



Protokol o výsledku projektu

Poskytovatel podpory	Ministerstvo průmyslu a obchodu
Účastníci projektu	ADVACAM s.r.o. Radalytica a.s. Univerzita Karlova, 1. LF
ID projektu	FV 30413
Název projektu	Plně spektrální zobrazovací systém malých zvířat
Program	FV – TRIO
Termín zahájen a ukončení projektu	01/2018 – 12/2020
Název výsledku	Testovací systém
Typ výsledku	Funkční vzorek
Odpovědný účastník	Radalytica a.s.
Termín dosažení	12/2018
Etapa a podetapa	E01, D2.2
Umístění výsledku	Radalytica a.s., U Pergamenky 1145/12, Praha 7, 170 00
Webová stránka výsledku	

Vypracoval Ing. Richard Kadeřábek

.....

Podpis

Datum: 10.1.2019

1 Účel výsledku

Funkční vzorek prototypu testovacího systému umožní jednoduchou instalaci různých typů detektorů. Bude obsahovat jak standardní detektory Widepix 1x5, tak i prototypy s Timepix3. Tento systém tak umožní jak co nejrychlejší začátek práce na vývoji SW, tak i testování zobrazovacích vlastností používaných detektorů. První skener umožní i testování využitelnosti Comptonové kamery pro SPECT, protože umožní kombinaci detektorů do vrstev. Bude také testována vzájemná synchronizace dvou a více Timepix3 detektorů.

Testovací systém vyvíjený v průběhu prvního roku projektu dle zadání projektu kombinuje transmisní RTG zobrazování včetně tomografického zobrazení prostřednictvím výpočetní tomografie, a dále emisní zobrazování ve smyslu Single Photon Emission Tomography (SPECT) pro otevřené radioizotopy o energiích do 140 keV (Tc99m). Zároveň systém umožňuje rentgen-fluorescenční (XRF) akvizici s pomocí externího zdroje brzdného rentgenového záření. Systém je používán a bude je testován ve vhodném stíněném boxu, je připojen k akvizičnímu počítači, který zároveň ovládá i rotaci systému a nastavení expozičních parametrů na rentgenkách.

2 Popis výsledku

2.1 Design systému

Podmínkou získání tomografických počítačových rekonstrukcí je zhotovení systému, který se okolo testovaného objektu otáčí. Proto je celý systém detektorů a rentgenek umístěn na rotační platformě, která má požadované mechanické vlastnosti a umožňuje rotaci celého systému okolo zobrazovaného vzorku.

2.2 Rotační platforma

Rotační platforma je schopná otáčet celým komplexem detektorů a zdrojů rentgenového záření. Požadavky kladené na tuto platformu lze shrnout do bodů:

1. Montážní vlastnosti – platforma musí poskytovat dostatečné množství montážních otvorů pro její uchycení ke kostře systému a dostatek montážních otvorů k uchycení všech potřebných držáků.
2. Nosnost – platforma musí být schopna nést a rotovat systémem zdrojů a detektorů včetně stínění SPECT detektorů, jehož hmotnost se bude blížit 20 kg.
3. Motorické vlastnosti (akcelerace, decelerace, plynulost pohybu).
4. Obsahuje enkodér pro přesné měření nastavené polohy.

5. Řízení – možnost inkorporovat ovládání motorů a čtení polohy enkodéru do ovládacího softwaru.

2.3 Transmisní zobrazování

Pro transmisní zobrazení je nutné, aby zdroj brzdného záření (rentgenka) byl umístěn naproti detekčnímu systému tvořenému chipy řádkového detektoru a aby celou plochu detektoru svým primárním svazkem pokryl.

Pro účely testovacího systému jsou užity dva detektory (WidePIX 1x5), které jsou umístěny symetricky proti sobě, a dvě rentgenky, každá pokrývající primárním svazkem svůj protilehlý detektor.

Výhodou použití dvou detektorů a dvou rentgenek je redukce potřebné rotace systému z 360° na 180°, což velmi zjednodušuje řešení vedení potřebné kabeláže a přívodu vodního chlazení detektorů. Synchronizace rotačního pohybu zobrazovacího systému a akvizic detektorů je realizována prostřednictvím vyvíjeného proprietárního softwaru.

