloušťky komprese, aby nedocházelo k nadměrné nebo naopak nízké kompresi.
Pomůcky:	Fantom - tři plexisklové desky o známé tloušťce 2 cm.
Provedení:	Při testu Kompenzace tloušťky a dlouhodobé reprodukovatelnosti se změří tloušťka a provede se zápis indikované tloušťky.
Požadavky:	Odchylka indikované tloušťky od změřené tloušťky komprese $\leq 5\text{mm}$ . Při nevyhovění se test opakuje, pak se případně kontaktuje servisní firma.
Náprava:	Opravu provede servisní firma do 30 dní.
Frekvence:	Měsíčně.
Provádí:	RA.

Test:	<b>Homogenita komprese při maximální klinicky používané kompresní síle</b>
Úprava:	Test se upravil podle metodiky SÚJB.
Cíl zkoušky:	Kontrola homogenity komprese.
Pomůcky:	Molitanový kvádr , pravítko.
Provedení:	V klinickém režimu se do středu podpěry prsu umístí molitanový kvádr tak, aby došlo k lehkému přesahu přes hranu u hrudní stěny. Molitan se komprimuje silou 150 N. Změří se pravítkem kolmá vzdálenost mezi podpěrou prsu a kompresní deskou v rozích kompresní desky. Měření se následně zopakuje molitanem umístěným na jednom okraji podpěry.
Požadavky:	Velikost odchyly komprimovaných tloušťek levé a pravé strany vždy $\leq 5\text{mm}$ .
Náprava:	Opravu provede servisní firma do 30 dní.
Frekvence:	Čtvrtletně.
Provádí:	Pracovník SOLF.

### 3.2.6 Analýza opakovaných snímků

Test:	<b>Analýza opakovaných snímků</b>
Úprava:	Analýzu opakovaných snímků zmiňuje doporučení od SÚJB, kde se doporučuje analýza čtvrtletní. V doporučení od ACR se uvádí frekvence dle potřeby, ale je potřeba mít alespoň 250 pacientů. Na základě dat z předchozích 5 let uvedených v tabulce 3.2.6 lze říci, že čtvrtletní nebo dokonce měsíční analýza není odůvodněná. Počty opakovaných expozic jsou natolik nízké, že nelze vyloučit čtvrtletí bez opakované expozice. Tato kontrola je tedy ponechána ve frekvenci jednou ročně, jak je uvedeno v původní metodice.
Cíl zkoušky:	Zjištění příčin a procentuálního zastoupení opakovaných snímků. Na základě analýzy je možné zlepšit efektivitu a snížit množství opakovaných snímků.
Pomůcky:	Žádné.
Provedení:	Opakované snímky jsou zaznamenány v UNISu včetně příčiny opakování. Jednou za rok jsou sečteny a stanoví se příčiny a procentuální zastoupení opakovaných snímků.
Požadavky:	Opakované snímky by měly tvořit maximálně 3 % z celkového počtu snímků.
Náprava:	Na základě zjištěných příčin k opakování snímku jsou provedena opatření.
Frekvence:	Zápis průběžně, analýza jednou ročně.
Provádí:	RA - zápis opakovaných snímků průběžně. Vedoucí RA - analýza jednou ročně.

rok	počet expozic	počet opakovaných expozic	procento opakovaných expozic
2023	6448	3	0.047%
2022	5713	3	0.053%
2021	6587	7	0.106%
2020	6529	3	0.046%
2019	8576	9	0.105%
průměr	6771	5	<b>0.074%</b>

