

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2023**

**Simona Mečlová**

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví (B5345)

**Simona Mečlová**

Studijní obor: Radiologický asistent

**ZKOUŠKY PROVOZNÍ STÁLOSTI V NUKLEÁRNÍ  
MEDICÍNĚ**

**Bakalářská práce**

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Pokorný, Ph.D.

PLZEŇ 2023

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval/a samostatně a všechny použité prameny jsem uvedl/a v seznamu použitých zdrojů.

V Plzni dne

.....

vlastnoruční podpis

## **Abstrakt**

Příjmení a jméno: Simona Mečlová

Katedra: Katedra záchranářství, diagnostických oborů a veřejného zdravotnictví

Název práce: Zkoušky provozní stálosti v nukleární medicíně

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Pokorný, Ph.D.

Počet stran – číslované: 54

Počet stran – nečíslované: 20

Počet příloh: 5

Počet titulů použité literatury: 12

Klíčová slova: zkoušky provozní stálosti, nukleární medicína, SPECT/CT

### **Souhrn:**

Bakalářská práce se zabývá zkouškami provozní stálosti v nukleární medicíně, které určují systém zabezpečení jakosti na oddělení nukleární medicíny. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část je věnována obecně testům, které jsou součástí systému zabezpečení jakosti v nukleární medicíně, a také popisuje princip přístroje zkoumaného v praktické části. Praktická část obsahuje kvalitativní výzkum, který se zabývá zkouškami na SPECT/CT přístroji.

## **Abstract**

Surname and name: Simona Mečlová

Department: Department of Rescue Services, Diagnostic Fields and Public Health

Title of thesis: Routine quality tests in nuclear medicine

Consultant: Ing. Tomáš Pokorný, Ph.D.

Number of pages – numbered: 54

Number of pages – unnumbered: 20

Number of appendices: 5

Number of literature items used: 12

Keywords: Routine quality tests, nuclear medicine, SPECT/CT

### Summary:

The bachelor thesis deals with routine quality tests in nuclear medicine, which determine the quality assurance system in nuclear medicine department. The work is divided into theoretical and practical parts. The theoretical part is devoted generally to tests that are part of the nuclear medicine quality assurance system and also describes the principle of the instrument examined in the practical part. The practical part contains qualitative research that deals with SPECT/CT instrument testing.

## **Předmluva**

Práce byla sepsána z důvodu přiblížení problematiky systému zabezpečení jakosti v nukleární medicíně, pro které není vydáno žádné aktuální doporučení. Cílem práce bylo na jednom vybraném přístroji, který spadá do systému zabezpečení jakosti popsat jednoduché zkoušky provozní stálosti. Vybraným přístrojem bylo SPECT/CT. Dále bylo zkoumáno, zda provedené testy předepsané společností Siemens odpovídají doporučení IAEA. Následně bylo také zjišťováno, jaké jsou nejčastější chyby při testech a jak jim předcházet.

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala Ing. Tomášovi Pokornému Ph.D., za odborné vedení práce a za poskytování cenných rad a připomínek. Dále bych ráda poděkovat Ing. Milanu Kozákovvi, za pomoc při sběru dat pro praktickou část, za ochotu při poskytování informací a za čas, který mi věnoval.

# OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	10
SEZNAM TABULEK .....	11
SEZNAM ZKRATEK .....	12
ÚVOD.....	13
1 ZKOUŠKY PROVOZNÍ STÁLOSTI NA PRACOVIŠTÍCH NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY .....	14
1.1    Systém zabezpečení jakosti.....	14
1.2    Předávací zkoušky .....	15
1.3    Provozní zkoušky.....	15
1.3.1    Jednoduché .....	15
1.3.2    Náročné.....	15
2 KONTROLA MĚŘIDEL AKTIVITY .....	16
2.1    Měřidla aktivity.....	16
2.2    Fyzická kontrola .....	16
2.3    Pozadí.....	16
2.4    Krátkodobá reprodukovatelnost (stabilita) .....	17
2.5    Kalibrace (přesnost cejchování).....	17
2.6    Linearita .....	18
2.7    Geometrie měření (objemová závislost).....	18
3 KONTROLA DETEKČNÍCH APARATURY IN VIVO A IN VITRO .....	19
3.1    Aparatury .....	19
3.1.1    In vivo aparatury.....	19
3.1.2    In vitro aparatury .....	19
3.2    Energetická kalibrace.....	20
3.3    Krátkodobá stabilita .....	20
3.4    Dlouhodobá stabilita .....	20
3.5    Energetická rozlišovací schopnost.....	21
3.6    Citlivost.....	21
3.7    Linearita energetické odezvy .....	22
3.8    Linearita odezvy na aktivitu .....	22
3.8.1    Mrtvá doba přístroje .....	23
3.9    Geometrická účinnost .....	23
4 KONTROLA PLANÁRNÍCH ZOBRAZOVACÍCH SYSTÉMŮ.....	24
4.1    Planární integrální homogenita.....	24
4.1.1    Denní test.....	24
4.1.2    Půlroční test .....	25

4.2	Prostorová rozlišovací schopnost.....	25
4.2.1	Vizuální test.....	25
4.2.2	Kvantitativní test .....	26
4.3	Citlivost detektoru.....	26
4.4	Energetická rozlišovací schopnost.....	27
4.5	Linearita odezvy na aktivitu .....	27
4.6	Více-okénková prostorová registrace .....	28
4.7	Měřítka zobrazení .....	28
5	KONTROLA TOMOGRAFICKÝCH ZOBRAZOVACÍCH SYSTÉMŮ.....	29
5.1	Centrum rotace.....	29
5.2	Prostorová rozlišovací schopnost.....	29
5.3	Tomografická homogenita .....	30
5.4	Komplexní kontrola kvality obrazu .....	30
5.5	Tomografický kontrast.....	31
5.6	Objemová citlivost.....	32
6	SPECT .....	33
6.1	Konstrukce gamakamery .....	33
6.2	Rekonstrukční algoritmy.....	34
6.3	SPECT/CT .....	34
	PRAKTICKÁ ČÁST .....	36
7	CÍL A VÝZKUMNÉ OTÁZKY .....	36
7.1	Cíl.....	36
7.2	Výzkumné otázky .....	36
8	METODIKA PRÁCE .....	37
9	DENNÍ TESTY NA PŘÍSTROJI SYMBIA INTEVO 2 .....	38
9.1	Část CT .....	38
9.1.1	CheckUp test .....	38
9.1.2	Kontrola homogenity .....	39
9.1.3	Kontrola šumu .....	40
9.2	Část SPECT .....	41
9.2.1	Kontrola homogenity detektorů plošným zdrojem.....	41
10	TÝDENNÍ TESTY NA PŘÍSTROJI SYMBIA INTEVO 2.....	44
10.1	Část SPECT.....	44
10.1.1	Vnitřní kalibrace a kontrola homogenity.....	44
11	MĚSÍČNÍ TESTY NA PŘÍSTROJI SYMBIA INTEVO 2 .....	47
11.1	Část CT.....	47
11.1.1	Kontrola tloušťky řezu.....	48



11.2	Část SPECT.....	49
11.2.1	Jemnější vnitřní kalibrace a kontrola homogenity.....	49
11.2.2	Test prostorové registrace detektorů.....	51
12	POROVNÁNÍ TESTŮ S DOPRUCENÍM IAEA .....	54
12.1	Homogenita .....	54
12.2	Prostorová registrace detektorů.....	55
12.3	Peaking.....	56
12.4	Zahřátí rentgenky a kalibrace na vzduch.....	56
12.5	Další zkoušky CT .....	57
13	MOŽNÉ CHYBY V MĚŘENÍ A DOPORUCENÍ .....	58
13.1	Chybná aktivita zdroje .....	58
13.2	Chybné umístění fantomů .....	59
13.3	Jiné zdroje záření ve vyšetřovně .....	59
	DISKUZE .....	61
	ZÁVĚR.....	66
	SEZNAM LITERATURY .....	67
	SEZNAM PŘÍLOH .....	69
	PŘÍLOHY .....	70
	Příloha A – Vybrané testy denní kontroly šumu CT .....	70
	Příloha B – Vybrané testy denní kontroly homogenity CT.....	71
	Příloha C – Vybrané testy měsíční kontroly řezu CT.....	72
	Příloha D – Vybrané testy měsíční kontroly homogenity CT .....	73
	Příloha E – Vybrané testy měsíční kontroly šumu CT .....	74

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Fantom pro CT testy .....	39
Obrázek 2: Umístění plošného zdroje pro denní test homogenity SPECT .....	42
Obrázek 3: Výsledky denního testu homogenity .....	43
Obrázek 4: Umístění bodového zdroje v držáku pro testy vnitřní kalibrace .....	44
Obrázek 5: Výsledky týdenního testu vnitřní kalibrace .....	45
Obrázek 6: Ověřování pozice fantomu pomocí laserů .....	47
Obrázek 7: Výsledky měsíčního testu vnitřní kalibrace .....	50
Obrázek 8: Držák pro zdroje k testu prostorové registrace detektorů .....	51
Obrázek 9: Umístění zdrojů při testu prostorové registrace detektorů .....	52
Obrázek 10: Výsledky testu prostorové registrace detektorů .....	53
Obrázek 11: Výsledky vybraných testů denní kontroly šumu .....	70
Obrázek 12: Výsledky vybraných testů denní kontroly homogenity .....	71
Obrázek 13: Výsledky vybraných testů měsíční kontroly řezu .....	72
Obrázek 14: Výsledky vybraných testů měsíční kontroly homogenity .....	73
Obrázek 15: Výsledky vybraných testů měsíční kontroly šumu .....	74

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Parametry pro denní kontrolu homogenity CT.....	40
Tabulka 2: Parametry pro denní kontrolu šumu CT .....	41
Tabulka 3: Toleranční hodnoty pro kontrolu homogenity .....	43
Tabulka 4:Paramety pro měsíční kontrolu tloušťky řezu CT .....	49
Tabulka 5: Toleranční hodnoty pro test prostorové registrace detektorů.....	53

## **SEZNAM ZKRATEK**

CT .....	Computed Tomography
ČMI.....	Český Metrologický Institut
FOV .....	Field Of View
FWHM.....	Full Width at Half Maximum
HU.....	Hounsfield Unit
IAEA.....	International Atomic Energy Agency
MHR .....	Multiple Head Registration
NEMA.....	National Electrical Manufacturers Association
ROI.....	Region Of Interest
SPECT .....	Single Photon Emission Computed Tomography
SÚJB .....	Státní Úřad pro Jadernou Bezpečnost

## ÚVOD

V současnosti jsou na pracovištích nukleární medicíny využívány moderní přístroje, díky kterým je možné získat velice kvalitní diagnostické informace. Důležité pro získání dostatečně kvalitních záznamů je správné fungování přístroje. K tomu, aby přístroje fungovaly tak jak mají, je nutné na nich provádět pravidelné testy a měření. Testy jsou součástí systému zabezpečování jakosti na odděleních nukleární medicíny. Při těchto testech se kontrolují různé parametry přístrojů, jednotlivé parametry jsou změřeny a následně porovnány s tolerančními hodnotami. Zkoušky, které jsou součástí tohoto systému, jsou důležité jak pro zajištění co nejlepší diagnostické informace, tak i pro to, aby byla co nejmenší radiační zátěž pacienta. Zkoušky se dělí na jednoduché a náročné. Jednoduché zkoušky jsou prováděny vyškoleným personálem, kterým může být i radiologický asistent, zkoušky náročné musí dělat specializovaná firma. Jednotlivé testy na přístrojích jsou realizovány v různých intervalech, určené intervaly většinou stanovuje výrobce přístroje. Pokud přístroj nevyhoví v jakémkoli testu, není možné ho nadále používat, dokud nebude opraven, protože by mohl poskytovat nepřesné diagnostické informace.

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část je rozdělena do šesti kapitol. První kapitola se zabývá obecně systémem zabezpečení jakosti, tedy tím, jaké přístroje podléhají zkouškám a jak jsou zkoušky prováděné na odděleních nukleární medicíny rozděleny. Následující čtyři kapitoly se zabývají nejprve popisem přístrojů, které spadají do systému zabezpečení jakosti a následně vždy u každého přístroje stručným popisem jednotlivých testů. Poslední kapitola teoretické části je zaměřena na SPECT, který je zkoumán v praktické části. V této kapitole je stručně popsána konstrukce přístroje, a jak přístroj funguje. Poslední část šesté kapitoly se zabývá SPECT/CT přístrojem, jeho konstrukcí, k čemu se využívá a jaké jsou jeho výhody.

Praktická část je zaměřena na jednoduché testy prováděné na přístroji SPECT/CT, kterým je Symbia Intevo 2. Testy jsou zde podrobně popsány spolu se získanými a změřenými výsledky jednotlivých testů, ke kterým jsou uvedeny toleranční hodnoty. Následně jsou prováděné testy porovnány s doporučením od Mezinárodní agentury pro atomovou energii. Další úsek praktické části je věnován nejčastějším chybám, ke kterým při testech dochází a zároveň tato část obsahuje návrhy, jak chybám předejít.

# 1 ZKOUŠKY PROVOZNÍ STÁLOSTI NA PRACOVIŠTÍCH NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY

## 1.1 Systém zabezpečení jakosti

Systém zabezpečení jakosti na pracovištích nukleární medicíny určuje § 68 zákona č. 263/2016 Sb. (Atomový zákon). Program kontroluje přístrojovou techniku.

Kontroly se provádí za účelem včasné odhalit změny na přístrojové technice, kvůli kterým by se mohla zhoršit kvalita vyšetření. Zajišťuje se, aby byl při vyšetření získán co nejlépe diagnosticky hodnotitelný obraz a zároveň byla co nejmenší radiační zátěž pacienta, ale také personálu. Proto je důležité, aby byly zkoušky prováděny za přesně předem daných podmínek. Zkoušky totiž musí být snadno reprodukovatelné, tak aby jejich výsledky bylo možné porovnávat. Mezi zkouškami musí být vhodné časové intervaly, které jsou určeny pro jednotlivé kontroly zvlášť, tak aby byli co nejvhodnější. Také je nutné, aby bylo předem známo, jak postupovat, pokud bude výsledek zkoušky nevyhovující. (1)

Systém zabezpečení jakosti přístrojové techniky zahrnuje kontroly:

- měřidel aktivity – kalibrátory,
- aparatur in vivo a in vitro,
- planárních a tomografických zobrazovacích přístrojů,
- přístrojů pro ochranou dozimetrii. (1)

U zkoušek jsou určeny parametry, které popisují postup provádění zkoušky. Těmito parametry jsou:

- definice – stručné shrnutí, co se testem zkoumá,
- provedení – jakým způsobem se test provádí,
- hodnocení – vyhodnocení v jakých případech zkouška vyhoví,
- frekvence – četnost zkoušky,
- nápravná opatření – jak napravit případné špatné výsledky. (1)

Ukazatele kontroly kvality, tedy sady veličin, které popisují kvalitu při zobrazování, jsou popisovány pomocí standardů, které jsou udávány většinou jako standardy NEMA (americké sdružení výrobců elektrických zařízení). (2)

## **1.2 Předávací zkoušky**

Předávací zkoušky jsou prováděny pokaždé, než je přístroj uveden do provozu. Také jsou prováděny vždy po větší opravě přístroje. Během zkoušek je nutné porovnat hodnoty naměřené s hodnotami uvedenými výrobcem, které jsou uvedené v doprovodné dokumentaci. Hodnoty by si měly odpovídat. (1)

Předávací zkoušky může provést prodávající firma, od které přístroj pochází na pracovišti kupujícího za dohledu odborníka z daného pracoviště. Dále může zkoušky provést zaměstnanec daného pracoviště, který je náležitě kvalifikovaný k provádění zkoušek. Nebo může zkoušky provést nezávislý odborník, pokud se tak dohodne kupující s prodávajícím. Tím by měla být zajištěna nezájatost při provádění zkoušek. (1)

Pokud naměřené hodnoty neodpovídají hodnotám uvedených výrobcem v doprovodné dokumentaci, pak nelze přístroj převzít a je třeba přístroj opravit nebo vyměnit za nový. Předávací zkoušky jsou podkladem pro provádění provozních zkoušek. (1)

## **1.3 Provozní zkoušky**

Provozní zkoušky mají za úkol zjišťovat, zda jsou naměřené hodnoty v toleranci s hodnotami určenými při zkouškách předávacích. Cílem těchto zkoušek je také zjišťovat změny v naměřených parametrech, a to jak z krátkodobého hlediska, tak i z dlouhodobého. (1)

### **1.3.1 Jednoduché**

Jednoduché zkoušky nejsou časově náročné, a také jsou prováděny častěji (v krátkých časových intervalech). Jsou nenáročné, většinou k nim nejsou potřeba žádné speciální pomůcky, a tak mohou být zajišťovány i zaměstnanci daného pracoviště. (1)

### **1.3.2 Náročné**

Náročné zkoušky jsou většinou časově obtížné a také jsou k nim třeba speciální zařízení a pomůcky. Nejsou prováděny tak často jako zkoušky jednoduché. Může je zajišťovat pracoviště samo. Pokud ovšem pracoviště nemá možnosti pro provedení těchto zkoušek, musí si zařídit provedení zkoušek od specializované firmy. (1)

## 2 KONTROLA MĚŘIDEL AKTIVITY

Mezi jednoduché zkoušky u kontroly kalibrátoru se řadí: fyzická kontrola, kontrola pozadí a kontrola stability. (1)

Při náročných zkouškách se kontroluje: kalibrace, linearita a geometrie měření. (1)