2.4 Emisní zobrazování

Pro emisní zobrazování (PET/SPECT) je nutné, aby zorné pole detektorů směřovalo do středu rotace, kde je umístěn zkoumaný vzorek. Zároveň je nutné každý detektor pro SPECT osadit speciálním kolimátorem a zabránit detekování rozptýleného záření vznikajícího uvnitř systému, které by výsledný snímek hrubě znehodnocovalo, účinným stíněním těchto detektorů. Kolimátory jsou zároveň odnímatelné pro měření PET.

Pro účely testovacího systému budou opět použity dva symetricky umístěné detektory s jednochipovým senzorem Timepix3, které opět, jako ve výše uvedeném případě, redukuje úhel rotace potřebný k plnohodnotné SPECT rekonstrukci na 180°. Zároveň slouží jako platforma pro PET měření, kde se detekují v koincidenci anihilační fotony 511 keV, které vyletují z místa anihilace v protilehlých směrech.

Před chip senzoru je umístěn vhodný kolimátor (pinhole), který vytváří kameru na principu dírkové komory, využívajícím přímočaré šíření fotonů. Velikost obrazu (tj. měřítko zobrazení) závisí na vzdálenosti zobrazovaného objektu od otvoru kolimátoru. Pokud je vzdálenost zobrazovaného předmětu od otvoru menší než vzdálenost otvoru od senzoru zobrazovacího detektoru, poskytuje dírková kamera zvětšené zobrazení ("optický zoom") s vysokým prostorovým rozlišením. Větší předmětovou vzdálenost může naopak poskytnout zmenšený obraz velkého předmětu, čehož bude užito v našem konkrétním systému. Pinhole je jediným typem scintigrafických kolimátorů, který je v širokém rozmezí (desítky až stovky keV záření gama) energeticky jen málo závislý a zároveň kompaktní. Proto je vhodný pro toto použití oproti například rentgenové optice.

Každý z detektorů emisního zobrazování je umístěn ve speciálním stínícím pouzdře, které brání dopadů rozptýlených sekundárních fotonů na aktivní detekční plochu senzoru. Tím je zajištěno,

že na senzor dopadnou pouze fotony, které prošly otvory kolimátorů a ne fotony, které se rozptýlily např. na konstrukčních prvních systému za detektorem.

2.5 Kostra systému

Celý systém je koncipován tak, aby fungoval jako klasický CT přístroj pro humánní medicínu: tj. rotační platforma s připevněnými detektory a zdroji brzdného záření je umístěna vertikálně tak, aby se zkoumaný vzorek (fantom nebo myš v preklinickém zobrazování) mohl nacházet v zorném poli systému a byl stacionární, tj. systém se kolem něho volně otáčel v rozsahu 180°. Celá konstrukce musí být dostatečně tuhá, aby nedocházelo k deformacím či vibracím během rotačního pohybu platformy s držáky detektorů a rentgenek okolo testovaného vzorku.

3 Detailní specifikace výsledku

3.1 Konstrukce systému

3.1.1 Rotační platforma

Jako základní prvek rotační platformy byl použit stolek Standa 8MR190-90-59-MEn2.



Rotační platforma

Otáčení	360° průběžně	
Stepper Motor	4247 (1,2 A, 200 kroků)	
Rozlišení	6,75 arcsec	
Opakovatelnost	72 arcsec (oboustranně)	
Max. rychlost	10 ot./min.	
Nosnost	horizontální	60 kg
	radiální	25 kg
Hmotnost	6,6 kg	

Na horní otočnou desku je připevněna montážní deska kruhového tvaru, na kterou jsou připevněny všechny potřebné držáky.