Tabulka 3.4: Přehled opakovaných expozic za posledních 5 let

### 3.2.7 Systém zobrazení

Test:	<b>Vizuální kontrola artefaktů</b>
Úprava:	Je zde uvedeno upravené znění z metodiky .
Cíl zkoušky:	Odhalení artefaktů v obraze, které jsou způsobeny zobrazovacím řetězcem, tedy struktur, které nepřísluší zobrazovanému objektu.
Pomůcky:	Žádné.
Provedení:	Průběžně se sledují artefakty na prováděných snímcích.
Požadavky:	Obraz bez struktur snižujících kvalitu obrazu.
Náprava:	Pakliže na obraze jsou artefakty, je nutné nalézt jejich příčinu a zajistit její odstranění. Vše se zapisuje do deníku a oznámí pracovníkovi SOLF.
Frekvence:	Průběžně.
Provádí:	RA - na pracovní stanici.
Test:	<b>Homogenita signálu</b>
Úprava:	Byl doplněn systém nápravy.
Cíl zkoušky:	Zajištění homogenity signálu po celé ploše detektoru.
Pomůcky:	Kalibrační fantom
Provedení:	Klikne se na „Test“ u „Homogeneity Test“. Odstraní se kompresní deska a ochrana hlavy, pod clony se zezadu umístí kalibrační fantom. Zvolí se projekce CC pravá (přístroj je v manuálním nastavení (31 kV, 63 mAs, Ag filtr)). Po uvedení do stavu „ready“ se provede expozice stlačením expozičního tlačítka. Po expozici se na monitoru objeví 5 čtverců, v rozích a středu snímku. Snímek se zkontroluje vizuálně, nenachází-li se tam viditelné nehomogenity, případně se čtverce posunou a zvolí se „Done“. Objeví se tabulka s výsledky ukazující průměrný signál v dané ROI a odchylky od průměrné hodnoty ze všech ROI. Zapisuje se nejvyšší odchylka.
Požadavky:	Nejvyšší odchylka $\leq 5\%$ .
Náprava:	Při nevyhovujícím výsledku testu doporučuje výrobce zkontolovat expoziční parametry a použitý fantom a poté expozici opakovat. Pokud problém stále přetrvává doporučuje se provést kalibraci detektoru. Posledním krokem je kontaktování servisu, který provede opravu před dalším klinickým použitím.
Frekvence:	Týdně
Provádí:	RA

Test:	<b>Prověření možnosti softwarového odstranění defektních elementů</b>
Úprava:	Tento test je prováděn softwarem, nedošlo tedy k žádné úpravě.
Cíl zkoušky:	Kontroluje se schopnost softwarově nahradit vadné pixely.
Pomůcky:	Kalibrační fantom.
Provedení:	Klikne se na „Test“ u „Uncorrected defects“. Testuje se bez kompresní desky a ochrany hlavy a s kalibračním fantomem. Zvolí se projekce CC pravá (přístroj je v manuálním nastavení (31 kV, 63 mAs, Ag filtr)). Po uvedení do stavu „ready“ se provede expozice stlačením expozičního tlačítka. Po kliknutí na „Done“ se ukáže tabulka s počtem defektních elementů, které nelze softwarově odstranit, číslo se zapíše do papírové tabulky.
Požadavky:	Maximální počet defektních elementů, které nelze softwarově odstranit: 10
Náprava:	Při nevyhovění se očistí kalibrační fantom i clony a expozice se opakuje. Pokud ani tak test není úspěšný, kontaktuje se servis, který zjedná nápravu do 30 dní.
Frekvence:	Týdně.
Provádí:	RA
Test:	<b>Selhání prvků detektoru</b>
Úprava:	Tento test provádí software automaticky, není potřebná úprava.
Cíl zkoušky:	Kontroluje se stav detektoru. Zanedbání tohoto testu může vést ke zhoršené kvalitě obrazu a ztátě diagnostické informace.
Pomůcky:	Žádné.
Provedení:	V programu „Planmed Nuance Manager“ se zvolí ikona „Quality“ a v ní záložka „Quality Control“, klikne se na „Test“ u „Defect Acceptance“. Proběhne test bez expozice, software vyhodnotí výsledky.
Požadavky:	Počet vadných pixelů < 5000, počet vadných řádků a sloupců < 10, počet opravitelných shluků < 150 a počet neopravitelných shluků je 0.
Náprava:	Při nevyhovujícím výsledku testu doporučuje výrobce zkontrolovat expoziční parametry a použitý fantom a poté expozici opakovat. Pokud problém stále přetrvává doporučuje se provést kalibraci detektoru. Při opětovném selhání se kontaktuje klinický radiologický fyzik, který vyhodnotí situace a případným posledním krokem je kontaktování servisu, který provede opravu před dalším klinickým použitím.
Frekvence:	Pololetně.
Provádí:	Pracovník SOLF.