### 2.1 Měřidla aktivity

Měřidla aktivity se používají pro hodnocení jakosti radiofarmak. Pomocí nich se stanovuje aktivita radiofarmaka, při jejich přípravě a před podáním přípravku pacientovi. Tato hodnota změřená se smí pohybovat v rozmezí 90–110% deklarované hodnoty měřeného radionuklidu. (3)

Měřidla aktivity neboli kalibrátory jsou nejčastěji vybaveny studnovou ionizační komorou. Ionizační komora je válcová komora naplněna netečným plynem. Ve středu komory je studna pro vložení vzorku. Komora je pomocí elektrod přivedena ke zdroji stejnosměrného napětí. Pokud není ve studni radioaktivní vzorek, neprochází proud, protože není plyn v komoře ionizován. Aktivita radionuklidu v komoře je určena intenzitou gama záření a tím i hodnotou elektrického proudu. (4)

Studnové ionizační komory nejsou vhodné pro měření tělních tekutin nebo vzorků s nízkou aktivitou, protože jejich citlivost je velice nízká. (5)

Studnové komory se používají i přesto, že mají nízkou citlivost právě proto, že „*vykazují nejlepší stabilitu a zároveň mají velmi dobrou lineární odezvu v širokém rozsahu měřených aktivit. Správná hodnota měřené aktivity je klíčovým faktorem zajištění radiační ochrany při nukleárně-medicínském vyšetření.*“ (6)

### 2.2 Fyzická kontrola

Fyzická kontrola se provádí každý den a není k ní potřeba žádných nástrojů. Při zkoušce se zkontroluje neporušenost kalibrátoru, ale také držáku zdroje a kabelů. (7)

### 2.3 Pozadí

Při předávacích zkouškách je zkontrolována aktivita pozadí, následně je kontrolována každý den. Cílem testu je zjistit, zda je aktivita pozadí v přijatelném rozsahu. Tolerance aktivity pozadí je určena při přijímacích zkouškách. (1)



Test je uskutečněn tak, že je změřeno pozadí bez přítomnosti zdroje ve studni komory. Získané hodnoty by neměly být větší než 50 % hodnoty určené při předávacích zkouškách. (4)

## 2.4 Krátkodobá reprodukovatelnost (stabilita)

Kontrola se provádí při předávacím testování a poté denně. Měla by být provedena také pokaždé, když je udělán servis na přístroji a mohlo by při něm dojít k narušení stability. (1)

Kontrola stability probíhá tak, že je ve studni komory desetkrát po sobě změřen zdroj s dlouhým poločasem přeměny, kterým bývá například  $^{137}\text{Cs}$  (pro gama záření) nebo  $^{68}\text{Ga}$  (pro pozitronové záření). Zdroj by měl mít aktivitu vyšší než 3 MBq. Následně se vypočte aritmetický průměr  $\bar{x}$  a směrodatná odchylka  $s_x$ , s jejichž pomocí se poté vypočte variační koeficient  $v_x$  ze vzorce. (1)

$$v_x = \frac{s_x}{\bar{x}}$$

Pro uspokojující výsledek a také správné fungování, by variační koeficient neměl být u studnových ionizačních komor vyšší než 1 %. (4)

## 2.5 Kalibrace (přesnost cejchování)

Test kalibrace je uskutečňován v intervalech předepsaných kontrol, které provádí Inspektorát pro ionizující záření ČMI. Zkouška by měla být provedena také pokaždé, je-li na přístroji prováděna oprava, která by mohla kalibraci změnit. Při testování se sleduje odchylka mezi změřenými hodnotami a aktivitou etalonu, která je uvedena výrobcem. Jde tedy o testování přesnosti systému pro určené zdroje. (1)

Před samotným testem kalibrace je zjištěna stabilita přístroje. Je použit etalon radionuklidu, který by měl mít aktivitu desítek MBq. Tento etalon je dodán Inspektorátem pro ionizující záření. Je provedeno 10 měření a z nich vypočten aritmetický průměr. (1)

Je porovnávána změřená aktivita a známá aktivita etalonu a poté zjištěna odchylka těchto hodnot. Kalibrace je v pořádku, pokud je odchylka mezi těmito hodnotami menší než 5 %. (1)

## 2.6 Linearita

Kontrola linearity se provádí při předávacích zkouškách a poté vždy jednou za rok nebo při každé opravě, kdy může dojít k ovlivnění linearity. Cílem je stanovit mez a zjistit, zda přístroj v tomto rozsahu reaguje lineárně. (1)

Ve studni komory je měřen roztok o počáteční aktivitě přibližně 25 GBq. Měření aktivity vzorku probíhá přibližně každé dvě hodiny po dobu čtyř dnů. Měření probíhá, dokud se aktivita roztoku nesníží na hodnoty pod 1 MBq nebo dokud není lineární část křivky dostatečně dlouhá. Změřené hodnoty, z nich každá je aritmetickým průměrem tří měření, jsou vyneseny do semilogaritmického grafu v závislosti na čase. Posledními deseti hodnotami se proloží přímka. Poté je z grafu určena nejvyšší hodnota, která ještě není odchýlena od přímky. Všechny hodnoty vyšší, než tato maximální hodnota jsou podhodnocené. Tím je určen rozsah, při kterém přístroje reaguje lineárně. (1)

## 2.7 Geometrie měření (objemová závislost)

Testování se provádí pouze při předávacím testování. Závislost odezvy přístroje záleží na objemu a tvaru daného vzorku. Záleží tedy na tom, jaký je objem aktivního vzorku a dále také závisí na tvaru nádoby, ve které se vzorek nachází. Proto je nutné si určit výchozí používanou stříkačku a objem. (4)

Test je uskutečněn tak, že se do výchozí stříkačky nabere roztok radionuklidu, tento roztok by měl mít objemovou aktivitu přibližně 100 MBq/ml. Poté se určí výchozí aktivita, pro kterou je měřidlo nakalibrováno. Tato aktivita by měla být aritmetickým průměrem minimálně tří naměřených hodnot. Dále se roztok ve stříkačce postupně ředí fyziologickým roztokem a je měřena aktivita roztoku, pro všechny určené objemy. Pro další stříkačky jiného typu, se také nabere roztok radionuklidu, tak aby byla aktivita stejná jako u první výchozí stříkačky. Následující postup je totožný jako se stříkačkou původní. K vyhodnocení testu se porovnávají hodnoty naměřených aktivit  $A_i$  s aktivitou původní  $A$  a následně se stanoví opravné faktory  $k_i$  pro jednotlivé geometrie měření. (4)

$$k_i = \frac{A}{A_i}$$

Jsou-li zjištěny faktory v rozsahu  $\pm 5\%$ , není nutná korekce změřených údajů aktivity roztoku na měřící geometrii. Pokud jsou zjištěné faktory vyšší, je třeba všechny změřené hodnoty vynásobit faktorem  $k_i$ . (1)

## **3 KONTROLA DETEKČNÍCH APARATURY IN VIVO A IN VITRO**

Mezi jednoduché zkoušky se u detekčních aparatur řadí kontrola energetické kalibrace a kontrola krátkodobé reprodukovatelnosti. (1)

Při náročných zkouškách je kontrolována: dlouhodobá stabilita, energetická rozlišovací schopnost, citlivost, linearita a geometrická účinnost. (1)

### **3.1 Aparatury**

#### **3.1.1 In vivo aparatury**

In vivo detekční aparatury měří aktivitu radiofarmaka uvnitř těla pacienta. Dělí se na funkční a zobrazovací. Během funkčního vyšetření je sledována aktivita určitého místa v průběhu času, detektorem pro toto vyšetření je takzvaná scintilační sonda. Během zobrazovacího vyšetření je sledováno prostorové rozložení aktivity v dané zkoumané oblasti. (8)

Scintilační sonda je připevněna ke stativu, a tak je možné ji přesně zaměřit na vyšetřovanou část, vybrané pole je vymezeno kolimátorem. Jsou využívány ke zjišťování četnosti impulzů během časového intervalu na jednom místě. Ovšem většina vyšetření prováděných scintilační sondou je dnes již nahrazeno zobrazovacími vyšetřeními. Právě kvůli lepší možnosti prostorové lokalizace. Stále používané jsou však sondy například na operačních sálech při takzvané radiačně navigované chirurgii, kde se vyhledává např. sentinelová uzlina (prvních spádových lymfatických uzlin). (2)

#### **3.1.2 In vitro aparatury**

In vitro detekční aparatury měří aktivitu mimo tělo pacienta v laboratorních podmínkách. Může se jednat například o tělní tekutiny nebo exkrekty, ale také je používána pro zjištění přesné aktivity radiofarmak před vyšetřením. Dále mohou být použity k radioimunologické analýze. (8)

Aktivita při použití aparatury in vitro je měřena pomocí studnových krystalů. Jedná se o válcové krystaly s dutinou uprostřed, do které je vkládán zkoumaný vzorek. Celá tato soustava je uzavřena v olověném obalu. (2)

### 3.2 Energetická kalibrace

Testování se provádí u aparatur in vitro jednou za týden, u aparatur in vivo denně. Je-li k dispozici autokalibrace, provádí se, dle doporučení výrobce. Při této kontrole se určuje vztah mezi energií fotonu záření gama a polohou fotonu v energetické stupnici analyzátoru. Energetické kalibrace neboli peaking kontroluje polohu fotonů. Je nezbytná při použití směsi radionuklidů. Je také potřebná pro informaci o rozsahu měřených hodnot analyzátoru. (1)

Test je proveden tak, že jsou u vybraných radionuklidů (o aktivitě jednotek až desítek kBq) změřena scintilační spektra a zjistí se poloha vrcholu fotonu (úplné absorpce) v energetické stupnici analyzátoru. Naměřené hodnoty jsou vyneseny do grafu a proloží se lineární funkcí. (4)

Energetická kalibrace je v pořádku, pokud poloha fotonu odpovídá energii gama záření. Pokud není energetická kalibrace vyhovující, je poloha fotonu upravena změnou napětí nebo zesílení. (1)

### 3.3 Krátkodobá stabilita

Test je prováděn při předávacích zkouškách a poté vždy jednou za měsíc. Při testu je cílem zjistit rozptyl četnosti impulzů a určit směrodatnou odchylku. (1)

Testu probíhá tak, že se změří deset hodnot četnosti impulzů při stejných podmínkách (se stejným zdrojem) a poté se vypočítá směrodatná odchylka. (4)

Vypočtená směrodatná odchylka nesmí být výrazně odlišná od směrodatné odchylky očekávané, takzvané Poissonovské, která se vypočte jako odmocnina z aritmetického průměru naměřených hodnot. (4)

### 3.4 Dlouhodobá stabilita

Test dlouhodobé stability je prováděn jednou za rok. Při tomto testu je z deseti hodnot z testu krátkodobé stability vypočten variační koeficient. Jednotlivé hodnoty, ze kterých se počítá variační koeficient, musí mít mezi měřeními odstup alespoň jeden měsíc. (1)

Vypočtený variační koeficient by měl být menší než  $\pm 1$  %. Jestliže by byl variační koeficient větší než 1,5 %, měl by být kontaktován servis. (1)

### 3.5 Energetická rozlišovací schopnost

Zkouška je prováděna při předávacím testování a poté každý půlrok. Při tomto testu se určuje, jak je soustava schopna od sebe odlišit různé energie záření, které jsou detekovány. Je vyhodnocována nejčastěji ze spektra  $^{137}\text{Cs}$ . (4)

Test je proveden tak, že je u vzorku radionuklidu s aktivitou jednotek až desítek kBq změřeno scintilační spektrum. Je změřena hodnota pološířky fotopíku  $d$  a poloha fotopíku  $E$  neboli energie záření. Následně jsou tyto změřené hodnoty dosazeny do daného vztahu a je vypočtena energetická rozlišovací schopnost. Energetickou rozlišovací schopnost lze určit také graficky. (1)

Energetická rozlišovací schopnost  $R$  je definována jako poměr pološířky fotopíku  $d$  a energie emitovaného záření  $E$  a je uváděna v procentech. (1)

$$R = \frac{d}{E} \cdot 100 [\%]$$

Vypočtená hodnota se porovnává s hodnotou referenční. Vypočtená hodnota by neměla referenční hodnotu převyšovat o více než 0,5 %. U předávacích zkoušek je referenční hodnota uvedena výrobcem, u provozních zkoušek je poté referenční hodnota, hodnotou určenou při předávacích zkouškách. (1)

Pokud vypočtené hodnoty nevyhovují, je možné, že je scintilační krystal prasklý nebo může být poškozené jeho zapouzdření a krystal tak může žloutnout. Při zhoršení více než o 15 % je nutné scintilátor vyměnit. (1)

### 3.6 Citlivost

Citlivost je testována při předávacím testování a následně vždy jednou za rok nebo po každé opravě. Je určena citlivost aparatury pro dané nastavení. (4)

Pro měření citlivosti je použit vzorek radionuklidu s přesně známou aktivitou. Jeho aktivita by měla mít hodnoty jednotek až desítek kBq. Při zkoušce se změří četnost impulzů vzorku, ale je změřena také aktivita pozadí. Naměřený počet impulzů by měl být minimálně 10 000. Následně je vypočítána citlivost aparatury z hodnot četnosti impulzů vzorku  $I$ , četnosti impulzů pozadí  $I_b$  a aktivity vzorku  $A$ . Pomocí následujícího vztahu. (4)

$$C = \frac{I - I_b}{A} [\text{imp} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}]$$

Vypočtená hodnota citlivosti by neměla převyšovat hodnotu určenou při předávacích zkouškách o více než 5 %. Při překročení této hodnoty by se měla zkontrolovat geometrie měření a nastavení aparatury, popřípadě test opakovat či kontaktovat servis. (1)

### 3.7 Linearita energetické odezvy

Testování linearity energetické odezvy je prováděno při předávacích zkouškách a pak vždy jednou za rok. Určuje se závislost polohy fotopíku na energii záření gama, které dopadá na detektor. (1)

K testu jsou použity alespoň tři radionuklidy produkující gama záření a jsou změřeny jejich scintilační spektra. Energetické vrcholy scintilačního spektra jsou vyneseny do grafu a poté jsou proloženy přímkou. Pro vyhodnocení testu se hodnota energie záření gama  $E$ , poloha fotopíku  $E_p$  a horní hranice energetického rozsahu analyzátoru  $E_m$  dosadí do vztahu. (1)

$$K = 100 \cdot \frac{(E - E_p)}{E_m} [\%]$$

Vypočtená hodnota by neměla převyšovat 3 %. Při nevyhovění by se měla provést opětovná energetická kalibrace, popřípadě kontaktovat servis. (1)

### 3.8 Linearita odezvy na aktivitu

Linearita odezvy je testována při předávacím testování a následně jednou za rok. Stanovuje se odchylka od lineární odezvy na aktivitu za daných podmínek. Pomocí této odchylky lze následně zjistit mrtvou dobu aparatury. (1)

Pro měření je použit zdroj (vzorek radionuklidu, nejčastěji  $^{99m}\text{Tc}$ ) s četností zdroje 10 000 - 11 000  $\text{imp} \cdot \text{s}^{-1}$ . Hodnoty četnosti zdroje se měří v intervalech po 30 minutách, a to vždy tak, že jsou změřeny tři hodnoty, z kterých je následně vypočítána střední hodnota. Měření je zakončeno ve chvíli, kdy se hodnota četnosti zdroje sníží na hodnotu cca 1500  $\text{imp} \cdot \text{s}^{-1}$ , a to z toho důvodu, že při této četnosti se již bezpečně neuplatňuje mrtvá doba. Současně se zaznamenává čas, po který probíhá měření. Na závěr je posledních pět změřených hodnot vyneseno do grafu a proloženo přímkou. Z výchozího bodu, kterým je poslední bod přímky, je vypočtena vstupní četnost impulzů neboli četnost, která není ovlivněna mrtvou dobou přístroje. (1)

Odchylka mezi vstupní a změřenou četností by neměla být větší než odchylka neovlivněná mrtvou dobou přístroje. Odchylka mrtvé doby přístroje by měla být menší než 20% hodnoty dané výrobcem. (1)

### 3.8.1 Mrtvá doba přístroje

Během tohoto testu je zjištěna i mrtvá doba přístroje. Jedná se o dobu od předchozího impulzu, během které není další impulz registrován. Mrtvá doba přístroje  $t_d$  je vypočtena z hodnot změřené četnosti  $I_0$  a teoretické četnosti  $I_t$ , která je většinou výsledkem výpočtu z přeměnového zákona. (1)

$$t_d = \frac{(I_t - I_0)}{I_t \cdot I_0} [\text{s}]$$

## 3.9 Geometrická účinnost

Testování geometrické rozlišovací schopnosti je prováděno při předávacím testování, ale také vždy, pokud by mohla být změněna jakýmkoli zásahem. (4)

Připraví se referenční stříkačka, do které se nabere určený objem roztoku radionuklidu o objemové aktivitě přibližně  $10 \text{ kBq} \cdot \text{ml}^{-1}$ . Poté se změří první srovnávací četnost impulzů. Následně se roztok radionuklidu ve stříkačce postupně ředí vodou a zároveň po každém zředění je znovu změřena četnost impulzů. Četnost se stejným způsobem měří i u jiných typů stříkaček s jiným objemem. (4)

Hodnoty naměřené četnosti impulzů ve stříkačkách  $I_i$  se srovnají s hodnotami naměřenými v úvodní referenční stříkačce  $I_{ref}$  a tím jsou získány opravné faktory  $k_i$  pro jednotlivé geometrie měření. (4)

$$k_i = \frac{I_{ref}}{I_i}$$

Opravný faktor by neměl přesahovat 5 %. Pokud by byl vyšší, je nutné ho používat pro opravu četností vzorků, které jsou měřeny. (4)

