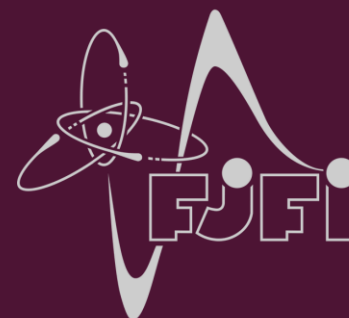


MODELOVANÍ CBCT A SOUVISEJÍCÍCH POHYBOVÝCH ARTEFAKTŮ

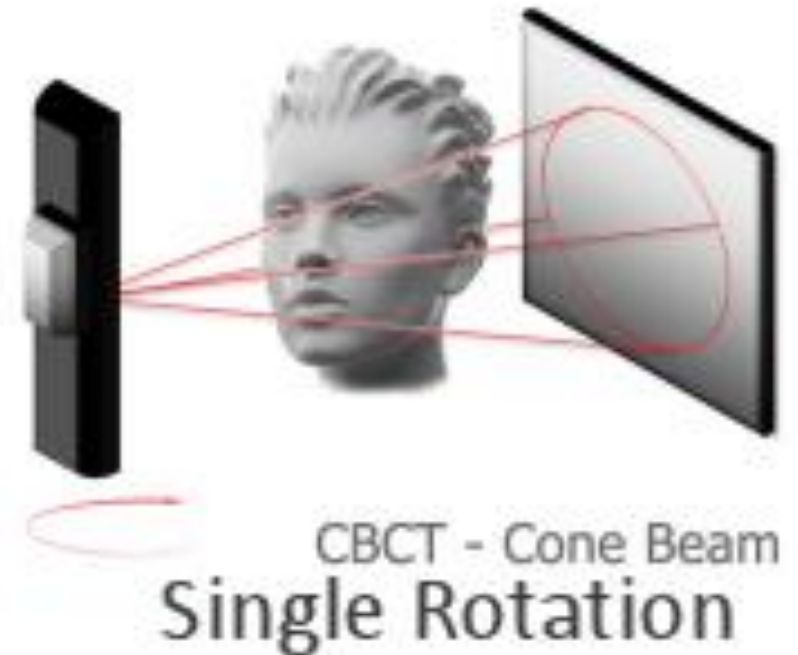
AUTOR: ANNA POVOLNÁ

VEDOUCÍ: MARTIN STEINER



ZAMĚŘENÍ TUMORŮ

- IGRT – využití zobrazovacích metod k verifikaci či k řízení pozice pacienta při ozařování
- 2D
 - Portálové MV 2D snímky – terapeutický svazek (6 MV + EPID)
 - Kombinace kV-MV snímkování
 - kV 2D snímky – přídatný zobrazovací systém (OBI, XVI)
- 3D
 - kV fan beam CT
 - MV fan beam CT (tomoterapie)
 - MV cone beam CT
 - **kV cone beam CT**