Test:	<b>Ověření linearity signálu a šumu</b>
Úprava:	U tohoto testu neproběhla žádná úprava, jedná se o softwarově přednastavený test.
Cíl zkoušky:	Ověření linearity signálu a šumu, nelinearita může významným způsobem znehodnotit kvalitu diagnostické informace.
Pomůcky:	Kalibrační fantom.
Provedení:	Klikne se na „Test“ u „Linearity Tests“. Testuje se bez kompresní desky a ochrany hlavy a s kalibračním fantomem. Provede 6 expozic s expozičními parametry udanými strojem (konstantní kV, rostoucí mAs). Software ze získaných dat automaticky vyhodnotí $R^2$ .
Požadavky:	Hodnota spolehlivosti prokladu při testování linearity signálu: $R^2 > 0,975$ . Hodnota spolehlivosti prokladu při testování linearity šumu $R^2 > 0,975$ .
Náprava:	Při nevyhovujícím výsledku testu doporučuje výrobce zkontrolovat expoziční parametry a použité fantomy a poté expozici opakovat. Pokud problém stále přetrvává doporučuje se provést kalibraci detektoru. Při opětovném selhání se kontaktuje servis, který provede opravu.
Frekvence:	Pololetně.
Provádí:	Pracovník SOLF.

Test:	<b>Ghosting</b>
Úprava:	U tohoto testu byla upravena frekvence na pololetní.
Cíl zkoušky:	Zanechávání artefaktů pocházejících z obrazu z předchozí expozice může významným způsobem znehodnotit kvalitu diagnostické informace. Kontroluje se, že nová expozice neobsahuje záznam o té předcházející.
Pomůcky:	4 desky PMMA pokývající pouze polovinu plochy detektoru (rozměr desky 1 cm x cm 28 x 32 cm) a 0,1 mm Al.
Provedení:	V programu „Planmed Nuance Manager“ se zvolí ikona „Quality“ a v ní záložka „Quality Control“, klikne se na „Test“ u „Ghosting Test“. Fantom o tloušťce 4 cm se umístí na podpěru prsu tak, že delší strana fantomu je srovnána s kratší stranou podpěry, fantom přesahuje o 1 cm hranu u hrudní stěny. Exponuje se v manuálním režimu dle parametrů přednastavených přístrojem (31 kV a 63 mAs, stříbrný filtr). Fantom se po této expozici přemístí do středu podpěry s přesahem delší strany 1 cm k hrudní stěně a na prostředek fantomu se umístí folie Al tloušťky 0,1 mm. Až to program dovolí, provede se druhá expozice opět v manuálním režimu. Zobrazené ROI se umístí dle návodu na obrazovce (plná ROI do stínu Al do místa s PMMA v prvním snímku, čárkovaná ROI do stínu Al do místa bez PMMA v prvním snímku, tečkovaná ROI mimo Al i PMMA z prvního snímku). Software stanoví ghost factor.
Požadavky:	Nesmí být vidět obraz z předchozí expozice a $ \text{Ghostfactor}  < 0,3$
Náprava:	Při nevyhovujícím výsledku testu doporučuje výrobce zkontrolovat expoziční parametry a použité fantomy a poté expozici opakovat. Pokud problém stále přetrvává doporučuje se provést kalibraci detektoru. Při opětovném selhání se kontaktuje servis, který provede opravu do 30 dnů od zjištění.
Frekvence:	Pololetně.
Provádí:	Pracovník SOLF.

# Kapitola 4

## Protokol

Pro ověření funkčnosti metodiky bylo provedeno měření všech testů, včetně softwarových. Výsledky jsou uvedeny v příloženém protokolu vytvořeném v programu Microsoft Excel 2007. Pro otestování protokolu a prezentaci jeho funkčnosti byla další pole vyplněna buď metodou náhodných čísel (funkce RANDBETWEEN) odpovídajícího rozsahu nebo doplněna na základě údajů z předchozích měření, proběhla-li. Protokol je rozdělen na dva listy. List *2024 - nové* obsahuje tabulku, do které jsou vyplňovány informace z měření. List *Roční shrnutí* obsahuje grafy a výstupní data, ukazující progres v rámci roku.