Montážní kruhová deska

3.1.2 Transmisní zobrazování

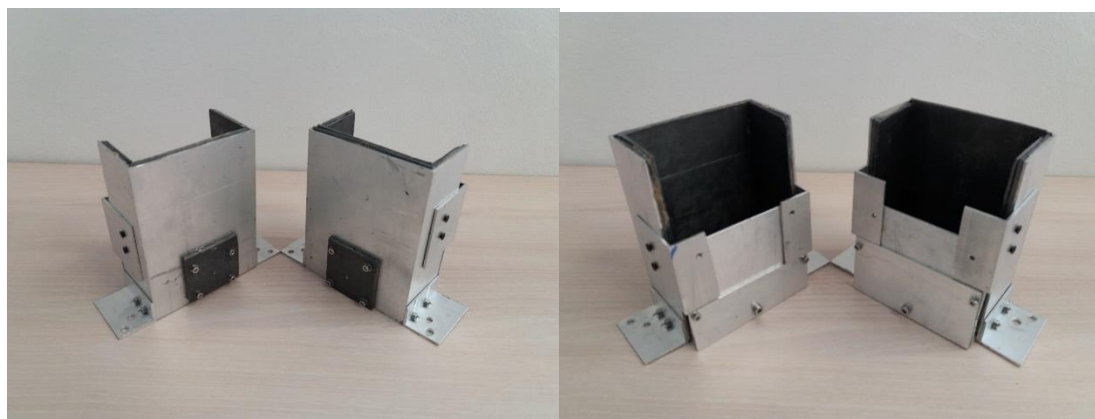
Jako zdroje rentgenového záření jsou použity rentgenky Oxford Instruments Apogee 5500 s generátory vysokého napětí Oxford Shasta, které umožňují maximální výkon 50W při napětí 50kVp a velikost ohniska 35 μm . Použity jsou pak dva detektory Advacam WidePIX 1x5.

Detektor a rentgenka jsou umístěny proti sobě tak, aby rentgenka nad protilehlým detektorem svým primárním svazkem pokrývala celou detekční plochu detektoru. Středů obou detekčních ploch detektorů a výstupní okénka rentgenek jsou orientovány ke středu rotace celého systému. Každá rentgenka pak shora zešikma pokrývá svým primárním svazkem protilehlý detektor. Detektor a nad ním umístěnou rentgenku nese speciální držák uchycený k montážní desce na rotační platformě. Tato geometrie jednak umožňuje použití dvou párů rentgenka-detektor a zároveň simuluje geometrii systému, který bude vyvíjen v dalším kroku. Tj. systému, který bude kombinovat stacionární kruhový detektor se prstencem rentgenek.

3.1.3 Emisní zobrazování

Pro detekci fotonů emitovaných z otevřeného radionuklidu přítomného ve vzorku jsou použity dva detektory Advacam AdvAPIX TPX3.

Oba detektory jsou uchyceny k montážní podstavě hliníkovým držákem ve tvaru L a dále jsou zasazeny do stínících krabiček vyrobených z hliníku a vylepených celkem 4 mm olova. Před senzorem je připevněný Pinhole kolimátor vyrobený z celkem 4 mm olova s malou dírkou nad středem chipu detektoru. Celková tloušťka stínění pak zaručuje pohlcení všech rozptýlených fotonů vznikajících uvnitř systému interakcemi primárních fotonů s kovovými částmi ostatních komponentů.



Držáky detektorů se stíněním a pinhole kolimátorem

3.1.4 Kostra systému

Pro zhotovení kostry systému byla zvolena hliníková stavebnicová konstrukce ITEM.



Kostra systému

Zvolené stavebnicové řešení umožňuje ladění geometrie systému v návaznosti na prvotní měření pro co nejjednodušší úpravy vlastností systému, zároveň splňuje pevnostní i antivibrační požadavky.

3.1.5 Postýlka pro malé savce

Testovací zařízení bylo vybaveno postýlkou pro malé savce zkonstruované firmou Radalytica s.r.o. a vytištěné na 3D tiskárně. Postýlka byla vyrobena tiskem z průsvitného materiálu PLA na 3D tiskárně (tloušťka stěn 1 mm). Zvolený materiál zajišťuje minimální útlum fotonu procházejících stěnami postýlky. Postýlka se skládá se ze dvou částí:

- 1) Fundament, na němž je testovaný subjekt fixován předními řezáky v poloze ležmo. Čelní stěna je opatřena třemi otvory o průměru 4 mm pro přívod:
 - anesteziologického plynu smíšeného s teplým vzduchem pro udržení testovaného subjektu (malého savce) při fyziologické tělní teplotě,
 - možných monitorovacích čidel nebo zaváděcích kanyl pro testování.