## 4 KONTROLA PLANÁRNÍCH ZOBRAZOVACÍCH SYSTÉMŮ

Jednoduché zkoušky u planárních zobrazovacích systémů zahrnují kontrolu: planární integrální homogenity a vizuální test prostorové rozlišovací schopnosti. (1)

Do náročných testů se řadí: kvantitativní test prostorové rozlišovací schopnosti, kontrola citlivosti detektoru, kontrola energetické rozlišovací schopnosti, kontrola linearity, kontrola víceokénkové prostorové registrace a kontrola měřítka zobrazení. (1)

### 4.1 Planární integrální homogenita

Určuje odchylku od ideálně homogenního obrazu. Jde o odezvu scintilační kamery na homogenní ozáření detektoru. Integrální homogenita představuje procentuálně vyjádřený rozdíl mezi dvěma pixely s absolutní maximální hodnotou a absolutní minimální hodnotou v zorném poli. (5)

#### 4.1.1 Denní test

Prováděn při předávacím testování a následně každý den nebo dle pokynů výrobce přístroje. Test může být proveden s použitím plošného zdroje pro měření homogenity vnější nebo za použití bodového zdroje pro měření vnitřní homogenity. (1)

Při použití plošného zdroje je použit kruhový nebo obdélníkový zdroj  $^{57}\text{Co}$ , který pokrývá celou plochu detektoru. Zdroj se dá do vzdálenosti 10 cm od detektoru s kolimátorem. Následuje akvizice, kde se akumulují 2 až 4 miliony impulzů. Z výsledného obrazu je vybrán pixel s nejvyšším počtem impulzů  $N_{max}$  a pixel nejnižším počtem impulzů  $N_{min}$  ze zorného pole. Poté je pomocí vzorce vypočtena integrální homogenita. (1)

$$H = 100 \cdot \left( \frac{N_{max} - N_{min}}{N_{max} + N_{min}} \right) [\%]$$

Při použití bodového zdroje se použije 1 ml roztoku  $^{99m}\text{Tc}$ , který se umístí do vzdálenosti přibližně 3 m od detektoru, který není opatřen kolimátorem. (1)

Homogenita je zkontrolována vizuálně, kvůli odhalení artefaktů. Vypočtená planární integrální homogenita ze vztahu by neměla být vyšší než 10 % při pixelu o velikosti 4–5 mm a u pixelů velikosti 8–10 mm neměla překračovat 5 %. (4)



Důležité je také určování diferenciální homogenity, která popisuje lokální změny citlivosti v malých částech zorného pole. Při výpočtu diferenciální homogenity se procentuálně vyjádří rozdíl ve dvou sousedních pixelech obrazu. (3)

#### **4.1.2 Půlroční test**

Test je prováděn při předávací zkoušce a poté každý půlrok. Test je uskutečněn za pomoci plošného zdroje  $^{57}\text{Co}$ , jako u denního testu, avšak při akvizici tohoto testu musí být akumulováno více impulzů. (1)

Změřená hodnota při provozní zkoušce se nesmí odchylovat od hodnoty určené při předávací zkoušce o více než 0,5 %. Hodnota určená při předávacím testování je porovnáována s hodnotou určenou výrobcem. (1)

### **4.2 Prostorová rozlišovací schopnost**

Určuje schopnost zaregistrovat a odlišit od sebe detaily v obraze například malé struktury. Je určena vzdáleností detektoru od zdroje, energií elektronů dopadajících na detektor, typem kolimátoru a dalších. Rozlišovací schopnost se určuje jak vizuálně, tak kvantitativně. (4)

#### **4.2.1 Vizuální test**

Vizuální test rozlišovací schopnosti je prováděn při předávacím testování a následně vždy jednou za měsíc. Při testu je vizuálně posouzena viditelnost čárových struktur bar fantomu. Tento test má hlavně informativní charakter. (4)

Test je prováděn pomocí bar-fantomu. Fantom je rozdělen na čtyři části, v každé z těchto částí jsou umístěny olovené lamely, mezi kterými jsou příslušné mezery. V každé části je hustota lamel jiná. (4)

Bar-fantom se přiloží na detektor a poté se přímo na fantom umístí plošný zdroj. Po umístění zdroje je provedena akvizice s minimálním počtem impulzů 4 miliony. Výsledný obraz má poté dle přiloženého fantomu čtyři části s různou hustotou struktur. (1)

Z obrazu je určena nejmenší rozlišitelná oblast, ve které jsou od sebe čáry ještě odlišitelné. Získaný obraz se porovná s obrazem získaným při předávacím testování. (4)

Použitím tohoto testu u vysokoenergetických kolimátorů, může dojít k efektu moaré, proto se provádí především u kolimátorů nízkoenergetických. Při moaré efektu není možno obraz přesně hodnotit, protože výsledný obraz není realistický. (1)

#### 4.2.2 Kvantitativní test

Při kvantitativním testu se prostorová rozlišovací schopnost určuje číselným výsledkem, který se poté porovnává s hodnotami určenými výrobcem. Test je prováděn při předávacím testování a poté vždy jednou za rok. (4)

Roztok radionuklidu o aktivitě  $700 \text{ MBq} \cdot \text{ml}^{-1}$  se dá do úzké kapiláry s vnitřním průměrem maximálně 1 mm. Tato kapilára se vloží do držáku a umístí do vzdálenosti 10 cm od detektoru nebo se položí přímo na detektor. Následně je vytvořen obraz z minimálně 10 000 impulzů. Ze snímku se vypočítá pološířka odezvy k čárovému zdroji záření (FWHM). Popřípadě se může FWHM určit odhadem. (1)

Výsledná hodnota získaná při testu by neměla převyšovat hodnotu určenou výrobcem o více než 10 %. Tato hodnota by též neměla převyšovat hodnotu z předávacího testování o více než 5 %. Při provedení testu za nepřesných podmínek, odlišných podmínek, než při předávacím testování může dojít k rozdílům mezi výsledky. (4)

#### 4.3 Citlivost detektoru

Citlivost detektoru je testována při předávacích zkouškách a následně vždy jednou za rok. Citlivost je určena počtem impulzů nasnímaných z plošného zdroje záření za určitý čas. Při testu jde o porovnání počtu impulzů nasnímaných v průběhu testu s hodnotami, které pro tento test udává výrobce nebo s počtem impulzů nasnímaných při předchozím testování. Citlivost se liší pro jednotlivé typy kolimátorů a jednotlivé radionuklidy použité při zkoušce. (4)

Test je proveden tak, že je do Petriho misky umístěna tenká vrstva radionuklidu (pod 3 mm). Tímto radionuklidem bývá nejčastěji  $^{99m}\text{Tc}$ , které má předem přesně známou aktivitu desítek MBq. Poté se Petriho miska umístí do středu zorného pole detektoru do vzdálenosti 10 cm. Je proveden sběr dat, následně se odebere Petriho miska a je změřena aktivita pozadí. (1)

Z naměřených hodnot počtu impulzů  $I$  při přítomnosti roztoku radionuklidu, počtu impulzů pozadí  $I_p$ , doby snímání  $t$  a aktivity radionuklidu  $A$  se vypočte hodnota citlivosti detektoru  $C$ . (4)

$$C = \frac{I - I_p}{t \cdot A}$$

Vypočtená hodnota by při předávacích zkouškách neměla převyšovat hodnotu udanou výrobcem o více než 10 %. Při následných provozních zkouškách by vypočtené hodnoty neměly převyšovat hodnotu získanou při předávací zkoušce o více než 5 %. Pro správné výsledky, které se nebudou příliš lišit, je nutné provádět zkoušky za stále stejných podmínek. (4)

#### 4.4 Energetická rozlišovací schopnost

Test je proveden při předávací zkoušce a poté jednou za rok. Zkoumá se energetické spektrum a je stanoveno FWHM píku úplné absorpce. Pro energetickou rozlišovací schopnost je nutno využít široké energetické okno, které zvyšuje citlivost, ale zhoršuje polohovou rozlišovací schopnost, tím že je větší podíl rozptýlených fotonů. Je tedy nutno nastavit energetické okno tak, aby tyto dva parametry měly oba dostatečnou kvalitu. Energetická rozlišovací schopnost udává odlišení různých energií přijímaných fotonů. Určuje schopnost detektoru odlišit od sebe rozptýlené a nerozptýlené záření. (4)

Roztok radionuklidu, kterým bývá  $^{99m}\text{Tc}$ , je umístěn do vzdálenosti 10 cm od detektoru a je provedeno měření. Je vykreslena křivka energetického spektra, která je následně převedena i do číselné podoby. Ze vzniklé křivky je určen parametr, pomocí kterého je vypočítáno FWHM. Výsledné hodnoty jsou porovnávány s hodnotami udávanými výrobcem a s hodnotami získanými při předchozím testování. (1)

#### 4.5 Linearita odezvy na aktivitu

Linearita odezvy přístroje je testována při předávacím testování a poté ročně. Čím je větší četnost impulzů, tím je po překročení určité hranice menší časová rozlišovací schopnost, jelikož impulzy přicházejí příliš rychle za sebou a přístroj je nedokáže rozlišit. Ze zjištěné linearity odezvy, lze také určit mrtvá doba přístroje. Při testu se stanovuje mez, při které je četnost impulzů taková, že je odezva přístroje na aktivitu ještě lineární. (4)

Test je prováděn tak, že je v intervalech přibližně každé dvě hodiny je po dobu 24–36 hodin měřen vzorek radionuklidu. Tento používaný vzorek by měl mít aktivitu vyšší, než je maximální hodnota udávaná výrobcem přístroje. Dochází tak drobnému přehlcení přístroje. Změřené hodnoty jsou zaneseny do grafu a zjistí se, kde se křivka začne odchýlovat od lineárního průběhu. Tak se určí mez četnosti impulzů, pro lineární odezvu přístroje. Mez maximální hodnoty by neměla překračovat hodnotu pro mez určenou výrobcem. (4)

## 4.6 Více-okénková prostorová registrace

Test je prováděn při předávacím testování a dále v ročním intervalu. Jde o rozlišení polohy odezvy detektoru na fotony s různou energií. Je využívána při vyšetření dvěma radionuklidy zároveň nebo také při vyšetření s radionuklidy s větším množstvím fotopíků. Test je prováděn jak vizuálně, tak i číselně (kvantitativně). (1)

Při vizuálním testu je použit fantom, ve kterém je roztok s daným zkoumaným radionuklidem. Fantom je přiložen na bar-fantom, který se nachází na detektoru s kolimátorem. Energetické okno se nastaví na střed fotopíku a provede se akvizice obrazu na každé energetické okno. Nakonec se všechny obrazy složí do jednoho a konečný obraz se vizuálně zhodnotí. Hodnotí se polohové rozlišení a míra šumu. (4)

Pro kvantitativní hodnocení se využívá zdroj bodový. Zdroj je přiložen na detektor s kolimátorem. Energetická okna se nastaví stejně jako u vizuálního testu na střed fotopíku a provede se akvizice pro jednotlivá energetická okna. Pro vyhodnocení se zjistí vzdálenost středů obrazu. Zjištěná hodnota by neměla přesahovat o více než 10 % hodnotu udanou výrobcem (neměla by tedy nejčastěji přesahovat hodnotu 2 mm). (1)

## 4.7 Měřítko zobrazení

Měřítko zobrazení je kontrolováno při předávací zkoušce a poté jednou za rok. Jedná se o velikost pixelu v mm, pomocí čehož se zjišťují vzdálenosti při zobrazování. (4)

Jsou použity dvě kapiláry s malým vnitřním průměrem, které jsou naplněny roztokem radionuklidu (nejčastěji  $^{99m}Tc$ ) s aktivitou 20 MBq. Kapiláry jsou umístěny na detektoru s kolimátorem, tak aby byli k sobě rovnoběžné a vzdálené od sebe 10 cm. Po správném umístění kapilár je provedena akvizice obrazu. (1)

V jednom řádku matice jsou určeny polohy vrcholů (největší počet impulzů v pixelu). Pro výsledek testu je vzdálenost kapilár podělena vzdáleností vrcholů a je určena velikost pixelu. Vypočtená hodnota by se neměla odlišovat o více než 5 % od výrobcem dané hodnoty. (4)

## 5 KONTROLA TOMOGRAFICKÝCH ZOBRAZOVACÍCH SYSTÉMŮ

Kontrola tomografických zobrazovacích systémů se sestává nejen z testů pro tomografické zobrazovací systémy, ale její součástí jsou i všechny testy pro planární systémy. Nejdůležitějšími testy pro tomografické systémy je hlavně test planární homogenity a test centra rotace. Zbylé testy mají spíše informativní charakter a nejsou prováděny tak často. (4)

### 5.1 Centrum rotace

Kontrola středu rotace je prováděna každý měsíc. Jde o zjišťování, zda střed tomografický, rekonstruovaný je totožný s fyzickým středem rotace detektoru a popřípadě je určena jejich odchylka. (1)

Bodový zdroj o aktivitě 20–50 MBq, kterým bývá  $^{99m}\text{Tc}$ , se vloží do držáku. Držák se nastaví do zorného pole tak, aby zdroj byl vzdálen 10 cm od osy rotace a ve vzdálenosti 2 cm od středu detektoru. Proveďte se akvizice obrazu v rozsahu  $360^\circ$ , tak aby v každé projekci bylo alespoň 10 000 impulzů. Je zhotoveno přibližně 120 projekcí. V každé projekci je určena poloha zdroje ve směru osy x a osy y. Tyto body jsou následně proloženy funkcí sinus (tak by se měl detektor pohybovat v ideálním případě) a také jsou proloženy funkcí konstantní. Výsledné hodnoty se znázorní do grafu a je vyhodnocen test. Zjištěná hodnota odchylky by neměla být vyšší než 0,5 pixelu. Pokud jsou výsledky nevyhovující, mohou být špatně nasměrovány detektory, jejichž osy musí pro správné fungování směřovat přímo do středu rotace. (4)

V současné době je tento test prováděn pomocí počítačového programu a poté automaticky vyhodnocen. (1)

### 5.2 Prostorová rozlišovací schopnost

Zkouška je prováděna při předávacím testování a poté jednou za rok. Testuje se, jak dobře jsou rozpoznatelné i malé léze a jaká je tedy kvalita hodnocení obrazu. Prostorové rozlišení se odvíjí nejvíce od vzdálenosti od detektoru, čím je větší vzdálenost, tím je prostorové rozlišení horší. Pro průběh testu mohou být použity dvě úzké kapiláry nebo tzv. NEMA fantom, který je složen ze tří tenkých kapilár. (4)

Při testu jsou v obou případech kapiláry naplněny roztokem radionuklidu. Při použití dvou kapilár musí být kapiláry umístěny tak, aby byly rovnoběžné s osou rotace a vzdálené od sebe 7,5 cm. Zároveň musí být obě kapiláry vzájemně rovnoběžné. V případě použití fantomu je fantom uložen do zorného pole tak, že jeho osa je shodná s osou rotace. Po tom, co jsou pomůcky na svém místě, je zvolen poloměr rotace a je provedena akvizice obrazu. Jsou zrekonstruovány transaxiální řezy, z nichž je určen řádek matice, který prochází středem kapilár. Z toho je následně určena hodnota FWHM. (4)

Tyto hodnoty šířky profilu v polovině maxima (FWHM) se nesmí od hodnot udaných výrobcem odlišovat o 10 % a více. (1)

### 5.3 Tomografická homogenita

Homogenita u tomografických systémů je testována při předávacím testování a pak ročně. Testuje se to, jakým způsobem systém reaguje na homogenní ozáření. (1)

Roztok radionuklidu o aktivitě přibližně 700 MBq, se kterým se test realizuje, je vložen do cylindrického vodního fantomu. Do zorného pole detektoru je vložen tento fantom tak, aby jeho osa byla totožná s osou rotace. Po umístění fantomu proběhne akvizice s minimálním počtem impulzů 500 000. Zvolí se řez, z jehož středu se vybere oblast, která nezasahuje do okrajových částí, ale zároveň je co největší. V této oblasti se vyhledá pixel s nejmenším počtem impulzů  $I_{min}$  a pixel s největším počtem impulzů  $I_{max}$ . Pomocí těchto hodnot se vypočte tomografická homogenita přístroje  $H$ , která vyjde v procentech. (4)

$$H = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Vypočtená homogenita by pro vyhovující výsledek měla být menší než 20 %. Vysoké hodnoty mohou být způsobeny filtrem. Dalším důvodem pro nevyhovující výsledky může být nestabilní centrum rotace, nevhodné rekonstrukce nebo nehomogenity ve fantomu. (1)

### 5.4 Komplexní kontrola kvality obrazu

Komplexní kontrola se provádí při předávacím testování a poté jednou za rok. K uskutečnění zkoušky je třeba speciální tzv. Jaszczakův fantom, který má dvě části. Jedna část je složena z tyčinek o různých průměrech uspořádaných do kruhu. Tyčinky jsou používány k určení prostorové rozlišovací schopnosti. Druhá část fantomu je složena z koulí s různým průměrem, tato část je používána k vyhodnocení kontrastu. Pomocí fantomu lze

posuzovat i homogenitu. Při komplexní kontrole kvality obrazu je tedy hodnocena homogenita obrazu a prostorová rozlišovací schopnost, pro kontrolu kontrastu existuje samostatný test se stejným fantomem. (4)

Do fantomu je naplněn roztok radionuklidu s aktivitou přibližně 700 MBq. Fantom je vložen do zorného pole tak, aby jeho osa byla totožná s osou rotace. Poté se provede akvizice za vhodných podmínek. Zhotoví se 120 projekcí v úhlu 360°, jedna akvizice každé 3°. Pro nejlepší výsledek je vhodné, aby byl co nejmenší poloměr rotace a aby počet impulzů nebyl menší než 500 000. Následně je obraz zrekonstruován a jsou vytvořeny transaxiální řezy. (1)