### 4.1 2024 - nové

Testy jsou rozděleny dle frekvence na týdenní, měsíční, čtvrtletní nebo půlroční. Denní testy v protokolu zahrnuté nejsou, zejména z důvodu přehlednosti. Denní testy jsou uvedeny v papírové formě u samotného přístroje.

U každého testu je uvedena (pokud je požadována) tolerance samotné hodnoty, referenční hodnota a tolerance vzhledem k ní. Vyplňují se pouze modře zbarvená políčka, bílá se dopočítávají automaticky. Na konci každého testu se automaticky potvrdí nebo popře soulad s požadavky. Pokud nejsou požadavky splněny, v poli se zobrazí "ne" a pole se zbarví do červena. Při splnění požadavků odpoví protokol "ano" a ke změně barvy nedochází.




soulad	ano	ne
--------	-----	----

Obrázek 4.1: Příklad souladu a nesouladu měřeného testu v protokolu

Ke každému testu se vyplňuje zkratka jména osoby provádějící měření a datum měření. Pod sekci každé frekvence je prostor na poznámky, případné opravy atp.

## 4.2 Roční shrnutí

Na tomto listu již nejsou uvedeny číselné parametry, jedná se opravdu jen o shrnutí testů. Testy jsou stále uvedeny po sekcích dle frekvence. U každého testu je vždy uveden piktogram, který informuje o výsledcích testu za uplynulou dobu. Zelený značí bezproblémový průběh testu. Oranžový ukazuje na jeden nevyhovující výsledek, červený pak na více, než jeden nevyhovující výsledek. Každý test má prostor pro informaci o provedených nápravných opatřeních, konkrétní ukázka na obrázku 4.2. Tam, kde je to smysluplné, je uveden grafický přehled průběhu zaznamenaných dat, včetně linie referenční hodnoty.

Test	Provedená nápravná opatření
Homogenita signálu 	
Sw. odstranění defekt. elementů 	servisní oprava
CNR 	servisní oprava

Obrázek 4.2: Piktogramy použité pro zpřehlednění výstupu. Zelený značí bezproblémový průběh testu, oranžový ukazuje na jeden nevyhovující výsledek, červený pak na více, než jeden nevyhovující výsledek. V sekci Provedená nápravná opatření jsou uvedeny provedené opravy.

# Kapitola 5

## Diskuze

Při provádění ZPS jako benefit vidím možnost softwarových testů s okamžitým výsledkem. RA tak může test provádět denně bez významného zdržení v klinickém provozu. Softwarové testy nejsou náročné na provedení a prakticky veškeré zpracování probíhá softwarem od firmy Planmed. Úkolem RF je pouze kontrola souladu za časové období. Přenos některých testů z RA na RF byl zvolen za účelem snížení pracovní zátěže RA.

Během měření byl odhalen zásadní nedostatek a to nestálost pomůcek k měření, zejména u PMMA desek, které ve skutečnosti nemají 2 cm, jak je avizováno a zároveň je jejich tloušťka proměnlivá po celém obvodu. Stejný problém se objevil i u 1 cm desek, které navíc nepokrývají celou plochou detektoru. Použití 1 cm desek bylo proto omezeno. V plánu FN Motol je nákup nových pomůcek. Obecně se ale chystá nákup nového mamografického přístroje, tedy nákup pomůcek velmi pravděpodobně proběhne až společně s ním.

Další nepřesnost vnášející faktor jsou distanční pomůcky, které je zároveň potřeba je umístit tak, aby příliš nezasahovali do receptoru obrazu. Řešením by mohl být více prso ekvivalentní fantom, který by lépe simuloval prsní tkáň a to i bez použití distančních pomůcek, kde by bylo možné použít dnes i čím dál tím běžnější 3D.

V plánu je také nákup nového fantomu pro kvalitu zobrazení, který měl podávat přesnější informaci, než současný.