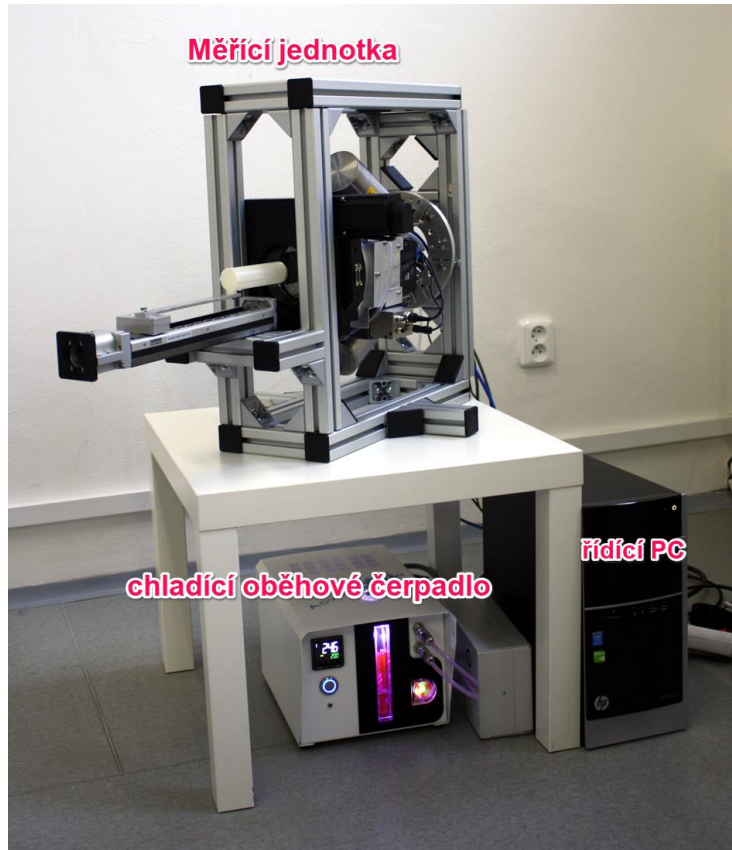
- 2) Záklop, který má v čelní stěně otvor pro odvod temperované anesteziologické směsi.

Postýlka bude v měřítku zvětšena pro zkoumání větších savců do velikosti potkanů.

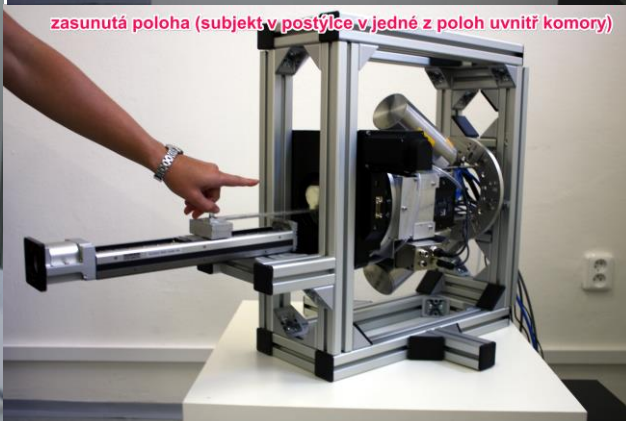
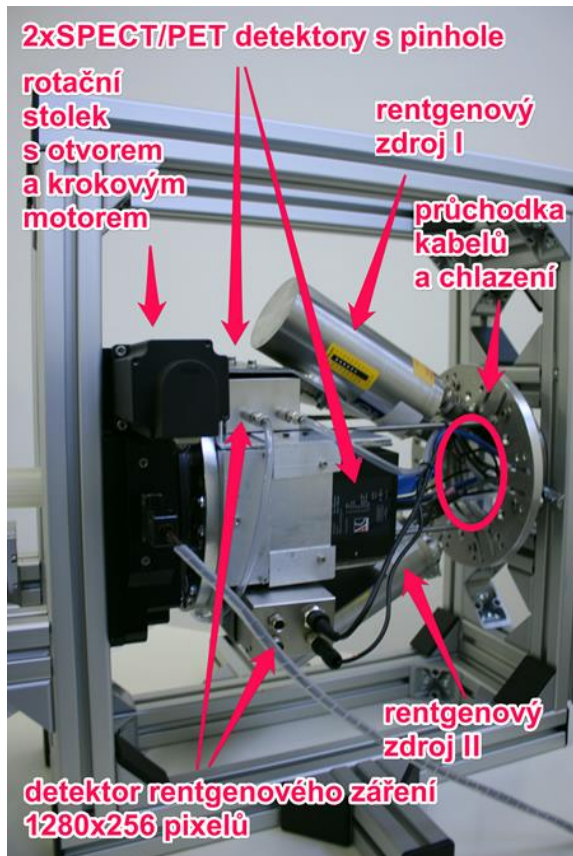
4 Prezentace výsledku