Ze zrekonstruovaných obrazů je vizuálně vyhodnocena komplexní kvalita obrazu. Pro vyhovující výsledky by na obrazu mělo být alespoň pět rozpoznatelných koulí z šesti a v části s tyčinkami by mělo být viditelných alespoň pět oblastí z šesti. V obraze by se také neměli nacházet žádné artefakty. (1)

## 5.5 Tomografický kontrast

Tomografický kontrast je testován při předávacím testování a poté ročně. Při tomto testu jsou sledovány oblasti, které mají vyšší nebo nižší aktivitu, než jaká je aktivita pozadí. Je velice důležité provádět tento test vždy za stejných podmínek, jako byly prováděny předchozí testy. (1)

Používaný fantom a akvizice obrazu při tomto testu je shodná s testem komplexní kvality obrazu. Je tedy možné použít získané údaje z kontroly komplexní kvality obrazu i k tomuto testu. Po akvizici obrazu jsou zrekonstruovány transaxiální řezy. Z fantomu je postupně vybrána oblast ze všech koulí a je vypočten průměrný počet impulzů na jeden pixel  $\overline{N}_s$ . Tato vypočtená hodnota je brána jako počet impulzů na pixel nad lézí. Poté se vybere oblast mimo koule a opět je vypočten průměrný počet impulzů na jeden pixel  $\overline{N}_b$ . Tato hodnota je brána jako hodnota mimo lézi, tedy hodnota pozadí. A ze vzorce je vypočten kontrast. (1)

$$C_{im} = \frac{(|\overline{N}_s - \overline{N}_b|)}{\overline{N}_b}$$

Hodnota, se kterou se tato konečná vypočtená hodnota kontrastu porovnává, je hodnota určená při zkoušce předávací. Hodnota zjištěná při následujících testech nesmí pro přijatelný výsledek být větší o více než 10 %. (1)

## 5.6 Objemová citlivost

Tato zkouška je konána při předávacím testování a následně jednou ročně. Určuje četnost impulzů ve zdroji vztažené k objemové aktivitě a tloušťce zdroje. (1)

Test probíhá tak, že je nejprve nutné vypočítat vnitřní objem fantomu. Následně je do válcového fantomu umístěn roztok radionuklidu o objemové aktivitě, která musí být určena velice přesně. Po naplnění fantomu je fantom umístěn tak, aby jeho osa byla totožná s osou rotace. Proveďte se akvizice obrazu a jsou vytvořeny rekonstrukce obrazu. Obraz zdroje se rozdělí na vrstvy o tloušťce 1 cm. Objemová citlivost se vypočte ze vzorce, kde  $I$  je četnost impulzů,  $n$  je počet vrstev a  $a_v$  je objemová aktivita radionuklidu ve fantomu. (1)

$$C = \frac{I}{a_v \cdot n}$$

Získaná hodnota citlivosti by neměla převyšovat o více než 10 % hodnotu určenou při předávacích zkouškách. (1)

Jiné zdroje uvádí, že je možné zjistit objemovou citlivost i jiným způsobem. A to tak, že v obraze získaném rekonstrukcí je určena oblast, ze které je vypočtena průměrná hodnota impulzů na voxel  $I$ . Je také měřen čas akvizice  $t$ . Objemová aktivita je vypočtena jako podíl aplikované aktivity  $A$  a vnitřního objemu fantomu  $V$ . Citlivost je určena jako podíl průměrného počtu impulzů za sekundu a objemové aktivity ve fantomu  $a_v$ . (4)

$$C = \frac{I}{\bar{t}} = \frac{I}{a_v \cdot t}$$

Místo počtu vrstev, jako je tomu v prvním případě, je použit čas akvizice.



## 6 SPECT

SPECT je jednou ze základních metod tomografického zobrazení v nukleární medicíně. Jde o jednofotonovou emisní výpočetní tomografii. Tento přístroj umožňuje při vyšetření získání trojrozměrného obrazu zkoumané oblasti. SPECT systém ale může pracovat i v planárním režimu. Základem přístroje jsou zpravidla dva otočné detektory, existují také speciální vícedetektorové přístroje, které ale nejsou tolik používány. Počet detektorů ovlivňuje pouze dobu snímání, čím více detektorů, tím je kratší doba akvizice. Detektory mají konstrukci totožnou s detektorem planární gamakamery. (9)

Při vyšetření krouží detektory kolem pacienta, který leží nehybně na posuvném stole. Detektory se při sbírání dat mohou pohybovat buď plynule, nebo po malých úhlech, což je v současné době častější používaný způsob. Principem je pořízení obvykle 120 planárních projekcí pod různými úhly, z nichž se pomocí rekonstrukčních algoritmů vytvoří trojrozměrné obrazy, tedy transaxiální řezy. Rekonstrukčními algoritmy jsou v současnosti filtrovaná zpětná projekce a iterativní rekonstrukce. (10)

Výhodou SPECT oproti planárnímu zobrazení je nejen trojrozměrná informace, ale také mnohem vyšší kontrast vůči okolí, a tak se dají lépe odhalit léze, které by na planárním snímku nemusely být vůbec detekovatelné. Při SPECT také nevzniká šum překrýváním vrstev jako u planárního zobrazení. (5)

Nevýhodnou SPECT v porovnání s planárním zobrazováním je horší prostorová rozlišovací schopnost a také mírně zhoršený šum z důvodu jeho vzniku při rekonstrukcích obrazu. (5)

### 6.1 Konstrukce gamakamery

Detektor gamakamery slouží k získání planárního obrazu a skládá se z kolimátoru, scintilačního krystalu a souboru fotonásobičů. (5)

Kolimátorem je deska tlustá několik cm pokrývající celé pole detektoru, která je nejčastěji zhotovena z olova. V této desce je spousta malých otvorů. Díky tomu funguje kolimátor jako filtr, tím že propouští pouze fotony, které letí ve směru kolmém na detektor. Také je důležitý pro vytvoření obrazu. Kdybychom ho nepoužili, nebylo by možné vidět rozložení radiofarmaka, ale získali bychom pouze rozmazanou plochu. Kolimátorů existuje několik typů podle použité energie fotonů, rozlišovací schopnosti a citlivosti. (9)

Scintilační krystal slouží k přeměně fotonů gama na fotony viditelného světla a je vyroben z jodidu sodného aktivovaného thalliem NaI (Tl). Jedná se o desku obdélníkového tvaru s tloušťkou přibližně 1 cm, která pokrývá celé zorné pole detektoru. Scintilační krystal musí být kryt, tak aby nedošlo k jeho mechanickému poškození a nebyl vystaven vlivu vlhka a světla. Krystal je také citlivý na velké výkyvy teplot, při kterých by mohlo dojít k jeho poškození. (9)

Fotonásobiče se nacházejí za krystalem, ke kterému jsou opticky přilepeny světlovodivou hmotou pro lepší přenos světelného signálu ze scintilačního krystalu. Fotonásobiče slouží k převodu viditelného světla ze záblesku na elektrický signál, který zároveň zesílí, aby bylo možné ho následně lépe zpracovat. Fotonásobiče jsou také citlivé na změny teplot, proto jsou gamakamery trvale klimatizované. (5)

## 6.2 Rekonstrukční algoritmy

Při filtrované zpětné projekci jsou nejprve vyfiltrovány projekce pomocí vhodného digitálního filtru a poté je provedena rekonstrukce. Tento algoritmus je snazší a rychlejší, limituje však kvalitu obrazu. Při filtrované zpětné projekci jde hlavně o potlačení hvězdicového artefaktu a zvýšení kontrastu obrazu. Hvězdicový artefakt se ovšem může projevit na okrajích obrazu, protože algoritmus jej potlačuje pouze v nejbližším okolí léze. (10)

Iterativní rekonstrukce je dnes v nukleární medicíně více používaným algoritmem pro rekonstrukci, ale vyžaduje vyšší výkon počítačů. Jde o hledání nejvěrnějšího obrazu pomocí matematické techniky. Při iterativní rekonstrukci nevznikají hvězdicové artefakty a také je menší šum v obraze, a tak poskytuje lepší výsledné obrazy než filtrovaná zpětná projekce. (10)

## 6.3 SPECT/CT

Pomocí hybridního přístroje je možné pořídit současně nebo v krátkém časovém intervalu za sebou anatomický i funkční záznam vyšetřované oblasti. Umožňuje kombinovat tyto snímky do jednoho výsledného obrazu a poskytnout tak lepší diagnostickou informaci. Obraz CT má velkou prostorovou rozlišovací schopnost a jsou na něm dobře rozlišitelné anatomické detaily. Zatímco snímek získaný SPECT zobrazuje funkci vyšetřovaného orgánu, ale jeho prostorová rozlišovací schopnost je nízká. Kombinací je možné určit přesnou polohu zkoumané léze. (3)

U SPECT/CT může být zobrazovací systém pevně spojen s gantry SPECT nebo může stát samostatně. Pokud je zobrazovací systém spojen s gantry, má omezenou rychlost pohybu a u takového přístroje mohou být používány pouze nízkodávkové režimy, pomocí nichž jsou získány jen orientační obrazy tkání s nízkým rozlišením. Pokud může zobrazovací systém pracovat s rychlou rotací, tak se mohou používat jak nízkodávkové režimy, tak i režimy při kterých se zobrazují přesné anatomické poměry, avšak zároveň je vyšší radi-  
ační zátěž pacienta. Pro vyšetření SPECT/CT se však častěji využívá nízkodávkový režim.

(5)

# PRAKTICKÁ ČÁST

## 7 CÍL A VÝZKUMNÉ OTÁZKY

### 7.1 Cíl

Hlavním cílem praktické části práce je provést a následně popsat denní, týdenní a měsíční testy prováděné v praxi na SPECT/CT přístroji. Následně porovnat hodnoty změřené při testech s hodnotami tolerančními. Nalézt případné nedostatky a chyby při testech.

### 7.2 Výzkumné otázky

1. Jak se liší provedené testy od předepsaných doporučení vydaných v angličtině Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA)?
2. Jaké jsou nejčastější chyby, ke kterým může dojít pro provádění testů?
3. Jak se vyhnout případným chybám, které mohou nastat?

## 8 METODIKA PRÁCE

V praktické části práce jsou zkoumány testy, které jsou součástí systému zabezpečení jakosti v nukleární medicíně. Jsou popsány a analyzovány testy na SPECT/CT, na přístroji Symbia Intevo 2, který se nachází v Klatovské nemocnici a.s., na Oddělení nukleární medicíny. Jedná se pouze o jednoduché testy, které může zajišťovat radiologický fyzik.

Testy se uskutečňovaly 17. února 2023, provedly jsme je spolu s Ing. Milanem Kozákem, který je radiologickým fyzikem na tomto oddělení. Výsledky testů byly vyhodnocovány automaticky, ale pro kontrolu jsme výsledky porovnávali s hodnotami tolerančními, které jsou pro jednotlivé testy uvedeny v doprovodné dokumentaci dodané spolu s přístrojem.

Provedené testy jsem následně porovnávala s vydaným doporučením od Mezinárodní agentury pro atomovou energii, která vydala doporučení pro zkoušky provozní stálosti na SPECT a SPECT/CT přístrojích v roce 2019. Z doporučení jsem nejdříve musela vybrat jednoduché testy, které jsme zkoumali na přístroji Symbia Intevo 2. Vybrané testy přeložit a porovnat s popsányi provedenými testy.

Poté jsem pomocí rozhovoru s Ing. Milanem Kozákem zjistila, jaké chyby mohou nejčastěji při testech nastat, jak k nim dojde, jak se projeví ve výsledcích testu, ale hlavně jak těmto chybám předcházet, aby nebylo nutné testy opakovat nebo nedošlo zbytečně k pozastavení provozu přístroje.

## 9 DENNÍ TESTY NA PŘÍSTROJI SYMBIA INTEVO 2

Přístroj Symbia Intevo 2, je přístroj umožňující kombinaci SPECT a CT vyšetření. Jedná se o přístroj od společnosti Siemens. Touto společností je tedy přesně určeno, jakým způsobem, jak často a s jakými pomůckami testy provádět. Je jimi dodána doprovodná dokumentace, ve které jsou udány toleranční limity jednotlivých testů. Také jsou jimi dodány všechny potřebné fantomy a držáky pro konání testů. Náročné testy na přístroji pak zajišťuje odborník z dané firmy nebo jiný specializovaný odborník. Jednoduchými testy jsou pověřeni zaměstnanci oddělení nukleární medicíny.

Každý den před spuštěním provozu je nutné na přístroji provést denní kontrolu kvality pro zajištění jeho správného fungování. Denními zkouškami je pověřena obsluha přístroje, tedy radiologičtí asistenti nebo jiní způsobilí pracovníci pracoviště. Při denních testech je zkoumána jak CT část, tak i část SPECT.

### 9.1 Část CT

Součástí denního testu CT je takzvaný CheckUp test neboli zahřátí rentgenky s kontrolou homogenity vzduchu. Jeho další součástí je test kvality a stability, který zahrnuje testování homogenity a šumu v získaném obraze. Výsledky vybraných testů a jejich toleranční hodnoty jsou uvedeny spolu s přesnými parametry testů v přílohách.

#### 9.1.1 CheckUp test

Zahřátí rentgenky se dělá proto, aby byla rentgenka připravena k použití. A to tím, že je zahřáta na provozní teplotu, tak že se sjednotí teplota na elektrodách. Tím se zajistí, že nebude tak snadno docházet k opotřebenosti rentgenky. Test je proveden tak, že je u přístroje nastaven stůl do CT polohy a poté se spustí program, kdy se na rentgence postupně zvyšuje teplota, až do teploty 712 K. Zahřívání rentgenky je rychlým testem a trvá v řádu jednotky minut. Součástí tohoto testu je také autokalibrace přístroje na vzduchové prostředí.

Test se dělá vždy ráno před spuštěním provozu, pokud se tedy v daný den bude CT používat. Pokud se CT nebude využívat, není nutné ráno před spuštěním test vykonávat. Před použitím CT by se měl test provést vždy, pokud rentgenka nebyla použita více než 4 hodiny a tím pádem již není zahřáta na dostatečnou teplotu. V tomto případě by mělo být zahřátí rentgenky uskutečněno i během dne, kvůli lepšímu a bezpečnějšímu použití CT

přístroje. Nemůže tak dojít k poškození rentgenky, tím, že by již neměla potřebnou dostatečnou teplotu.

### 9.1.2 Kontrola homogenity

K testu je použit speciální fantom určený pro testování CT, tento fantom je dodán výrobcem a je určen přímo pro daný přístroj. Fantom je rozdělen na tři části s různou funkcionalitou – s různými prvky, podle toho k jakému testu je daná část fantomu určena.

Kontrola homogenity je realizována s vodním fantomem, který je součástí dodaného fantomu. Fantom se pomocí držáku připevní k posuvnému stolu a zaveze se do gantry CT, kde se posuny stolu v jednotlivých směrech nastaví do potřebné polohy. Následně se spustí CT zaměřovací lasery, kterými se ověří správná poloha fantomu. Na fantomu jsou výrobcem zakreslené drážky, na které musí být lasery přesně zaměřeny. Když jsou lasery správně zaměřeny na určená místa, spustí se program, při kterém je snímán fantom. Ze získaných snímků fantomu se vyhodnotí homogenita obrazu.

*Obrázek 1: Fantom pro CT testy*



*Zdroj: vlastní*

Zkouška je uskutečňována ve dvou režimech s různými skenovacími parametry. Těmito režimy jsou režim pro hlavu a režim pro tělo. Hodnoty zkoumané homogenity jsou vyhodnoceny na základě měření střední hodnoty CT hodnot v pěti oblastech zájmu. Hodnoty jsou měřeny v Hounsfieldových jednotkách, které vyjadřují míru absorpce rentgenového záření. Oblasti zájmu neboli ROI jsou rozmístěny v obrazu válcového vodního fantomu, který má průměr 20 cm. ROI jsou umístěny tak, že jedna je ve středu fantomu a zby-

lé čtyři se nachází v blízkosti jeho okrajů v polohách 3, 6, 9 a 12 hodin. Hodnota HU vody je odečtena z prostřední oblasti zájmu. Výsledná homogenita je určena jako rozdíl mezi prostřední ROI a vnějšími ROI.

Při testu homogenity jsou uskutečněny 4 dílčí testy, při kterých se snímá fantom a ze kterých se vyhodnocuje výsledek testu. Všechny tyto testy mají tzv. běžné parametry stejné. Tyto parametry jsou uvedeny v tabulce 1. Další parametry jsou u všech těchto testů odlišné. Pro výsledky testů jsou určeny toleranční hodnoty, které nesmí být překročeny. Pokud by byly limity překročeny, v testu se vyskytla chyba nebo je přístroj poškozen.

*Tabulka 1: Parametry pro denní kontrolu homogenity CT*

Parametr	Hodnota
<b>Typ skenu</b>	rotace
<b>Napětí</b>	130 kV
<b>Ohnisko</b>	Velké
<b>Pozice rentgenky</b>	0 °
<b>Šířka okna</b>	500 HU
<b>Střed okna</b>	0 HU
<b>FoV</b>	250 mm

*Zdroj: vlastní*

### 9.1.3 Kontrola šumu

Pro kontrolu šumu se používá taktéž vodní fantom, který je součástí CT fantomu. Je nastaven v předem určené poloze a zkontrolován zaměřovacími lasery. Fantom tedy zůstává na stejném místě, jako tomu bylo v předchozím testu.