ARTEFAKTY VE SNÍMCÍCH KV CBCT

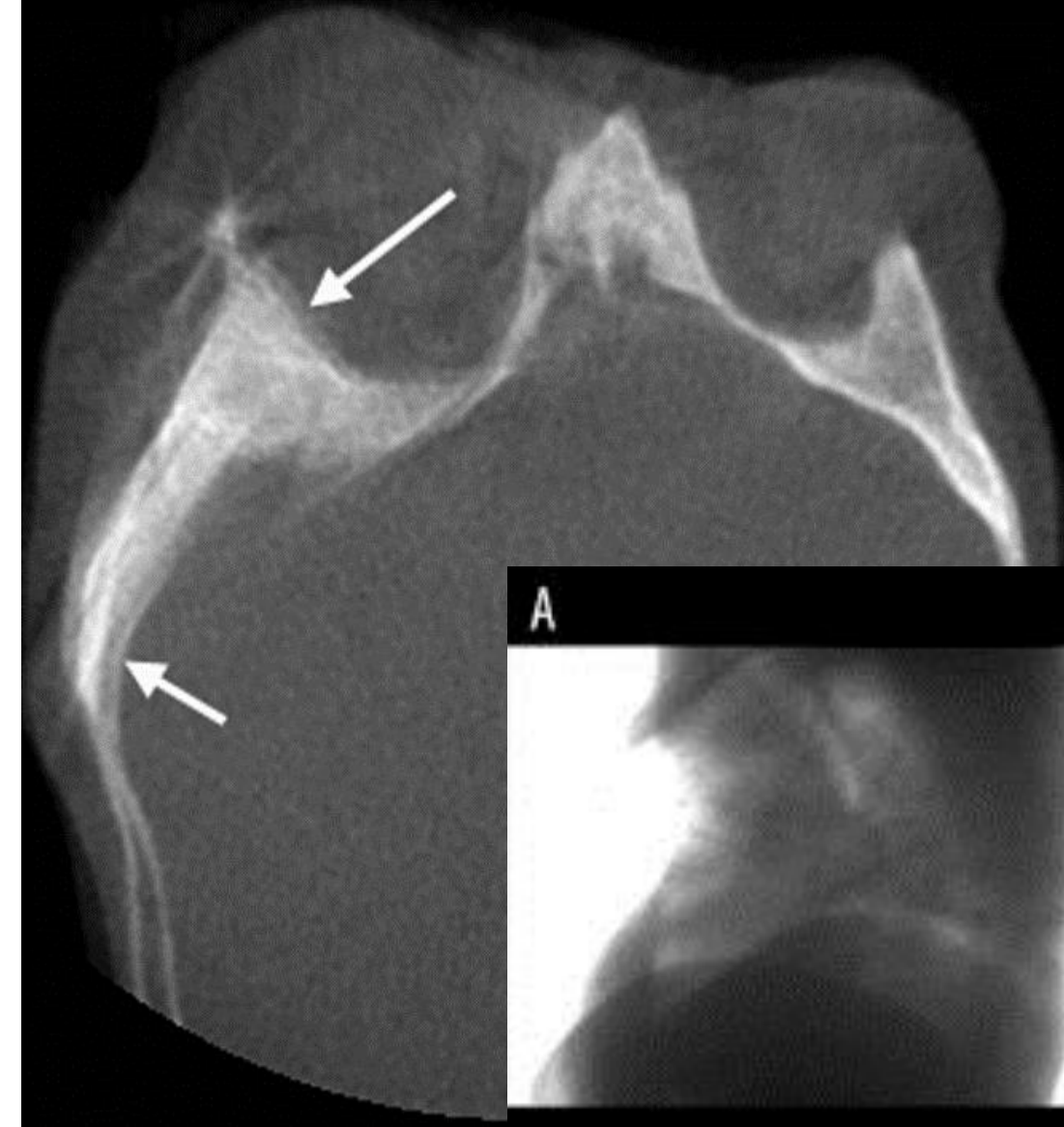
- Kruhové artefakty
 - Odezva detekčních elementů není stejná
 - Korekční mapa z homogenního fantomu
- Tvrdnutí svazku
 - Kosti, kovy (zeslabení je jiné než pro vodu)
- Rozptyl
 - Významný pro široký svazek, redukuje se korekčními algoritmy
- Aliasing
 - Podvzorkování snímaného objemu (Moire patterns)
 - Větší počet projekcí na rotaci, lepší interpolace a sofistikovanější zpětná projekce
- Šum
- **Pohybové artefakty – způsobené pohybem pacienta**

ANALÝZA DÝCHÁNÍ

- 500 ml vzduchu na jeden nádech
- 12 – 20 nádechů za minutu
- Dechový cyklus v průměru trvá 3-5 s
- Poměr výdech/nádech se udává 2:1, nebo spíš nádech-výdech-pauza s poměry 1:1:1

	RV+ERV+TV [l]	Δ [%]
Ženy	2,3	21,7
Muži	2,8	17,9

BARRETT, Kim E. *Ganong's review of medical physiology*. 24th ed. New York: McGraw-Hill Medical, 2012. Lange medical book. ISBN 978-1-259-00962-4.