Vzhledem k provedené analýze, by bylo možné do budoucí metodiky pro nový přístroj zahrnout i tyto informace - tedy např. provádět měření při 90 N, a pro rozsah  $\sigma$  konkrétního pracoviště a přiblížit se tak více klinickému provozu pracoviště. Pokud by toto bylo možné uvést do praxe, znamenalo by to, že v rámci ZPS bude kladen větší důraz na individuální klinický provoz, což odpovídá současným trendům individualizace medicíny pro lepší péči o pacienta. Konkrétní měření standardizovaných hodnot budou přenechána ZDS.

Ohledně tvorby protokolu je nutné poznamenat, že některé funkce MS Excel nebylo možné využít v plném rozsahu, neboť ve FN Motol je k dispozici verze 2007.

Tato práce tedy je spíše výchozím bodem pro potřebné úpravy do budoucna. Metodika byla zpracována s ohledem na stávající vybavení ve FN Motol a stáří přístroje.

# Závěr

V první části této práce je podrobně rozebrán mamografický zobrazovací řetězec, se zdůrazněním specifik mamografie. Část týkající se zobrazování, a tedy i diagnostických monitorů zde není podrobně popsána. Diagnostické monitory a jejich kontroly kvality jsou dalším rozsáhlým tématem, které by přesáhlo rámec této bakalářské práce. Jedná se o samostatné ZPS.

V rámci této bakalářské práce byla provedena rešerše současných mezinárodních standardů pro kontrolu provozní stálosti mamografických zařízení. Analýza metodik od European Federation of Organizations for Medical Physics (EFOMP), American College of Radiology (ACR) a Státního ústavu pro jadernou bezpečnost v České republice (SÚJB), která poskytla informace o požadavcích kladených na mamografické přístroje. Doporučení od SÚJB bylo zpracováno ve verzi z roku 2009, neboť zatím nedošlo k aktualizaci předpokládané při zadávání této práce. Získané poznatky byly dále kombinovány s praktickými zkušenostmi a specifiky FN Motol a doporučeními od výrobce mamografického zařízení Planmed Nuance Excel.

Na základě této rešerše byla navržena metodika pro kontrolu provozní stálosti, která reflektuje aktuální informace i požadavky pracoviště. Klíčovým prvkem této nové metodiky je detailní protokol v programu Microsoft Excel, který umožňuje efektivní a systematický zápis výsledků při provádění kontrol. V první řadě je nevýhodou této metodiky, že v blízké době se bude muset po vydání nového doporučení SÚJB aktualizovat. Vzhledem k zapracování nejnovějších mezinárodních standardů lze počítat s tím, že aktualizace nebude příliš rozsáhlá.

Funkčnost metodiky byla ověřena provedeným měřením, přičemž část dat slouží jako nové referenční hodnoty.

Cílem této práce bylo poskytnout užitečné směry pro zlepšení postupů kontroly mamografických zařízení. Předpokládáme, že implementace navržené metodiky přispěje k výraznému zlepšení diagnostických výsledků a celkové bezpečnosti pacientek podstupujících mamografická vyšetření. Zavedení standardizovaného postupu kontroly provozní stálosti může přinést výhody nejen pro pracovníky mamografických pracovišť, ale také pro

samotné pacientky, které se tak mohou spolehnout na kvalitu a bezpečnost poskytované diagnostiky.