Měření je znovu prováděno ve dvou režimech. V režimu typickém pro hlavu a v režimu typickém pro tělo. Je určena ROI uprostřed válcového vodního fantomu. Pomocí odchylky CT hodnot v této oblasti zájmu je vyhodnocen obrazový šum. Pro vyhodnocení se využívá obraz vytvořený odečtením dvou skenů po sobě následujících. A to proto, aby se potlačil vliv nehomogenit obrazu a kruhových artefaktů, které mohou vzniknout.



Kontrola šumu se skládá z 6 dílčích testů, z nichž se vyhodnocuje celkový výsledek kontroly šumu. Parametry, které jsou pro všechny tyto testy stejné, jsou uvedeny v tabulce 2. Ostatní parametry se v jednotlivých testech mění. Výsledné hodnoty se stejně jako u předchozího testu porovnávají s tolerančními hodnotami.

*Tabulka 2: Parametry pro denní kontrolu šumu CT*

Parametr	Hodnota
<b>Typ skenu</b>	rotace
<b>Ohnisko</b>	Velké
<b>Pozice rentgenky</b>	0 °
<b>Šířka okna</b>	500 HU
<b>Střed okna</b>	0 HU
<b>FoV</b>	250 mm

*Zdroj: vlastní*

## 9.2 Část SPECT

Součástí denní kontroly SPECT části je jediný test a tím je kontrola homogenity detektorů, která se provádí za pomoci plošného zdroje.

### 9.2.1 Kontrola homogenity detektorů plošným zdrojem

Při denní kontrole homogenity se používá plošný homogenní zdroj, kterým je  $^{57}\text{Co}$  o aktivitě 740 MBq. Kobalt 57 má poločas přeměny 270 dní, a tak je potřeba zhruba po roce a půl používání zdroj vyměnit. Zdroj je většinou uchováván v blízkosti přístroje v odstíněném krytu, ze kterého se dá lehce vyndat, tak aby byl rychle dostupný pro použití k dennímu testu.

K testu je třeba plošný zdroj položit na spodní detektor. Poté jsou k sobě detektory přiblíženy na co nejmenší vzdálenost, tím je připraveno vše po spuštění testu. Následně se už jen spustí snímání. Doba testu je přibližně 4 minuty, avšak se stárnoucím zdrojem se čas prodlužuje, a proto je nutné zdroj obměňovat.

*Obrázek 2: Umístění plošného zdroje pro denní test homogenity SPECT*



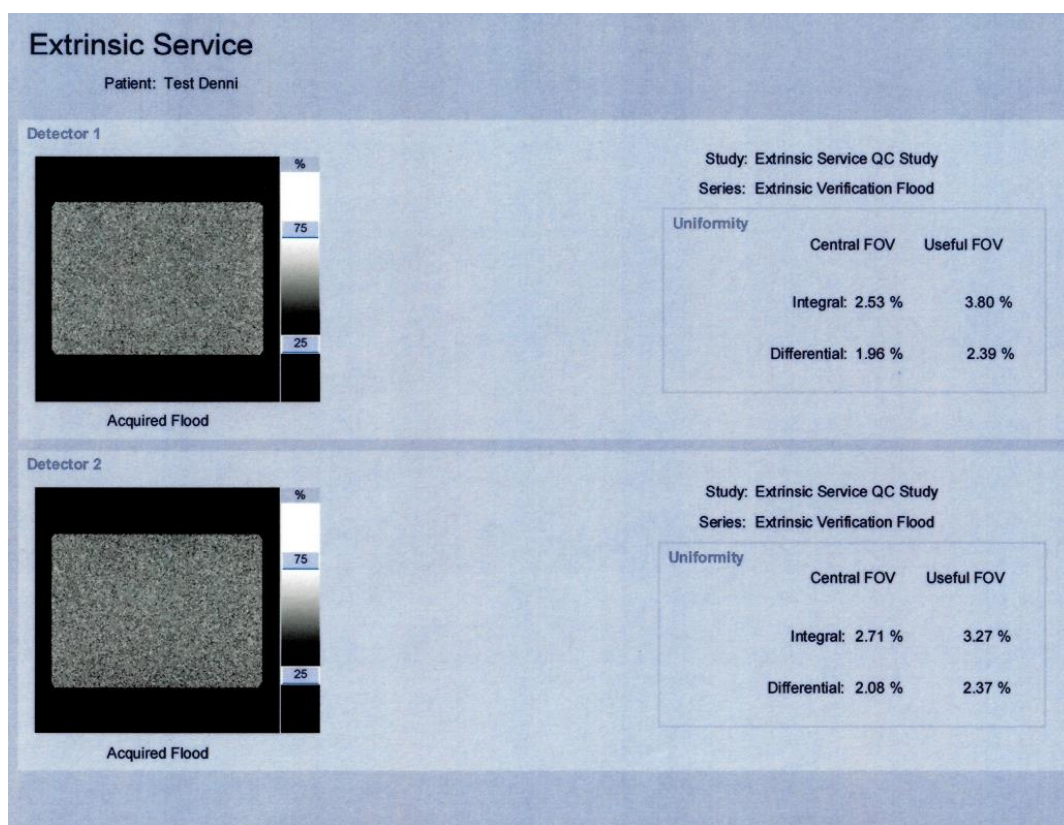
*Zdroj: Vlastní*

Zdroj je snímán oběma detektory a vytváří se obrazy. Na těchto obrazech jsou určeny dvě oblasti, jednou z těchto oblastí je centrální FOV, které zahrnuje střední část nasnímaného pole. Druhou částí je užitečné FOV, tato oblast zahrnuje celou plochu detektoru.

Po nasnímání obrazů se určují 4 parametry, a to pro oba detektory. Určuje se integrální a diferenciální homogenita, a to ve dvou oblastech jednotlivě, pro každou z nich. Hodnoty získané tímto testem se porovnají s hodnotami, uvedenými v doprovodné dokumentaci od výrobce. Tyto toleranční hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.

Centrální FOV má vždy lepší homogenitu a to proto, že zahrnuje pouze střední část, kde je homogenita lepší. Kdežto užitečné FOV zahrnuje i okrajové části, ve kterých je homogenita horší. Diferenciální homogenita má lepší hodnoty z toho důvodu, že rozdíl v hodnotách pixelů bude vždy mezi sousedními pixely nižší (tak se získává diferenciální homogenita), než mezi dvěma pixely s nejvyšší a nejnižší hodnotou v celém zorném poli (tak je tomu při získávání homogenity integrální).

Obrázek 3: Výsledky denního testu homogenity



Zdroj: vlastní

Homogenita diferenciální by z tohoto důvodu měla vždy vyjít lepší nebo rovna homogenitě integrální, nikdy by však neměla vyjít horší. Což v našem případě u obou detektorů vyhovělo.

Tabulka 3: Toleranční hodnoty pro kontrolu homogenity

Homogenita	Centrální FOV	Užitečné FOV
<b>Integrální</b>	<5 %	<6 %
<b>diferenciální</b>	<2,5 %	<3 %

Zdroj: vlastní

Plošný zdroj není dokonale homogenní, což je dáno jeho výrobou. Tato nehomogenita se projeví ve výsledku testu, a tak je k tomu přihlíženo při určování limitů. Proto je výsledek testu homogenity plošného zdroje vždy horší než výsledek testu zdroje bodového, který je plně homogenní.

## 10 TÝDENNÍ TESTY NA PŘÍSTROJI SYMBIA INTEVO 2

Každý týden, nejčastěji v pátek po ukončení provozu jsou uskutečňovány týdenní testy. Tyto testy již nespouští radiologičtí asistenti, ale provádí je odborník, kterým je radiologický fyzik.

### 10.1 Část SPECT

Týdenní testy zahrnují pouze jeden test, a tím je test SPECT části, pomocí kterého se doladí fotonásobiče a následně je zkontrolována homogenita.

#### 10.1.1 Vnitřní kalibrace a kontrola homogenity

Nejdříve se pro test připraví zdroj  $^{99m}\text{Tc}$  o aktivitě přibližně 1 MBq. Když není aktivita zdroje úplně přesná, je stále možné ho použít, ale pouze v případě, že je jeho aktivita v rozmezí 0,8 – 1,2 MBq, tuto hranici však nesmíme se zdrojem překročit. Nejvhodnější ovšem vždy je, pokud je aktivita zdroje úplně přesná.

*Obrázek 4: Umístění bodového zdroje v držáku pro testy vnitřní kalibrace*

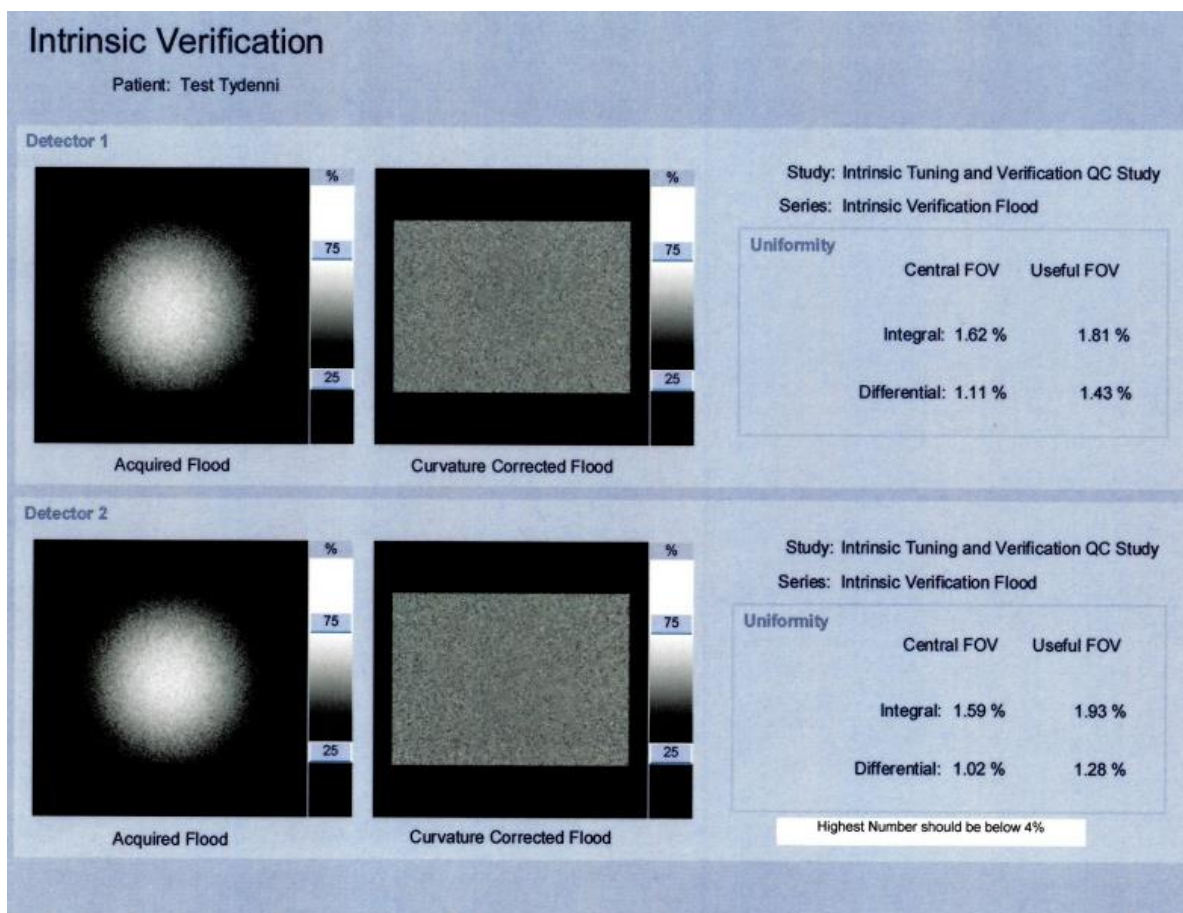


*Zdroj: vlastní*

Zdrojem musí být kapka s co nejmenším objemem. A to proto, že zdroj se vkládá do ampulky, která je umístěna do držáku a pokládá se vodorovně, a tak by mohlo dojít k tomu, že zdroj se vlivem gravitace rozprostře do většího objemu, než je třeba. Tento test probíhá bez přítomnosti kolimátorů, a tak je třeba je před začátkem testu odebrat. Zdroj v ampulce se umístí do výsuvného držáku, který se vysune přímo ze stolu, tak aby byl zdroj nad středovým fotonásobičem. Po správném umístění zdroje je možné spustit test.

Spustí se program, pomocí něhož se oběma detektory snímá obraz, a zároveň se do-  
 ladují fotonásobiče. Po dokončení této části odlaďování fotonásobičů se ještě spustí kontrola homogenity obrazu. Kontrolní test se uskutečňuje pro 30 milionů impulzů a trvá přibližně 8 minut.

Obrázek 5: Výsledky týdenního testu vnitřní kalibrace



Zdroj: vlastní

Bodový zdroj kolem sebe vytváří kulovou plochu. Kvůli tomu, že není možné dát zdroj do dostatečné vzdálenosti tak, aby se kulová plocha neprojevovala a zdroj ozářil celou plochu detektorů stejně, nejsou detektory ozářeny rovnoměrně. V okrajových částech nejsou detektory ozářeny vůbec nebo jenom velice málo. Z tohoto důvodu by byly výsledky testu homogenity zkreslené. Pro správné vypočtení homogenity je nutné, aby program dopočítal ozáření detektorů i v okrajových částech a bylo tak ozáření všech částí detektorů stejné. Následně jsou výsledky jednotlivých parametrů testu homogenity, stejně jako při denním testu homogenity, porovnány s hodnotami danými výrobcem. Jedná se opět o 4 parametry, a to o stejné jako u denního testu homogenity.

Výsledky testu jsou lepší než výsledky při denním testu, a to právě kvůli lepší homogenitě bodového zdroje, který detektory ozařuje.

## 11 MĚSÍČNÍ TESTY NA PŘÍSTROJI SYMBIA INTEVO 2

Vždy jednou za měsíc je přístroj podrobován měsíčním testům. Z větší části se jedná o podobné testy, jako jsou testy prováděné při denních nebo týdenních testech, avšak měsíční testy jsou podrobnější, a tak mohou lépe odhalit drobné odchylky nebo chyby přístroje.

Testy jsou uskutečňovány většinou po ukončení provozu na pracovišti a i přesto, že se jedná o velice podobné testy, nejsou již zajišťovány obsluhou přístroje, tedy radiologickými asistenty, ale test provádí odborník, kterým je radiologický fyzik.

### 11.1 Část CT

Každý měsíc se na CT části dělá rozšířený test, oproti dennímu testu je navíc k homogenitě a šumu zkoumána i tloušťka řezu. K testům se používá stejný speciální CT fantom jako při testech denních. Měsíčně se tedy kontrolují tyto tři parametry: homogenita, šum a tloušťka řezu.

*Obrázek 6: Ověřování pozice fantomu pomocí laserů*



*Zdroj: vlastní*

Stejně jako u testů denních se k posuvnému stolu připevní fantom a zajistí se na určeném místě. Následně se stůl s fantomem zaveze na potřebnou pozici do gantry CT. Když je fantom zavezen na správné souřadnice, zapnou se zaměřovací lasery a ověří se správná poloha fantomu pomocí drážek na něm předurčených speciálně k tomuto účelu. Vybrané výsledky následujících testů se nachází v přílohách s uvedenými tolerančními hodnotami a parametry se kterými jsou testy prováděny.

### **11.1.1 Kontrola tloušťky řezu**

Ke kontrole je použit fantom řezu, který je součástí CT fantomu popsaného v předchozí části. Fantom řezu obsahuje hliníkové destičky, které jsou ve fantomu v přesně známé poloze a pod známým úhlem. Díky tomu je po získání obrazu možno zjistit pomocí matematických funkcí přesnou šířku řezu.

Po umístění fantomu a ověření jeho správné polohy je spuštěn program a fantom je nasnímán. Z těchto získaných snímků je vyhodnocována tloušťka řezu. Tloušťka řezu je při zkoušce kvality zjištěna díky změření šířky obrazu klínové hliníkové destičky. Obraz destičky na snímku je průsečíkem roviny řezu a plochy destičky. Program díky tomu, že zná všechny potřebné parametry, může pomocí goniometrických funkcí vypočítat jaká je skutečná nasnímaná šířka řezu. V úvahu je při tomto testu brán vliv rekonstrukčního kernelu a vliv úhlu kužele na měřenou šířku. Zkouška se uskutečňuje pro dva režimy s různými skenovacími parametry. Jeden režim typický pro hlavu a druhý pro tělo. Vyhodnocení je provedeno minimálně pro dva vnější a jeden prostřední řez.

Tloušťka řezu je kontrolována během dvou dílčích testů. Parametry, které jsou pro oba testy stejné, jsou uvedeny v tabulce 4. Ostatní parametry se v testech liší. Výsledky testů jsou porovnávány s tolerančními hodnotami, které jsou uvedeny v doprovodné dokumentaci.



Tabulka 4: Parametry pro měsíční kontrolu tloušťky řezu CT

Parametr	Hodnota
Typ skenu	rotace
Napětí	130 kV
Proud	80 mA
Ohnisko	Velké
Doba skenu	1,5 s
Doba rotace	1,5 s
Pozice rentgenky	0 °
Šířka okna	500 HU
Střed okna	50 HU
FoV	200 mm
Kernel	S80s

*Zdroj: vlastní*

## 11.2 Část SPECT

U části SPECT se při měsíčních testech dělá test podobný testu týdennímu. Při tomto testu se zkoumá vnitřní kalibrace. Po doladění vnitřní kalibrace následuje, stejně jako tomu bylo u testu týdenního, kontrola homogenity. Dále se provádí ještě jeden test, při kterém se kontroluje prostorová registrace detektorů a při kterém jde hlavně o správnou polohu detektorů.