- Respiration-Correlated Cone-Beam CT
 - Předpoklad pravidelného dýchání
- Motion-Compensated Cone-Beam CT
 - Analytické algoritmy
 - Iterativní algoritmy



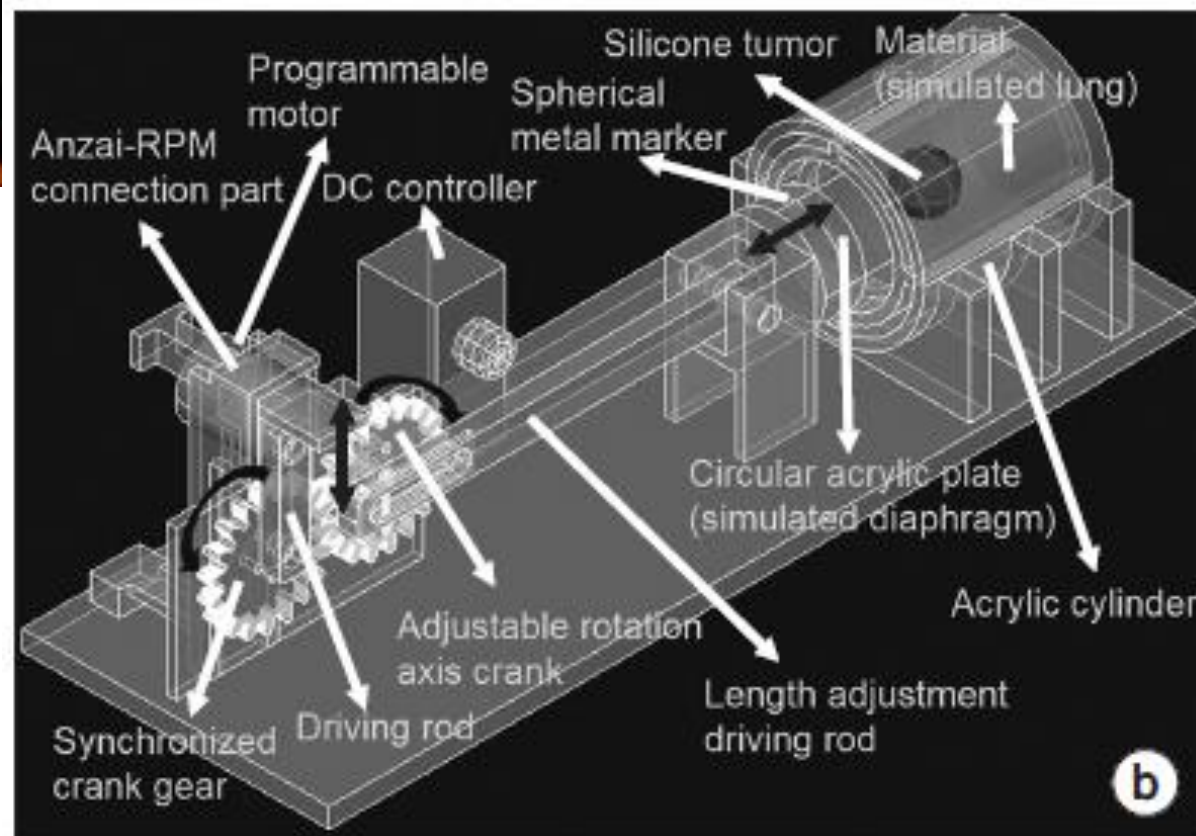
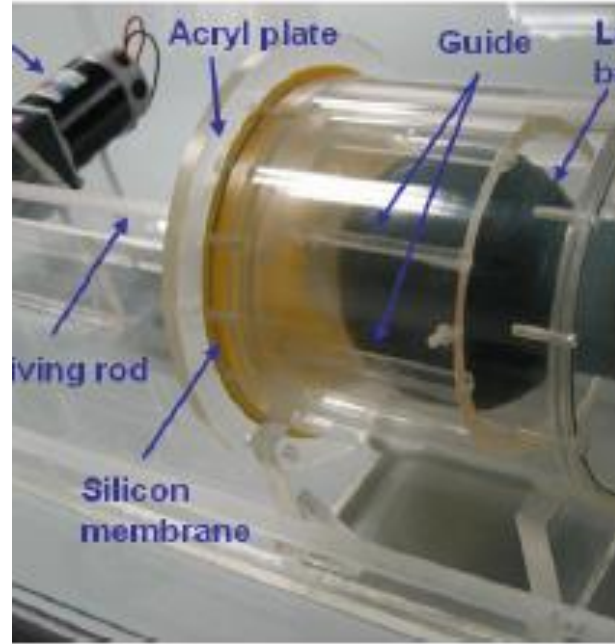
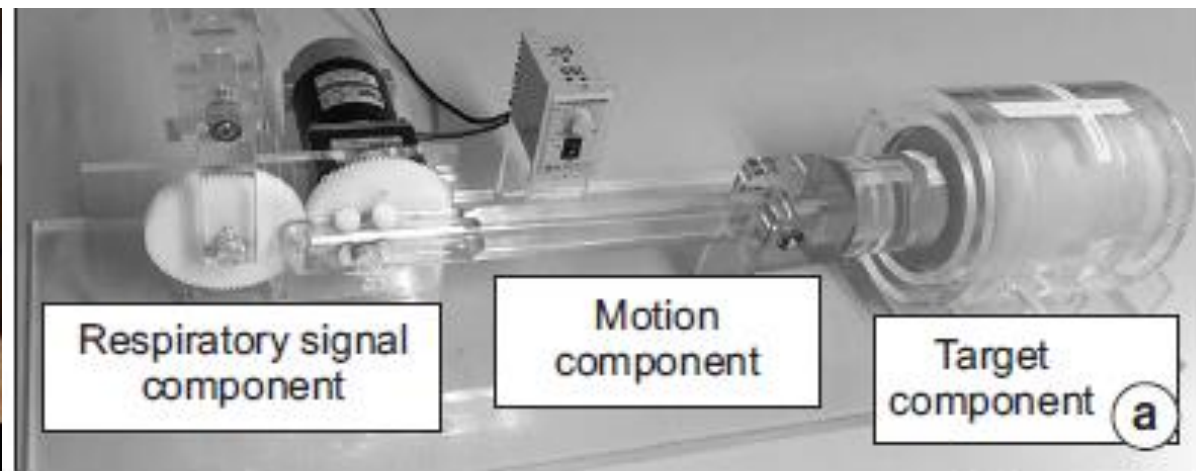
SHEPHERD, Justin. Applications of linac-mounted kilovoltage Cone-beam Computed Tomography in modern radiation therapy: A review. *Polish Journal of Radiology* [online]. 2014, **79**, 181-193 [cit. 2018-10-02]. DOI: 10.12659/PJR.890745. ISSN 0137-7183.