4.1 Testovací systém

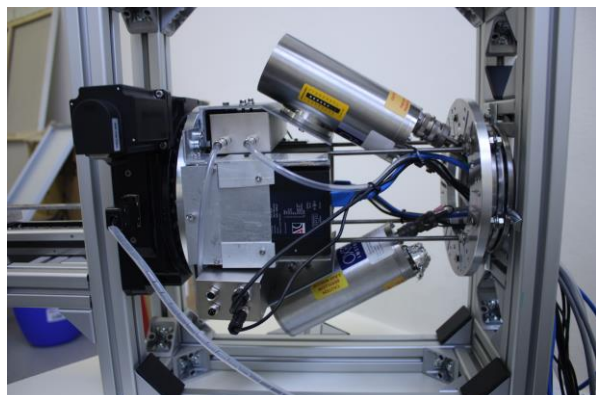
Užitím všech výše vyjmenovaných prvků byl sestaven testovací systém, do kterého byly integrovány všechny požadované prvky.



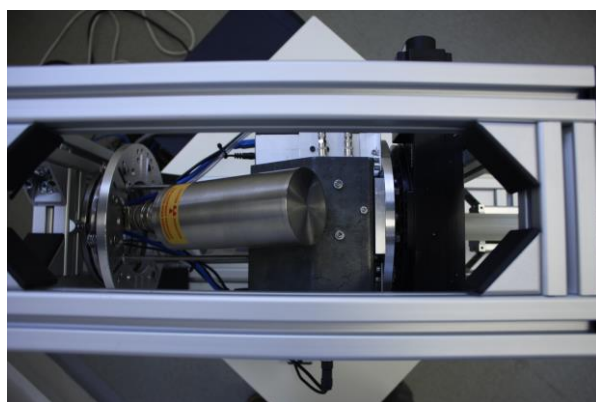
Testovací systém FullSpect (1.iterace)



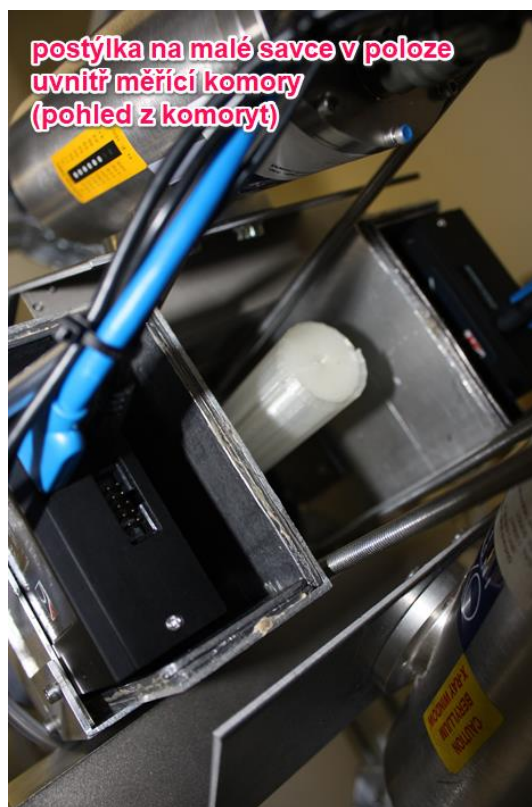
Detailní pohledy na měřicí část testovacího systému



Detailní pohledy na měřicí část testovacího systému



Detailní pohledy na měřicí část testovacího systému



Detailní pohledy na měřicí část testovacího systému



Detailní pohledy na měřicí část testovacího systému

Všechny komponenty navržené pro první prototyp byly úspěšně integrovány a otestovány. Systém podává očekávané výsledky, tyto budou nadále použity pro vývoj a optimalizaci finálního prototypu testovacího systému.

První prototyp testovacího systému má následující specifikace:

- Rozměry: 85 x 42 x 54 cm (délka x šířka x výška).
- Hmotnost 42 kg.
- Rozlišení voxelů v rekonstruovaných objemech je 0,055 mm³.

5 Literatura

- [1] DEWARAJA, Y. K., M. LJUNGBERG a K. F. KORAL. Accuracy of ¹³¹I tumor quantification in radioimmunotherapy using SPECT imaging with an ultra-high-energy collimator: Monte Carlo study. *Journal Of Nuclear Medicine: Official Publication, Society Of Nuclear Medicine* [online]. 2000, **41**(10), 1760-7 [cit. 2020-04-07]. ISSN 01615505.
- [2] <https://imagej.net/Deconvolution>
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Point_spread_function