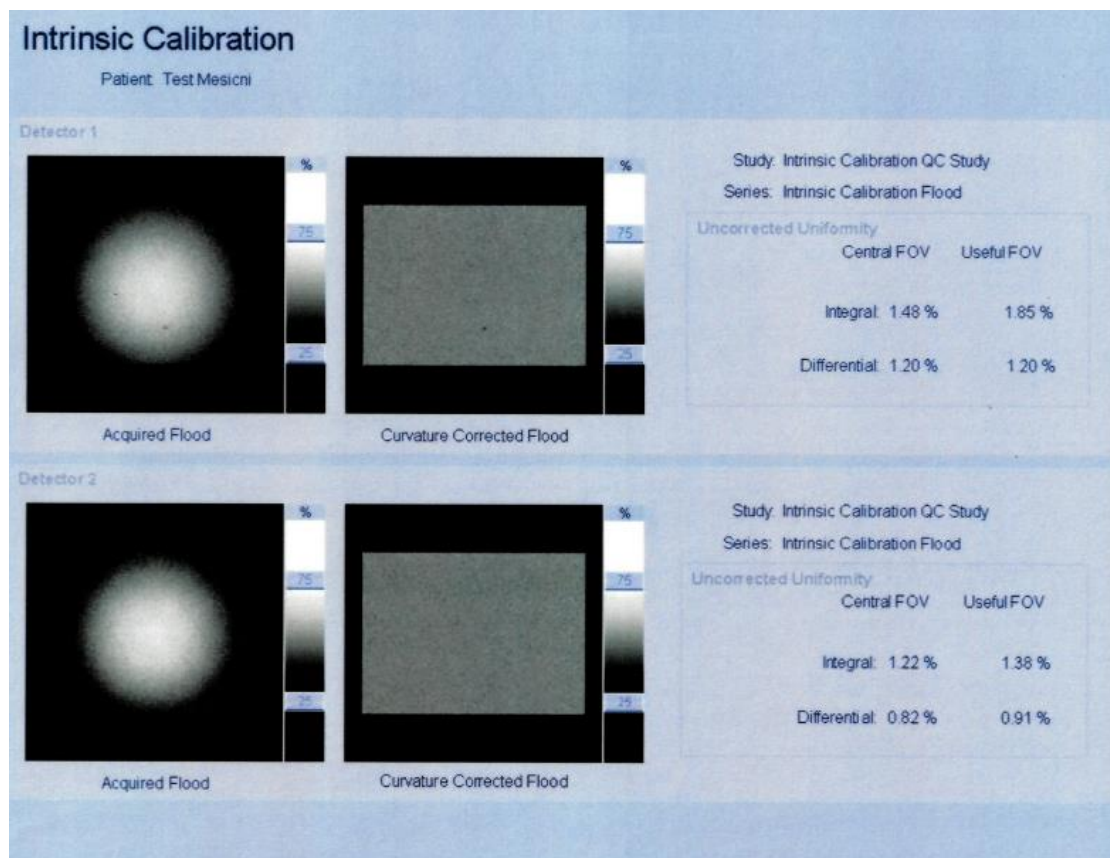
### 11.2.1 Jemnější vnitřní kalibrace a kontrola homogenity

Jednou za měsíc se uskutečňuje další test pro doladování fotonásobičů detektorů, stejně jako při týdenních testech. Ovšem při měsíčním testu jde o jemnější doladování. To je důležité pro správné fungování přístroje a pro lepší detekci záznamů při běžném provozu na pracovišti.

Pro tento test je třeba připravit bodový zdroj  $^{99m}\text{Tc}$  o velmi malém objemu, který se umístí do ampulky. Zdroj by měl mít aktivitu přibližně 1 MBq. Ampulka se zdrojem se vloží do výsuvného držáku, pomocí něhož se zdroj připraví do potřebné polohy, přímo nad středový fotonásobič spodního detektoru. Pokud jsou měsíční testy uskutečňovány současně s testy týdenními, pak je možno použít pro oba testy stejný připravený zdroj. K uskutečnění testu je ještě třeba z detektorů odebrat kolimátory. Poté se provede akvizice obrazu a to na 200 milionů impulzů. Test vnitřní kalibrace trvá zhruba 1 hodinu a 10 minut.

Po dokončení testu vnitřní kalibrace se ještě kontroluje homogenita se stále stejným bodovým zdrojem. Tato kontrola je totožná s týdenní kontrolou homogenity. Je provedena na 30 milionů impulzů a trvá zhruba 8 minut. Z této kontroly jsou získány 4 parametry pro každý detektor. Jde opět o integrální a diferenciální homogenitu v oblasti centrálního FOV a v oblasti užitečného FOV. Získané parametry jsou porovnány s tolerančními hodnotami.

Obrázek 7: Výsledky měsíčního testu vnitřní kalibrace

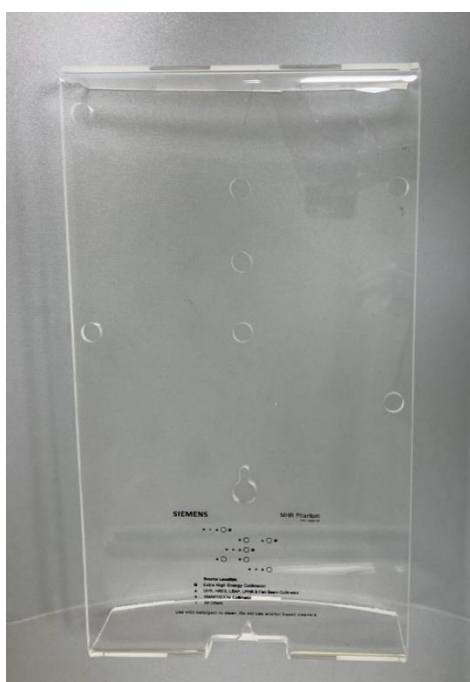


Zdroj: vlastní

### 11.2.2 Test prostorové registrace detektorů

Každý měsíc je proveden test, při kterém se zkoumá, zda jsou detektory ve správném postavení. Kontroluje se, zda nejsou detektory odchýleny ze správné pozice. Detektory se mohou při otáčení kolem osy, při změně polohy odchylovat různými posuny. Tím, že se například vlivem gravitace změní jejich odchylky v jednotlivých směrech vůči pozici, kterou by měli správně zaujímat. Při tomto testu jde o to, aby detektory po celé dráze rotace registrovaly daný zdroj ve výsledku v jednom bodě. Pokud by tomu tak nebylo, došlo by k chybné interpretaci výsledků při vyšetřeních. Zkoumá se tedy centrum rotace a následně posuny ve všech směrech.

*Obrázek 8: Držák pro zdroje k testu prostorové registrace detektorů*



*Zdroj: Vlastní*

Nejdříve ze všeho je nutné k testu připravit 5 zdrojů, každý o aktivitě přibližně 50 MBq. Velice důležité je, že tento test je uskutečňován s kolimátory, a tak je potřeba po předchozím testu kolimátory nasadit. Tyto zdroje jsou bodové, ale mohou mít již větší objem než v případě testu vnitřní kalibrace. Jsou totiž v ampulkách postaveny do speciálního držáku, a tak se nemohou rozprostřít do jiného objemu, než je třeba. V tomto držáku jsou zhotoveny otvory, do kterých se ampulky vkládají. Zdroje se tedy vloží do otvorů určených pro provádění testu a daný přístroj, tak jak je to dáno výrobcem a zároveň zakresleno na držáku. Následně se držák připevní k posuvnému stolu a zaveze se do zorného pole obou detektorů.

*Obrázek 9: Umístění zdrojů při testu prostorové registrace detektorů*

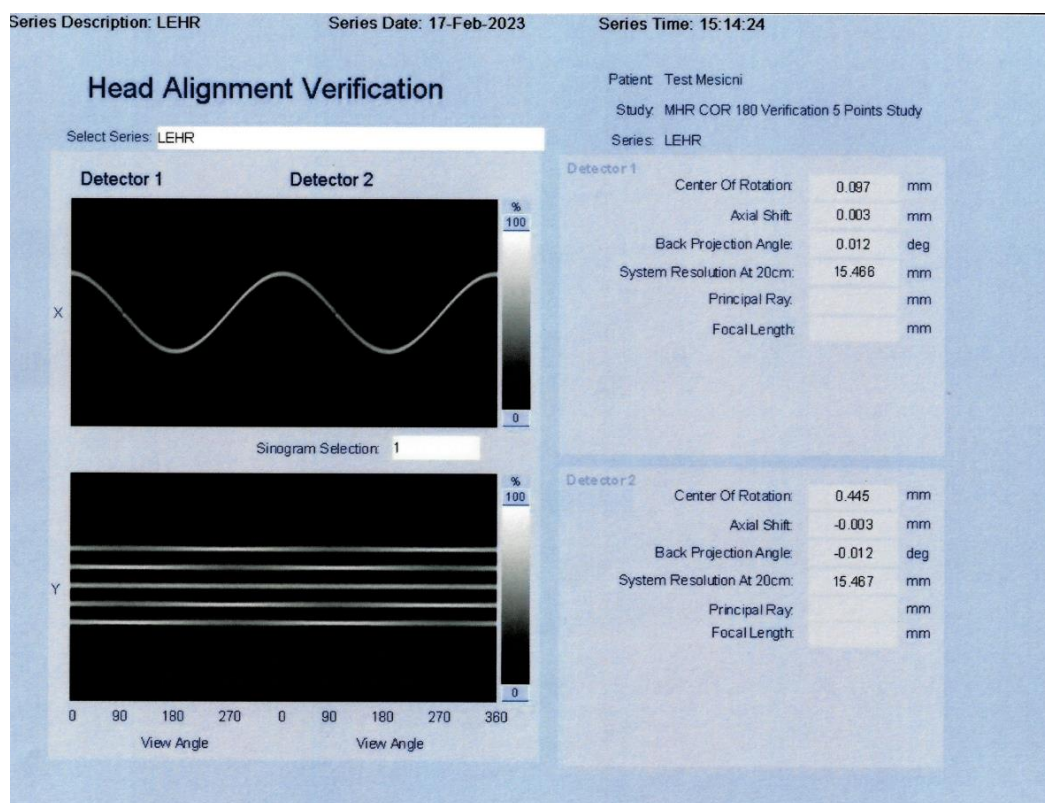


*Zdroj: vlastní*

Když je vše správně umístěno, je spuštěn test, při kterém se detektory otáčí kolem své osy a snímají zdroje z jednotlivých úhlů. Nejdříve se obraz snímá jedním detektorem, během jedné otočky kolem osy a poté se otáčení opakuje a obraz zachycuje druhý detektor. Je nasnímáno celkem 120 snímků, tedy 60 každým detektorem. Test trvá přibližně 9 minut. Z nasnímaných dat jsou vytvořeny grafy a vypočteny posuzované parametry.

Parametry jsou porovnávány s hodnotami, které pro správně výsledky tohoto testu určil výrobce přístroje. Zároveň jsou vytvořeny dva grafy. Tyto grafy znázorňují graficky výsledky testu, pohledy kamer na zdroje z jednotlivých úhlů při jejich postupném otáčení. V prvním grafu se zobrazuje sinusoida, která by na sebe měla být spojitá, neměly by na ni být vidět žádné výkyvy. V druhém grafu se vytvoří několik vodorovných čar. Tyto čáry by taktéž měly mít jednotný průběh a neměly by se příliš rozšiřovat.

Obrázek 10: Výsledky testu prostorové registrace detektorů



Zdroj: vlastní

Zjištěné parametry, pro oba detektory jednotlivě, se porovnají s tolerančními hodnotami. Jde hlavně o posun centra rotace a axiální posuny detektorů. Toleranční hodnoty jsou udány v tabulce 5.

Tabulka 5: Toleranční hodnoty pro test prostorové registrace detektorů

Sledované parametry	Tolerance
<b>Axiální posuny</b>	$\leq \pm 5$ mm
<b>Centrum rotace</b>	<10 mm

Zdroj: vlastní

## 12 POROVNÁNÍ TESTŮ S DOPRUCHEM IAEA

V dokumentu od IAEA jsou v doporučeních stručně popsány testy provozní stálosti u SPECT a SPECT/CT přístrojů. IAEA uvádí, že do systému kontroly kvality pro SPECT a SPECT/CT systémy by měly být zahrnuty kalibrace a korekce systému a také testování charakteristik systému v intervalech, které zahrnují potenciální změny nebo selhání konkrétních vlastností systému. Existuje několik organizací, které vypracovaly doporučení pro testování kvality. Tato doporučení od různých organizací se v mnohém shodují, ale jsou mezi nimi i určité rozdíly například v metodě zkoušek nebo četnosti testů. Avšak všechny se shodnou, že testy musí být prováděny jak pro planární, tak pro tomografický zobrazovací režim. (11)

### 12.1 Homogenita

#### Doporučení

IAEA uvádí, že homogenita se může určovat buď jako vnitřní uniformita samotného detektoru nebo vnější uniformita, kde je zahrnut jak detektor, tak kolimátor. Zda je vhodnější denně provést vnější kontrolu homogenity nebo vnitřní kontrolu homogenity, záleží na výrobě a modelu gamakamery. Je tedy uvedeno, že by se test homogenity měl uskutečňovat každý den. Vnitřní homogenita se většinou určuje pomocí bodového zdroje  $^{99m}\text{Tc}$ , zatímco vnější homogenita se obvykle určuje pomocí plošného zdroje  $^{57}\text{Co}$ , který se umísťuje přímo na hlavu detektoru. V případě, že je denní homogenita určována vnitřní kontrolou, měly by být specifikovány ještě další vnější testy týdenní nebo měsíční pro různé kolimátory, a to z toho důvodu, aby se dalo odhalit možné poškození kolimátorů. Vnitřní homogenita by se pro  $^{99m}\text{Tc}$  podle doporučení měla provádět vždy jednou týdně. (11)

Vnitřní i vnější homogenita se vyhodnocuje vizuálním posouzením a poté porovnáním s předchozími testy. Alternativně lze získat kvalitativní výsledky a porovnat je se specifikacemi výrobce nebo určenými limity. Výpočty zahrnují integrální a diferenciální homogenitu pro užitečné a centrální zorné pole. (11)

## Porovnání s provedenými testy

Planární homogenita je testem, který se prováděl na zkoumaném přístroji a který je taktéž uveden v doporučení. U zkoumaného přístroje Symbia Intevo 2 je vhodnější provádět denní testy homogenity vnější kontrolou. Tak tomu tedy i bylo u provedeného denního testu homogenity, kdy jsme homogenitu testovali pomocí plošného zdroje  $^{57}\text{Co}$ , což souhlasí s doporučením. V případě prováděných testů se výsledky neurčovaly pouze vizuálně, ale k vyhodnocení testu homogenity byla použita kvantitativní metoda, při které se výsledné hodnoty porovnávaly s předurčenými hodnotami od výrobce. Při testu se posuzovaly tytéž parametry, které udává doporučení, tedy integrální a diferenciální homogenita v užitečném a centrálním zorném poli.

Vnitřní homogenitu jsme sice nezkoumali při testech denních, ale byla určována při týdenních a měsíčních testech jako ověřovací test homogenity po vnitřní kalibraci přístroje. Při těchto testech bylo dodrženo doporučení provádět kontrolu vnitřní homogenity jednou za týden.

## 12.2 Prostorová registrace detektorů

### Doporučení

Při tomto testu se ověřuje nejprve zarovnání osy otáčení SPECT se středovým pixelovým sloupcem v získaných maticích obrazu, tedy to, zda je odpovídající střed rotace detektorů. Dalším testem je test MHR, který se používá k tomu, aby všechny hlavy vícedetektorového systému nasnímalý vzorky se stejným objemem. Tedy k porovnání, zda obraz bodového zdroje na jednom detektoru odpovídá obrazu na detektoru protilehlém. Test slouží k ověření systémových kalibrací pro střed rotace a MHR. Obě tyto zkoušky jsou prováděny obvykle během jednoho kombinovaného testu, který se dělá pro každý model přístroje podle pokynů výrobce. Při testech se používají bodové zdroje, které se umístí do určených míst, a poté je pořízen sken. Pro každý úhel, ze kterého se snímá, se stanoví odchylky zdrojů od středu rotace. Proces se opakuje u obou hlav detektoru. Doporučení uvádí, že se tento test má provádět týdně nebo měsíčně. (11)

## **Porovnání s provedenými testy**

Dalším testem, který je součástí doporučení a zároveň byl proveden na zkoumaném přístroji, je test prostorové registrace detektorů. U přístroje Symbia Intevo 2, se test prováděl stejně, jako uvádí doporučení. Použilo se několik bodových zdrojů, které se následně postupně snímaly oběma detektory a z nasnímaných obrazů se zjistily odchylky zdrojů od středu rotace a odchylka středu rotace. U zkoumaného přístroje byl test součástí měsíčních zkoušek.

## **12.3 Peaking**

### **Doporučení**

Peaking neboli kontrola fotopíku je dalším předepsaným testem v doporučení. Tento test by se měl podle doporučení provádět každý týden. Jde o schopnost soustředit energetické okno na požadované záření, které se používá pro zobrazování. Test by se měl provádět s bodovým zdrojem. A měl by být proveden u všech klinicky používaných radionuklidů. V některých systémech je nutné ruční umístění energetických oken, zatímco v jiných systémech je peaking automatizován. (11)

## **Porovnání s provedenými testy**

U popsaných testů na zkoumaném přístroji byl tento test součástí týdenního a měsíčního testu pro vnitřní kalibraci přístroje. Pro test se používal bodový zdroj  $^{99m}\text{Tc}$ . Na přístroji nebylo nutné nastavovat energetická okna ručně, jelikož byl celý test vnitřní kalibrace automatizovaný.