Dostupné z: <http://www.polradiol.com/abstract/index/idArt/890745>

CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

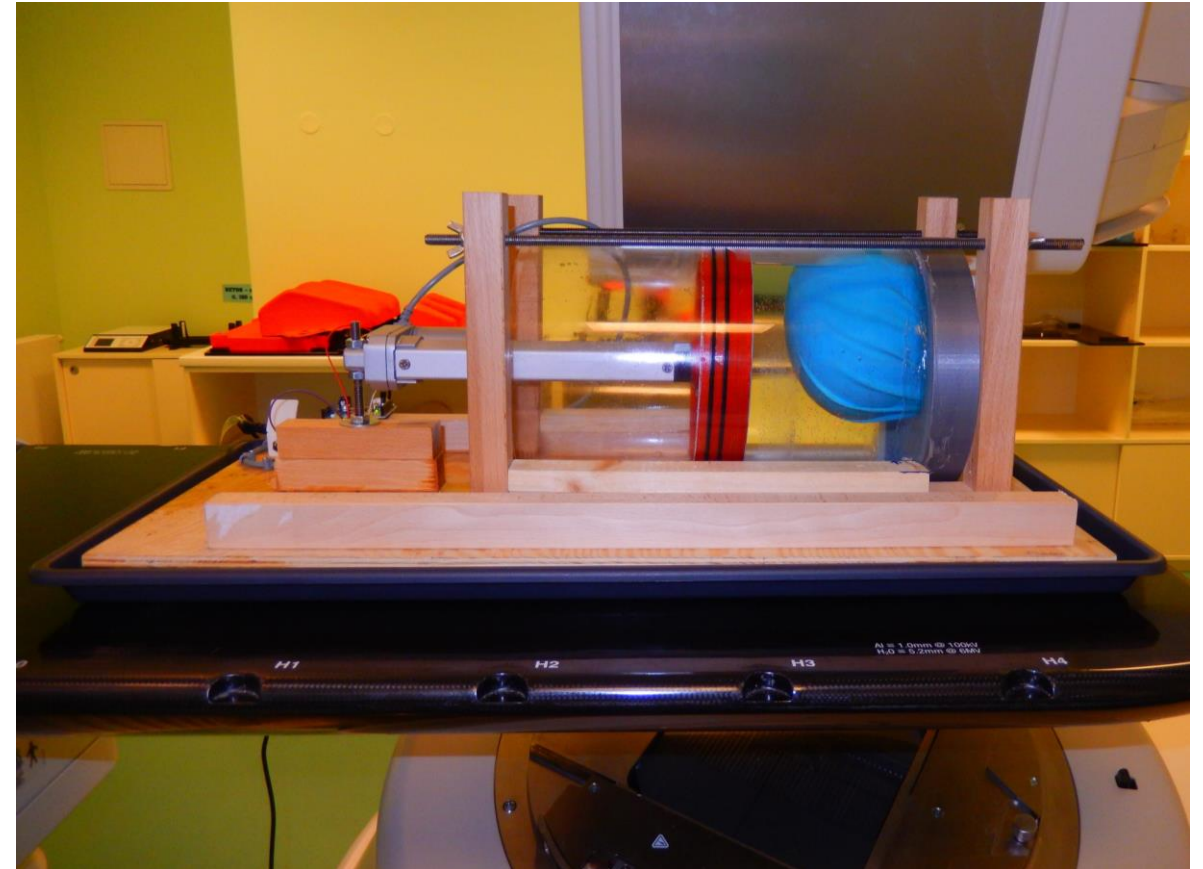
Navrhnout experimentální či výpočetní metody umožňující zkoumání pohybových artefaktů v CBCCT

- Pohyblivý dýchací fantom
 - Ve fantomu dochází ke změně objemu
 - Nastavitelné parametry (např. amplituda, frekvence) pohybu (dýchání) pro analýzu jejich vlivu na vznik artefaktů
- Virtuální model fantomu
 - Kvalita produkováných artefaktů dosahuje úrovně jako u fyzického fantomu
 - Netrpí technickými nedostatky a je možné libovolně nastavit parametry pohybů (dýchacích či svazku)
- Srovnání naměřených artefaktů s artefakty vytvořenými simulací