# Literatura

- [1] *ACR Digital Mammography QC Manual*. 2018. URL: <https://www.acraccreditation.org/resources/digital-mammography-qc-manual-resources>.
- [2] Bushberg, Jerold, T. Seiberg, J. Anthony a Edwin M. Leidholdt Jr and Boone, John M. *The Essential Physics of Medical Imaging*. Wolters Kluwer Health, 2020.
- [3] Commission, European et al. *European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis – Fourth edition, supplements*. Ed. Karsa, L et al. Publications Office, 2013. DOI: doi/10.2772/13196.
- [4] *EFOMP Mammo Protocol*. 2017. URL: <https://www.efomp.org/index.php?r=fc&id=protocols> (cit. 10.09.2023).
- [5] Ing. Lucie Súpupová Ph.D., EACMPE. *Radiační ochrana při rentgenových výkonech - to nejdůležitější pro praxi*. Praha: Grada Publishing, 2018.
- [6] Májek, O. et al. *Mamo.cz – Program mamografického screeningu v České republice*. 2019. URL: <https://www.mamo.cz/> (cit. 28.02.2023).
- [7] Motol, FN. *Metodický postup pro provádění zkoušek provozní stálosti na mamografu*. 2017.
- [8] *Národní onkologický registr (NOR)*. 2018. URL: <https://www.uzis.cz/res/f/008352/novotvary2018.pdf> (cit. 30.01.2023).
- [9] *Planmed Nuance/Nuance Excel - User's manuals - en*. URL: <https://materialbank.planmed.com/catalog/Manuals/r/73344/viewmode=previewview/fc=5%3A81317> (cit. 10.11.2023).
- [10] *Planmed Nuance/Nuance Excel - User's manuals - en*. URL: <https://materialbank.planmed.com/catalog/Manuals/r/75799/viewmode=previewview/qsr=planmed%20Nuance> (cit. 10.11.2023).
- [11] SÚJB. *Zkoušky provozní stálosti - mamografická digitální pracoviště*. 2009. URL: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/lekarske-ozareni/doporuceni-sujb-tykajici-se-radiodiagnostiky>.

- [12] zdravotnictví, Ministerstvo. *Národní radiologické standardy a indikační kritéria – Mamografie*, *Věstník MZ ČR 3/2021*. 2021. URL: <https://www.mzcr.cz/vestnik/vestnik-c-3-2021> (cit. 02.03.2023).

# Seznam obrázků

1.1	Konstrukce mamografického systému [5] . . . . .	10
1.2	Techniky proti rozptylu běžně používané v mamografii	
	(A) Lineární mřížka - poměr mřížky cca 5 a meziprostorový materiál z uhlíkových vláken	
	(B) Buněčná mřížka - konstrukce z měděného plechu s mřížkovým poměrem cca 3,8 a meziprostorový materiál vzduch	
	(C) Air-gap technika - používaná na zvětšování.[2] . . . . .	14
2.1	ACR DM fantom . . . . .	30
2.2	Snímek ACR DM fantomu . . . . .	30
2.3	Insert ACR DM fantomu s kontrastními značkami . . . . .	31
3.1	Klinické tloušťky prsu za období 1.1.2022 - 1.4.2024, zpracováno v programu Matlab2023a . . . . .	34
3.2	Klinicky používané kompresní síly za období 1.1.2022 - 1.4.2024, zpracováno v programu Matlab2023a . . . . .	35
4.1	Příklad souladu a nesouladu měřeného testu v protokolu . . . . .	50
4.2	Piktogramy použité pro zpřehlednění výstupu. Zelený značí bezproblémový průběh testu, oranžový ukazuje na jeden nevyhovující výsledek, červený pak na více, než jeden nevyhovující výsledek. V sekci Provedená nápravná opatření jsou uvedeny provedené opravy. . . . .	51

# Seznam tabulek

2.1	Požadované CNR v závislosti na tloušťce fantomu PMMA . . . . .	22
2.2	Požadované $\Delta SDNR_{45mm}$ v závislosti na tloušťce fantomu PMMA . . . . .	24
2.3	Bodové hodnocení insertu v mamografickém fantomu ACR DM fantom. Za každý viditelný objekt v řadě se udělují (půl)body. Kritérium je vždy součet bodů za celou řadu pro jeden konkrétní typ kontrastního objektu (vlákna, skupiny teček, velké objekty). . . . .	31
3.1	Přepočítání pravděpodobností p, pro tloušťky prsou dle normálního rozdělení, zpracováno v programu Matlab2023a . . . . .	34
3.2	Výběr vhodných distančních pomůcek pro různé tloušťky . . . . .	39
3.3	Požadované CNR v závislosti na tloušťce fantomu PMMA při použití vyšší hustoty vzorkování . . . . .	41
3.4	Přehled opakovaných expozic za posledních 5 let . . . . .	45