## **12.4 Zahřátí rentgenky a kalibrace na vzduch**

### **Doporučení**

Doporučení pro kontrolu CT zahrnuje několik zkoušek. První z nich je zahřátí rentgenové trubice, která se má dělat každý den. Zahřátí je nezbytné k tomu, aby se rentgenová trubice dostala na ideální teplotu optimální pro provoz, a napomohlo se tak prodloužení její životnosti. Zahřátí trvá asi minutu a je následováno kalibrací na vzduch. Ta zahrnuje sérii kalibrací a systémových zkoušek. Celkově pak testy trvají asi 20 minut v závislosti na výrobci a modelu přístroje. (11)



## **Porovnání s provedenými testy**

Test se shoduje s doporučením a na zkoumaném přístroji je prováděn stejným způsobem, jako je předepsáno. Check-Up test, jak se tento test pojmenovává u přístroje, zahrnuje jak zahřátí rentgenky, tak kalibraci na vzduchové prostředí. Taktéž se provádí každý den, kdy je přístroj využíván. Celkově však procedura u přístroje Symbia Intevo 2 trvala kratší dobu, než je uvedeno v doporučení.

## **12.5 Další zkoušky CT**

### **Doporučení**

Dále je v doporučeních předepsáno provádět zkoušku homogenity CT čísla, linearity, šumu a tloušťky řezu, a to za použití vodního fantomu a fantomu s dalšími složkami. Fantom, který je dodán výrobcem, umožňuje provést všechny tyto testy během jednoho snímání. Fantom je nasnímán s přednastavenými parametry, nejběžněji se 120 kV. ROI se v získaných obrazech vykresluje na různých místech a řezech, tak aby se vyhodnotily všechny potřebné parametry. CT snímky jsou také hodnoceny z hlediska přítomnosti artefaktů. (11)

U homogenity se očekává, že se CT číslo ve všech oblastech nebude měnit a bude přibližně stejné. Pro posouzení šumu se používá směrodatná odchylka CT čísel. Pro linearitu by měla být CT čísla pro vodu, vzduch a akryl (všechny tyto části jsou součástí fantomu), v očekávaném rozmezí. Na výsledných obrazech by také neměly být žádné artefakty. Doporučení neudává četnost, se kterou by měly být CT zkoušky prováděny. (11)

## **Porovnání s provedenými testy**

Při kontrole CT, se stejně jako je uvedeno v doporučení, snímá fantom dodaný výrobcem. Ze získaných obrazů se vyhodnotí homogenita, šum a tloušťka řezu. Také na nich je možné posoudit, zda se v obraze nenachází artefakty. Parametrem, který nebyl při prováděných testech zkoumán, je linearita. Tento test se na přístroji Symbia Intevo 2 neprovádí. Dalším rozdílem je, že se u zkoumaného přístroje nepracuje s napětím 120 kV, ale s hodnotou 130 kV. Zbylé parametry se vyhodnocují stejným způsobem, který je popsán v doporučení.

## 13 MOŽNÉ CHYBY V MĚŘENÍ A DOPORUČENÍ

### 13.1 Chybná aktivita zdroje

Největší chybou při provádění testů je použití jiné aktivity zdroje, než jaká je pro daný test určena. Pro každý test je určená aktivita, jakou by měl použitý zdroj mít. Tuto aktivitu udává výrobce. Pokud se aktivita zdroje bude odchylovat od stanové hodnoty jen v malých odchylkách, pak nenastane problém. Pokud však bude mít aktivita výraznější odchylku, může dojít ke špatnému výsledku testu. Důležité také je, aby zdroj měl správný objem, tedy takový, který je pro daný test určený. Odlišný objem může taktéž znamenat špatné výsledky prováděného testu.

Pokud se bude jednat o aktivitu zdroje výrazně nižší, než je aktivita požadovaná pro test, pak mohou výsledky testu vyjít horší, než specifikuje výrobce. Test by také mohl trvat delší dobu a to z toho důvodu, že by pro registrování potřebného množství impulzů byl potřeba delší časový úsek. K horšímu výsledku testu by mohlo dojít také proto, že by se k detektorům nedostalo dostatečné množství záření.

U použití aktivit výrazně vyšších může však nastat větší problém. Při použití vyšší aktivity při testu bez přítomnosti kolimátorů je riziko takzvaného přesvícení scintilačního krystalu. Při tomto ději je scintilační krystal zahlcen impulzy a další již neregistruje, jde o takzvanou mrtvou dobu, při níž krystal nezaznamenává žádné další impulzy. Pokud nastane tato situace a scintilační krystal je zahlcen není možné přístroj v danou chvíli dále používat. Tento stav scintilačního krystalu může znemožnit používání přístroje až na dobu v řádu několik hodin.

Proto je důležité použít správnou aktivitu a objem zdroje. Dále také zkontrolovat aktivitu zdroje před použitím. Při používání vysokých aktivit je nezbytné dbát na to, aby byly kolimátory nasazeny na detektorech a nedošlo tak k tomu, že by pak nebylo možné testy provést, kvůli přesvícenému scintilačnímu krystalu.

Například u námi zkoumaného přístroje je důležité dávat pozor při měsíčních testech. Po testu vnitřní kalibrace, je nutné nasadit kolimátory před přinesením zdrojů pro test prostorové registrace detektorů, které mají vyšší aktivitu. Jinak by došlo k přesvícení krystalu.

Pokud již tyto chyby nastanou, je nutné test provést znovu se správnou aktivitou. Pokud dojde k přesvícení scintilačního krystalu, je nutné počkat, dokud není možné přístroj znovu použít a poté provést test znovu s aktivitou určenou k tomuto testu. V případě, že ani tak výsledky testu nejsou v dané toleranci, je třeba kontaktovat servis, který se postará o zjištění a opravení závady, ovšem do té doby je přístroj vyřazen z provozu.

### **13.2 Chybné umístění fantomů**

Pro každý test je určen typ fantomu a také je dáno jakým způsobem tento fantom použít. Je nutné, aby byl fantom umístěn na přesně určeném místě tak, aby byla registrována ta část, která má být při daném testu registrována. Na fantomech mohou být vyznačená místa, podle kterých se řídí jejich umístění a podle kterých se zaměřují na správné místo nebo jsou výrobcem předepsané pokyny pro umístění.

Pokud je fantom špatně umístěn, mohou být výsledky prováděného testu horší, než specifikuje výrobce. Může dojít k tomu, že přístroj snímá jinou oblast, než by správně měl. Tak dojde k tomu, že pro počítání výsledných parametrů jsou ze snímaného obrazu brány v potaz jiné oblasti, než by měly být. Hodnota vypočítaná programem je pak odlišná, než pokud by byla snímána správná oblast fantomu.

Je důležité, aby byly pro jednotlivé testy použity správné fantomy a také je potřeba se zaměřit na to, aby byl fantom vždy správně umístěn, na správných souřadnicích. Vhodné je také ho následně zkontrolovat alespoň vizuálně, anebo pokud je to možné, jako například u CT fantomu, pomocí zaměřovacích laserů.

Pokud dojde k provedení testu se špatně umístěným fantomem a výsledky testu jsou nevyhovující, je nutné fantom umístit správně do určené polohy a test spustit znovu. Pokud jsou i tak výsledky nevyhovující, je potřeba zavolat servis, který se postará o vyřešení problému.

### **13.3 Jiné zdroje záření ve vyšetřovně**

Pokud výsledky zkoušky nevyhovují předpisům, pak může být jedním z důvodů chybných výsledků další zdroj záření nacházející ve vyšetřovně v blízkosti detektorů. Chybné výsledky mohou být způsobeny také kontaminací povrchu detektoru, ke které může dojít při běžném provozu.

Důležité je dbát na to, aby ve vyšetřovně nebyl žádný další zdroj záření, a to zejména při zkouškách bez kolimátorů, kdy je scintilační krystal citlivější. Ke zhoršení výsledků dochází tím, že detektor registruje více impulzů, než tomu má být za správných podmínek. Dále také můžeme, například při kontaminaci povrchu detektoru, získat ve zkoumaných oblastech jiné výsledky počítaných parametrů.

Při testu bez kolimátorů je vhodné z vyšetřovny odstranit i plošný zdroj pro provádění denních testů homogenity, a to i přesto, že se zdroj nachází ve stínícím krytu. Je totiž možné, že stínící kryt může propustit část záření, a tak by mohl zdroj i přesto ovlivňovat výsledky testu. Před sundáním kolimátorů z detektorů je nezbytné zkontrolovat, zda se v jejich blízkosti nenachází zdroj s vysokou aktivitou, předejde se tak možnému přesvícení krystalu a nedojde tak k přerušení fungování přístroje na několik hodin.

Pokud je podezření na kontaminaci povrchu, což se projevuje tím, že jsou zvýšené hodnoty pozadí, musí se povrch detektoru důkladně očistit a následně pak požadovaný test spustit znovu. Jestliže se zjistí, že je ve vyšetřovně zdroj, který by tam být neměl, pak se zdroj z vyšetřovny odstraní a test se provede znovu. Když jsou výsledky testu stále nevhovující i po zkontrolování všech případných chyb, je jediným možným řešením zavolat servis, který zjistí, o jakou závadu se jedná a popřípadě ji i opraví.

## DISKUZE

Teoretická část je členěna do několika kapitol. První kapitola obsahuje podkapitoly, v nichž je obecně popsán systém zabezpečení jakosti, jaké přístroje podléhají zkouškám a následně i rozdělení zkoušek na předávací a provozní, které jsou ještě dále děleny na jednoduché a náročné. Následující kapitoly jsou zaměřeny na jednotlivé přístroje, které zkouškám podléhají. V kapitolách jsou stručně popsány všechny testy, jak se provádějí, k čemu slouží, jaké jsou intervaly, ve kterých jsou uskutečňovány a jaké musí mít výsledky, aby vyhověly požadavkům pro provoz. Jako první jsou uvedeny zkoušky pro měřiče aktivity, pomocí kterých se na odděleních nukleární medicíny měří nejčastěji aktivita podávaného radiofarmaka. U měřidel aktivity je v podkapitolách stručně popsáno všech 6 zkoušek, které jsou pro kalibrátory předepsané. Nejdůležitější z těchto zkoušek, které se provádějí častěji, je fyzická kontrola, kontrola pozadí a kontrola stability. Přístroje popisované v další kapitole jsou zkoušky pro aparatury in vivo a in vitro, pomocí nichž se měří aktivita buď v těle pacienta, nebo mimo tělo pacienta v laboratorních podmínkách. Aparatury mohou mít různé konstrukce pro různé využití. U aparatur je předepsáno celkem 8 testů rozepsaných v podkapitolách, mezi jednoduché a častěji prováděné se řadí kontrola energetické kalibrace a kontrola krátkodobé reprodukovatelnosti. Čtvrtá kapitola obsahuje kontrolu planárních zobrazovacích systémů, kapitola opět obsahuje podkapitoly, ve kterých je sepsáno 7 předepsaných testů, které určí, zda přístroj správně funguje. Mezi nejdůležitější testy u planárních zobrazovacích systémů patří test planární integrální homogenity a vizuální test prostorové rozlišovací schopnosti. Poslední zkoušky, které jsou v teoretické části uvedeny, jsou testy pro tomografické zobrazovací systémy. U kontrol tomografických zobrazovacích systémů se provádí jak testy tomografické, tak i testy planární. Tomografická kontrola se sestává z 6 testů, které jsou jednotlivě uvedeny v podkapitolách. Nejdůležitějšími testy pro tomografické zobrazovací systémy jsou však pouze test planární homogenity a test centra rotace, ostatní testy jsou spíše informativní. V poslední kapitole teoretické části se zabývám SPECT/CT přístrojem, z toho důvodu, že je následně zkoumán v praktické části, a tak je nutné si předem ozřejmit v podkapitolách jak jeho konstrukci, tak i způsob jakým funguje a jaké jsou výhody a nevýhody jeho použití.

Při popisování testů v těchto kapitolách jsem vycházela především z doporučení, které vydal SÚJB. Z dokumentu o systému kontrol detekční a zobrazovací techniky v nukleární medicíně, který byl vydán v roce 1999 a dále také z dokumentu o radiační ochraně v nukleární medicíně z roku 2019, ovšem zde se jedná pouze o pracovní verzi, která není tak podrobná. Nebylo možné využít aktuálnější doporučení od SÚJB, protože od roku 1999 nebylo vydáno žádné další doporučení pro systém zabezpečení jakosti v nukleární medicíně. Pro práci bylo použito menší množství zdrojů, z toho důvodu, že na zadané téma není vydáno mnoho aktuálních českých, ale ani zahraničních publikací.

Praktická část byla zaměřena na kvalitativní výzkum, ke kterému byl určen cíl a tři výzkumné otázky. Jako cíl práce jsme určili zkoumání jednoho vybraného přístroje, který spadá do programu zabezpečení jakosti na nukleární medicíně. Výzkumné otázky poté vycházely z cíle a více se rozvíjely pro dané téma. Otázky byly blíže nastíněny v jednotlivých kapitolách praktické části.

Hlavním cílem práce bylo v praxi provést testy na SPECT/CT přístroji, popsat je a zjistit, zda výsledky testů odpovídají předepsaným tolerančním hodnotám, tedy jestli testy vyhověly požadavkům a přístroj funguje správně. Součástí cíle bylo také určit, zda jsme se při testech nedopustili žádné chyby, tím, že výsledky testů budou vyhovující. Testy byly provedeny na přístroji od společnosti Siemens s názvem Symibia Intevo 2, který se nachází v Klatovské nemocnici a.s. na Oddělení nukleární medicíny. Testy jsme dělali 17. Února 2023, spolu s Ing. Milanem Kozákem, který je radiologickým fyzikem na tomto pracovišti. Mezi zkoumané testy patří pouze jednoduché testy ze systému zabezpečení jakosti, jde tedy o denní, týdenní a měsíční testy.

Na výzkumné otázky bylo možné zodpovědět hlavně díky rozhovoru s Ing. Milanem Kozákem, který mi poskytl veškeré informace jak k provádění testů, tak také k tomu, jaké mohou být nejčastější chyby při testování, jak se dané chyby projeví, a hlavně jak jim předcházet a případně je napravit. Na další výzkumnou otázku jsem zodpověděla pomocí dokumentu s doporučením od Mezinárodní agentury pro atomovou energii. Tato agentura vydala doporučení pro provádění testů na SPECT/CT přístroji, které nejsou v českém jazyce vůbec vydána. A tak jsem mohla provedené testy porovnat s doporučením a zjistit, zda má společnost Siemens předepsané testy shodné s doporučením a v čem se naopak odchyluje.

Cíl práce byl splněn tím, že provedené testy jsou zároveň v praktické části práce popsány v kapitolách podle intervalu, v jakém jsou předepsány a poté v podkapitolách podle toho, zda se zkoumala část SPECT nebo část CT. U všech testů je popsána příprava potřebná před samotným testem a jeho následné provedení. Získané výsledky jednotlivých testů jsou u SPECT části uvedeny v podkapitolách společně s tolerančními hodnotami, u CT části jsou vybrané testy i s tolerančními hodnotami a upřesňujícími parametry pro prováděný test uvedeny v přílohách. U testů CT části je prováděno mnoho dílčích testů, které by následně působily nepřehledně, a tak jsem se rozhodla pro jednotlivé testy vybrat vždy testy dva, které reprezentují všechny zbylé. Díky tomu, že jsme následně porovnali toleranční hodnoty s hodnotami, které jsme při testech získali, jsme se přesvědčili, že veškeré provedené testy vyhovují předepsaným podmínkám. Tím jsme stanovili, že přístroj podává diagnostické informace s dostatečnou kvalitou a přístroj není žádným způsobem poškozen, a tak nemá žádnou poruchu. Zároveň jsme tím, že všechny výsledky vyšly v tolerančním rozsahu, zaručili to, že jsme se při provádění zkoušek nedopustili žádné chyby.

První výzkumná otázka se ptá na rozdíl mezi provedenými testy a doporučením IAEA. Tato otázka je blíže zkoumána v jedné z kapitol v praktické části, kde jsou v pěti podkapitolách popsány jednotlivé testy, tak jak jsou uvedeny v doporučení. Jedná se o test homogenity, test prostorové registrace detektorů, peaking, zahřátí rentgenky, kalibrace na vzduch a další zkoušky CT. Také je v jednotlivých podkapitolách uvedeno stručné srovnání s provedenými testy. Při srovnávání jsem zjistila, že test homogenity, test prostorové registrace, test pro zahřátí rentgenky a kalibrace na vzduch se z velké části shoduje s doporučením, jak v předepsaných postupech, tak v intervalech, ve kterých se mají testy provádět. Blíže jsou drobné odchylky popsány v jednotlivých podkapitolách. U testu homogenity se jedná pouze o to, že pro námi zkoumaný přístroj je lepší denně používat k testování homogenity plošný zdroj a že homogenita byla určována kvantitativně, nikoli jen vizuálně. Test prostorové registrace detektorů zkoumaný u přístroje se v podstatě vůbec neodlišoval od doporučení. Stejně tomu bylo u zahřátí rentgenky a kalibrace na vzduch, který se od doporučení odlišoval pouze v tom, že doporučení udávalo delší dobu trvání testu. Rozdílem v popisovaných testech byl peaking, který jsem neuváděla, ale je součástí doporučení. I přesto, že test nebyl u zkoumaného přístroje přesně popsán, byl tento test součástí týdenního a měsíčního testu pro vnitřní kalibraci. Další zkoušky CT se téměř ve všem shodovaly s doporučením. Taktéž se u nich hodnotila homogenita, šum a tloušťka řezu, jediným rozdílem mezi předepsaným doporučením a testy které jsme provedli, byla

linearita, kterou jsme v testech nehodnotili. Dalším drobným rozdílem u testování CT parametrů byla vyšší hodnota napětí, která se používala u testů než, která je uvedena v doporučení. Celkově se tedy provedené testy od doporučení téměř neodlišují a neodpovídají doporučení jen v drobných odchylkách. Jediným větším rozdílem doporučení od předepsaných provedených testů je kontrola linearity CT. Lze tedy říci, že předepsané testy společnosti Siemens k danému přístroji odpovídají doporučení Mezinárodní agentury pro atomovou energii, až na jedinou výjimku, kterou je test linearity CT.