KONSTRUKCE POHYBLIVÉHO DÝCHACÍHO FANTOMU

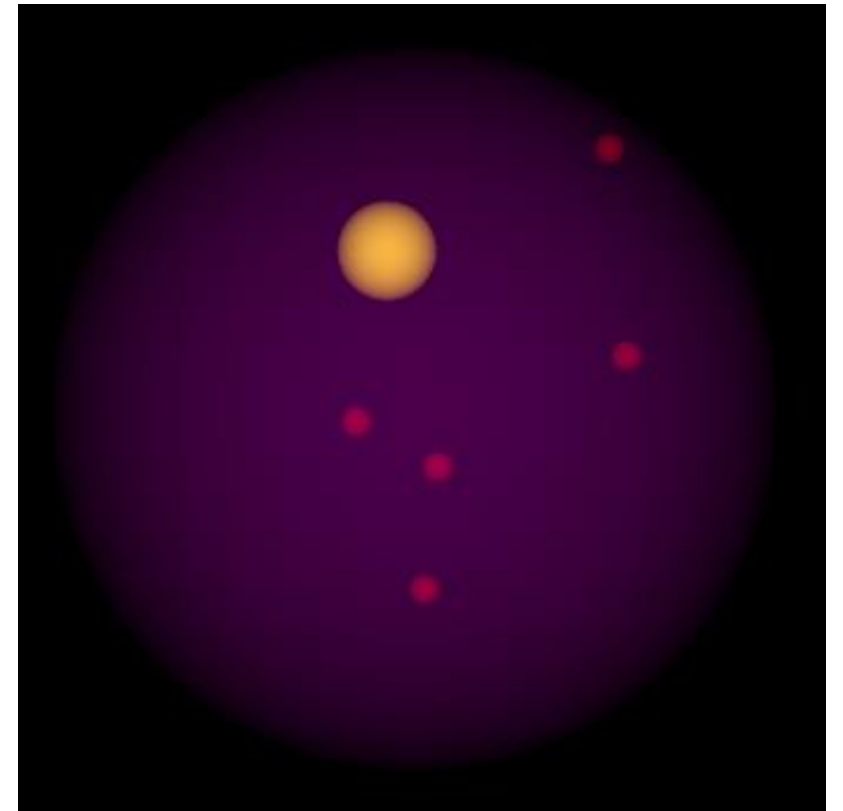
- Dřevěná kostra + závitové tyče
- PMMA trubka – vnější průměr 18 cm, tloušťka stěny 3 mm a délka 30 cm
- Latexový balonek s molitanovým míčem o průměru 118 mm + kuličky
- Víko se zátkou pro napojení balonku
- Plastový píst
- Lineární motor
- Vývojová deska Arduino UNO + H-můstek
- AC Adapter



SKLENĚNÉ KULIČKY

- Pro lepší měření artefaktů (jen posun)
- 2 rozměry
 - 16 mm průměr (1 kus)
 - 5 mm průměr (5 kusů)

Průměr [mm]	Chemické složení skla [%]							
	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	BaO	ZnO	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
16	68,0	11,0	6,0	6,0	4,0	3,0	0,1	0,6
5	80,4	4,2	-	-	-	-	13,0	2,4