Druhá výzkumná otázka se ptá, k jakým chybám může nejčastěji dojít při provádění testů. Po konzultaci s Ing. Milanem Kozákem jsem zjistila, že nejčastější chyby, ke kterým dochází, jsou: chybně použitá aktivita zdroje, chybné umístění fantomu anebo přítomnost jiných zdrojů záření ve vyšetřovně. Všechny tyto chyby jsou podrobně popsány v jedné kapitole praktické části, kde jsou jednotlivé chyby rozepsány v podkapitolách. Největší chybou, ke které může dojít a zároveň může testy výrazně prodloužit nebo dokonce znemožnit jejich provedení je chybná aktivita zdroje. A to zejména při použití vyšší aktivity a zároveň nepřítomnosti kolimátorů může dojít k přesvícení scintilačního krystalu, což znemožní používání přístroje až na několik hodin. Obecně použití vyšší nebo nižší aktivity, než je pro daný test určeno může znamenat, že výsledky testu budou horší, než jaké požaduje výrobce. Další chybou může být špatné umístění fantomu. Používaný fantom musí být umístěn na přesně určeném místě tak, aby byla snímána požadovaná oblast, kterou při daném testu zkoumáme. Pokud tomu tak nebude a na fantomu bude snímána jiná oblast, než je třeba, výsledky testů nemusí vyjít správně a zkoumaný parametr bude označen za nevyhovující požadavkům výrobce pro správný provoz přístroje. Poslední zjištěnou chybou, ke které může dojít je přítomnost dalšího zdroje záření ve vyšetřovně. Přítomnost jiného zdroje může způsobit zkreslení výsledků testů, které nakonec mohou vyjít jako nevyhovující. S touto chybou také souvisí kontaminace povrchu detektoru, která může výrazně změnit výsledky testů, obzvláště testu homogenity.

Třetí a poslední výzkumnou otázkou se zjišťovalo jakým způsobem se případným chybám vyhnout. Informace k odpovědi na tuto otázku mám opět od Ing. Milana Kozáka. Abychom se vyhnuli chybám, je velice důležité používat správnou aktivitu zdroje, ale také jeho správný objem. Dále je vhodné, pokud je možno předtím, než zdroj použijeme jeho aktivitu znovu zkontrolovat. Důležité je dávat velký pozor při testech bez kolimátorů na to abychom do vyšetřovny nepřinesli zdroj s vysokou aktivitou, ale také zkontrolovat, aby ve vyšetřovně nebyl přítomen žádný další zdroj, který by mohl výsledky testů zkreslovat. Dal-



ším poznatkem pro předcházení chyb, je jednak používání přesně předepsaných fantomů pro jednotlivé testy, ale také jejich správné umístování a případné další kontrolování jejich pozice a to vizuálně nebo například pomocí zaměřovacích laserů. Pokud dojde ke kontaminaci povrchu detektoru je nutné detektor důkladně očistit, tak aby nedocházelo ke zhoršení snímaných dat.

Obecně lze říci, že při testech se musí pečlivě dodržovat doporučení výrobce a také dodržovat jím určené postupy a pomůcky, které k testům používáme. Tím je možné předjít případným chybám a špatným výsledkům.

## ZÁVĚR

Zkoušky provozní stálosti v nukleární medicíně jsou velice důležité pro zajištění správného fungování všech přístrojů na pracovišti, aby oddělení bylo schopno provozu. Pokud by se zkoušky neprováděly, mohlo by dojít ke špatné interpretaci výsledků vyšetření a případně k určení špatné diagnózy, také by mohlo docházet k větší radiální zátěži jak pacientů, tak pracovníků. V současnosti je většina testů, které jsou součástí systému zabezpečení jakosti na nukleární medicíně, automatizována nebo alespoň poloautomatizována.

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část, kdy v teoretické části jsou jednotlivě popsány testy, které jsou součástí systému zabezpečení jakosti na nukleární medicíně a obecné rozdělení a popis tohoto systému. Cílem práce bylo provést a popsat testy, které jsou denně, týdně a měsíčně prováděny na SPECT/CT přístroji Symbia Intevo 2 a zjistit, zda jsou výsledky těchto testů správné. V dalším úkolem bylo porovnat testy a zajistit jak se odlišují od doporučení, které je vydané v angličtině Mezinárodní agenturou pro atomovou energii, protože v českém jazyce není pro SPECT/CT vydáno žádné doporučení. Posledním úkolem bylo zjistit a popsat nejčastější chyby, kterých se můžeme dopustit při provádění testů a následně napsat návrhy, jak chybám předcházet.

Data pro praktickou část bakalářské práce jsem čerpala při samotném provádění testů s Ing. Milanem Kozákem, které byly provedeny 17. února 2023. Další informace pro praktickou část jsem získala při konzultacích s Ing. Kozákem, který mi poskytl cenné informace, jak k testům samotným, taky i k tomu jaké mohou být nejčastější chyby a jak se jim vyhnout.

Díky získaným informacím jsme zjistili, že všechny provedené testy vyhověly podmínkám tolerančních hodnot a že provedené testy se, až na test linearity CT, liší od doporučení jen v drobných odchylkách. Dále jsme zjistili, že mezi nejčastější chyby při testech patří: použití špatné aktivity zdroje, špatné umístění fantomu a přítomnost dalšího zdroje v blízkosti přístroje. Těmto chybám se nejlépe předejde tak, že se budeme pečlivě držet předepsaných pokynů, které pro daný test a přístroj, určil výrobce.

Tato práce může sloužit pro přiblížení problematiky studentům, popřípadě pracovníkům nukleární medicíny, které by toto téma zajímalo. Popřípadě může práce sloužit jako příručka pro vyvarování se chyb při provádění testů.

## SEZNAM LITERATURY

1. **SÚJB.** Radiační ochrana. *Systém zabezpečení jakosti na pracovištích nukleární medicíny - přístrojová technika.* [Online] květen 1999. [Citace: 5. říjen 2022.] [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/15\\_pristrojova\\_technika.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/15_pristrojova_technika.pdf).
2. **Ústav nukleární medicíny 1. LF UK a VN Praha.** *Nukleární medicína.* Jilemnice : Gentiana , 2002. ISBN 80-86527-05-0.
3. **Kupka, Karel, Kubiniy, Josef a Šámal, Martin.** *Nukleární medicína .* Praha : P3K, 2007. ISBN 978-80-903584-9-2.
4. **SÚJB.** Radiační ochrana. *Radiační ochrana v nukleární medicíně - systém kontrol detekční a zobrazovací techniky.* [Online] 2019. [Citace: 15. říjen 2022.] [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske\\_ozareni/Doporuceni\\_NM/pracovni\\_verze\\_pristrojova\\_technika.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske_ozareni/Doporuceni_NM/pracovni_verze_pristrojova_technika.pdf).
5. **Koranda, Pavel.** *Nukleární medicína .* Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 987-80-244-4031-6.
6. **Ullmann, Vojtěch.** Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření. *AstroNuklFyzika.* [Online] [Citace: 8. listopad 2022.] <https://astronuklfyzika.cz/strana2.htm>.
7. **EFOMP.** EFOMP'S GUIDELINE. *QUALITY CONTROLS IN PET/CT AND PET/MR.* [Online] 2. březen 2022. [Citace: 15. září 2022.] [https://www.efomp.org/uploads/e2e10e2c-a608-4ee2-8340-617e547323e9/QC%20Pet%20CT%20MR\\_one\\_column.pdf](https://www.efomp.org/uploads/e2e10e2c-a608-4ee2-8340-617e547323e9/QC%20Pet%20CT%20MR_one_column.pdf).
8. **Urbánek, Jan a kolektiv.** *Nukleární medicína.* Praha : Gentiana Jilemnice, 2000. ISBN 80-902133-9-1.
9. **Kupka, Karel a Kubiniy, Jozef a Šámal, Martin.** *Nukleární medicína 6. vydání.* Praha : P3K, 2015. ISBN 978-80-87343-60-9.
10. **Malán, Alexander.** *Vybrané kapitoly z nukleární medicíny.* Plzeň : Klinika zobrazovacích metod FN Plzeň, 2013.

11. **IAEA.** IAEA International human health series. *SPECT/CT atlas of quality control and image artefacts*. [Online] 2019. [Citace: 23. únor 2023.] [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1860\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1860_web.pdf). ISBN 978-92-0-159219-4.

12. **ATOMOVÝ ZÁKON.** 263/2016 Sb. §68. *Zákony pro lidi*. [Online] [Citace: 10. 12 2022.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>.

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha A – Vybrané testy denní kontroly šumu CT
- Příloha B – Vybrané testy denní kontroly homogenity CT
- Příloha C – Vybrané testy měsíční kontroly řezu CT
- Příloha D – Vybrané testy měsíční kontroly homogenity CT
- Příloha E – Vybrané testy měsíční kontroly šumu CT

# PŘÍLOHY

## Příloha A – Vybrané testy denní kontroly šumu CT

Obrázek 11: Výsledky vybraných testů denní kontroly šumu

Test parametry		Test Výsledky	OK
Napětí	80 kV		
Proud	173 mA		
Rekonstruovaná tloušťka vrstvy	4.00 mm		
Počet obrazů	2		
Kolimace	2x4.00mm		
Doba skenu	1.5 s		
Doba rotace	1.5 s		
Oblast	Tělo		
Kernel	S80s		
Poloměry ROI	40 mm		

výsledek		Napětí
Napětí		79.8 kV
Tolerance:		72.0 ... 88.0

Test parametry		Test Výsledky	OK
Napětí	130 kV		
Proud	80 mA		
Rekonstruovaná tloušťka vrstvy	5.00 mm		
Počet obrazů	1		
Kolimace	2x2.50mm		
Doba skenu	1.5 s		
Doba rotace	1.5 s		
Oblast	Hlava		
Kernel	H31s		
Poloměry ROI	40 mm		

výsledek		Napětí
Napětí		129.6 kV
Tolerance:		117.0 ... 143.0

výsledek		Sigma
Vrstva1		4.60 lp/cm
Tolerance:		4.08 ... 4.98

Zdroj: vlastní

## Příloha B – Vybrané testy denní kontroly homogenity CT

Obrázek 12: Výsledky vybraných testů denní kontroly homogenity

Test:		Test Výsledky	OK
Test parametry			
Proud	173 mA		
Rekonstruovaná tloušťka vrstvy	5.00 mm		
Počet obrazů	1		
Kolimace	2x2.50mm		
Doba skenu	1.5 s		
Doba rotace	1.5 s		
Oblast	Hlava		
Poloměr středního ROI	10.00 mm		
Poloměr periferního ROI	10.00 mm		

Výsledky měření hodnoty vody	
Vrstva1	-0.77 HU
Tolerance:	-4.00 ... 4.00

výsledek					
	Střed	Rozdíl 3	Rozdíl 6	Rozdíl 9	Rozdíl 12
Vrstva1	-0.77 HU	0.09 HU	0.22 HU	0.27 HU	0.15 HU
Tolerance:	-4.00 ... 4.00	-4.00 ... 4.00	-4.00 ... 4.00	-4.00 ... 4.00	-4.00 ... 4.00

Test:		Test Výsledky	OK
Test parametry			
Proud	100 mA		
Rekonstruovaná tloušťka vrstvy	4.00 mm		
Počet obrazů	2		
Kolimace	2x4.00mm		
Doba skenu	0.8 s		
Doba rotace	0.8 s		
Oblast	Tělo		
Poloměr středního ROI	10.00 mm		
Poloměr periferního ROI	10.00 mm		

Výsledky měření hodnoty vody	
Vrstva1	-1.18 HU
Vrstva2	-0.92 HU
Tolerance:	-4.00 ... 4.00

výsledek					
	Střed	Rozdíl 3	Rozdíl 6	Rozdíl 9	Rozdíl 12
Vrstva1	-1.18 HU	0.09 HU	0.01 HU	0.00 HU	0.63 HU
Vrstva2	-0.92 HU	0.17 HU	0.23 HU	0.41 HU	0.78 HU
Tolerance:	-4.00 ... 4.00	-4.00 ... 4.00	-4.00 ... 4.00	-4.00 ... 4.00	-4.00 ... 4.00

Zdroj: vlastní

## Příloha C – Vybrané testy měsíční kontroly řezu CT

Obrázek 13: Výsledky vybraných testů měsíční kontroly řezu

Test:		Test Výsledky	OK
Test parametry			
Rekonstruovaná tloušťka vrstvy	5.00 mm		
Počet obrazů	1		
Kolimace	2x2.50mm		
Oblast	Hlava		

výsledek		výsledek
Vrstva1		5.15 mm (5.20)
Tolerance:		4.20 ... 6.00

Test:		Test Výsledky	OK
Test parametry			
Rekonstruovaná tloušťka vrstvy	4.00 mm		
Počet obrazů	2		
Kolimace	2x4.00mm		
Oblast	Tělo		

výsledek		výsledek
Vrstva1		3.96 mm (3.91)
Tolerance:		3.00 ... 4.91
Vrstva2		4.15 mm (4.11)
Tolerance:		3.11 ... 5.00

*Zdroj: vlastní*



## Příloha D – Vybrané testy měsíční kontroly homogenity CT

Obrázek 14: Výsledky vybraných testů měsíční kontroly homogenity

Test parametry		Test Výsledky	OK
Proud	173 mA		
Rekonstruovaná tloušťka vrstvy	5.00 mm		
Počet obrazů	1		
Kolimace	2x2.50mm		
Doba skenu	1.5 s		
Doba rotace	1.5 s		
Oblast	Hlava		
Poloměr středního ROI	10.00 mm		
Poloměr periferního ROI	10.00 mm		

Výsledky měření hodnoty vody	
Vrstva1	-0.80 HU (0.25)
Tolerance:	-3.75 ... 4.00

výsledek	Střed	Rozdíl 3	Rozdíl 6	Rozdíl 9	Rozdíl 12
Vrstva1	-0.80 HU (0.25)	0.23 HU (-0.28)	0.18 HU (-0.25)	0.08 HU (-0.34)	0.23 HU (-0.31)
Tolerance:	-3.75 ... 4.00	-2.28 ... 1.72	-2.25 ... 1.75	-2.34 ... 1.66	-2.31 ... 1.69

Test parametry		Test Výsledky	OK
Proud	100 mA		
Rekonstruovaná tloušťka vrstvy	4.00 mm		
Počet obrazů	2		
Kolimace	2x4.00mm		
Doba skenu	0.8 s		
Doba rotace	0.8 s		
Oblast	Tělo		
Poloměr středního ROI	10.00 mm		
Poloměr periferního ROI	10.00 mm		

Výsledky měření hodnoty vody	
Vrstva1	-1.67 HU (-0.74)
Tolerance:	-4.00 ... 3.26
Vrstva2	-1.79 HU (-0.88)
Tolerance:	-4.00 ... 3.12

výsledek	Střed	Rozdíl 3	Rozdíl 6	Rozdíl 9	Rozdíl 12
Vrstva1	-1.67 HU (-0.74)	0.58 HU (0.08)	1.27 HU (0.33)	0.99 HU (0.42)	0.67 HU (0.02)
Tolerance:	-4.00 ... 3.26	-1.92 ... 2.08	-1.67 ... 2.33	-1.58 ... 2.42	-1.98 ... 2.02
Vrstva2	-1.79 HU (-0.88)	1.15 HU (0.75)	0.50 HU (0.63)	0.93 HU (0.92)	1.07 HU (0.59)
Tolerance:	-4.00 ... 3.12	-1.25 ... 2.75	-1.37 ... 2.63	-1.08 ... 2.92	-1.41 ... 2.59

Zdroj: vlastní

## Příloha E – Vybrané testy měsíční kontroly šumu CT

Obrázek 15: Výsledky vybraných testů měsíční kontroly šumu

Test:		Test Výsledky	
Test parametry			OK
Napětí	110 kV		
Proud	173 mA		
Rekonstruovaná tloušťka vrstvy	4.00 mm		
Počet obrazů	2		
Kolimace	2x4.00mm		
Doba skenu	1.5 s		
Doba rotace	1.5 s		
Oblast	Tělo		
Kernel	S80s		
Poloměry ROI	40 mm		
výsledek		Napětí	
Napětí		109.6 kV (110.0)	
Tolerance:		99.0 ... 121.0	
Test:		Test Výsledky	
Test parametry			OK
Napětí	130 kV		
Proud	80 mA		
Rekonstruovaná tloušťka vrstvy	5.00 mm		
Počet obrazů	1		
Kolimace	2x2.50mm		
Doba skenu	1.5 s		
Doba rotace	1.5 s		
Oblast	Hlava		
Kernel	H31s		
Poloměry ROI	40 mm		
výsledek		Napětí	
Napětí		129.6 kV (130.0)	
Tolerance:		117.0 ... 143.0	
výsledek		Sigma	
Vrstva1		4.57 lp/cm (4.69)	
Tolerance:		4.22 ... 4.98	

Zdroj: vlastní