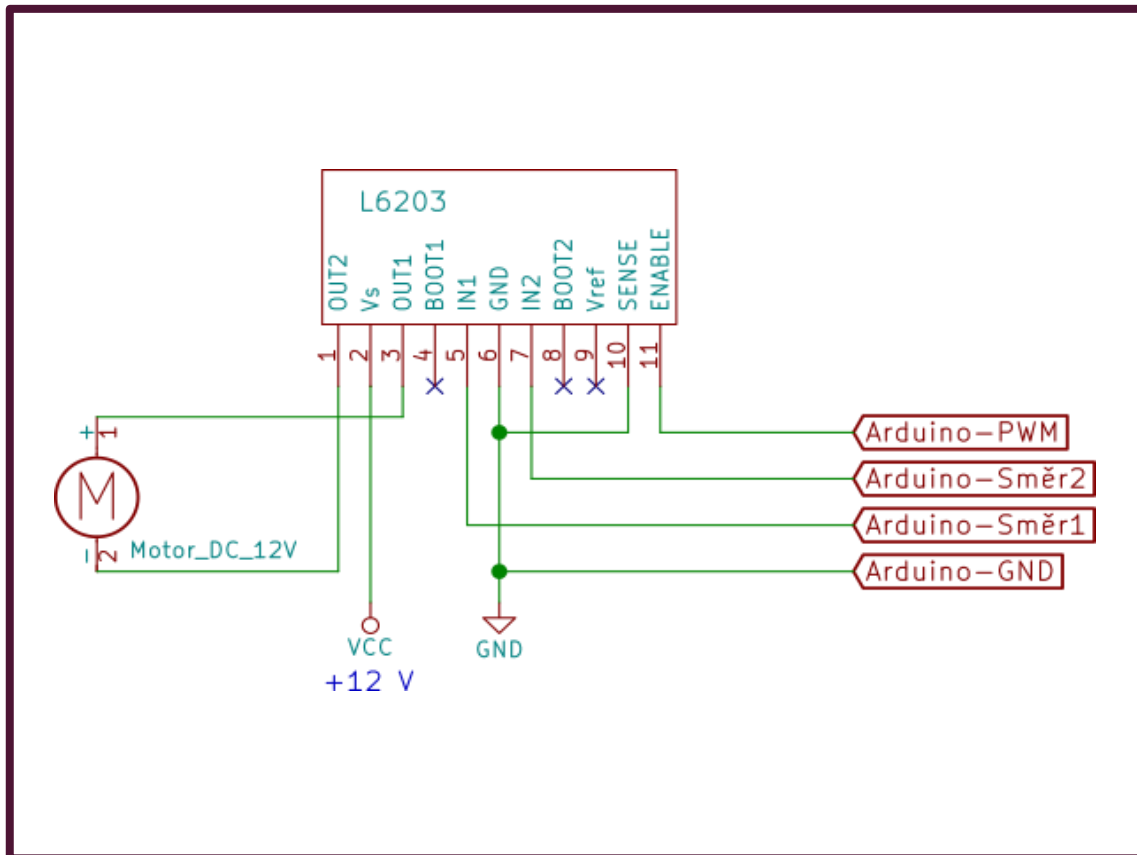
Rozložení kuliček

PLASTOVÝ PÍST

- Nejporuchovější část, v současnosti 3. verze
- Vytištěn na 3D tiskárně, povrch upraven pomocí primeru
- 1. verze
 - Nedostatečná výplň ve středu → prohýbání pístu → únik vody
- 2. verze
 - Hustší výplň ve střední části → plynulejší pohyb
- 3. verze
 - Změna struktury výplně
 - Další technické problémy → testování zatím neúspěšné



LINEÁRNÍ MOTOR A SOFTWARE FANTOMU



- motorPlice – program napsán v jazyce Wiring
- Manuální ovládání
- Nastavitelné parametry dýchací křivky (automatický pohyb)
 - Doba simulace [minuty]
 - Výkon = posun [0 – 255 jednotek]
 - Perioda dýchání [μ s]

PuTTY Configuration



Category:

- Session
 - Logging
- Terminal
 - Keyboard
 - Bell
 - Features
- Window
 - Appearance
 - Behaviour
 - Translation
 - Selection
 - Colours
- Connection
 - Data
 - Proxy
 - Telnet
 - Rlogin
 - SSH
 - Serial**

Options controlling local serial lines

Select a serial line

Serial line to connect to

Configure the serial line

Speed (baud)

Data bits

Stop bits

Parity

Flow control

About

Open

Cancel

COM3 - PuTTY

```
START

OVLADANI
Mezernik - STOP
W - zvysit vykon
S - snizit vykon
D - dopredu
A - dozadu
M - Spustit cyklus dychaci krivky

Vykon motoru: 100 (plati pouze pro manualni posun)
```

PROCES SESTAVENÍ VIRTUÁLNÍHO MODELU FANTOMU

01

Parametrizace
pohybu fantomu

- Použita data z měření
- Volba mezi $p(t)$ a $V(t)$

02

MC simulace
jednotlivých projekcí

- C++ aplikace `egs_cbct`
(EGSnrc)

03

Rekonstrukce
3D obrazu

- Toolbox ASTRA
(MATLAB)

PARAMETRIZACE

- **V(t):** $r(t) = \sqrt[3]{\frac{3V(t)}{4\pi}}$

$$V(t) = V_{max} - v_{V,vdech} \cdot t$$

$$t = \langle 0, 1600 \rangle$$

$$V(t) = V_{min}$$

$$t = \langle 1601, 2667 \rangle$$

$$V(t) = V_{min} + v_{V,nádech} \cdot t$$

$$t = \langle 2668, 4000 \rangle$$

- **p(t):** $r = \sqrt[3]{abc}$

$$p(t) = v_{p,vdech} \cdot t$$

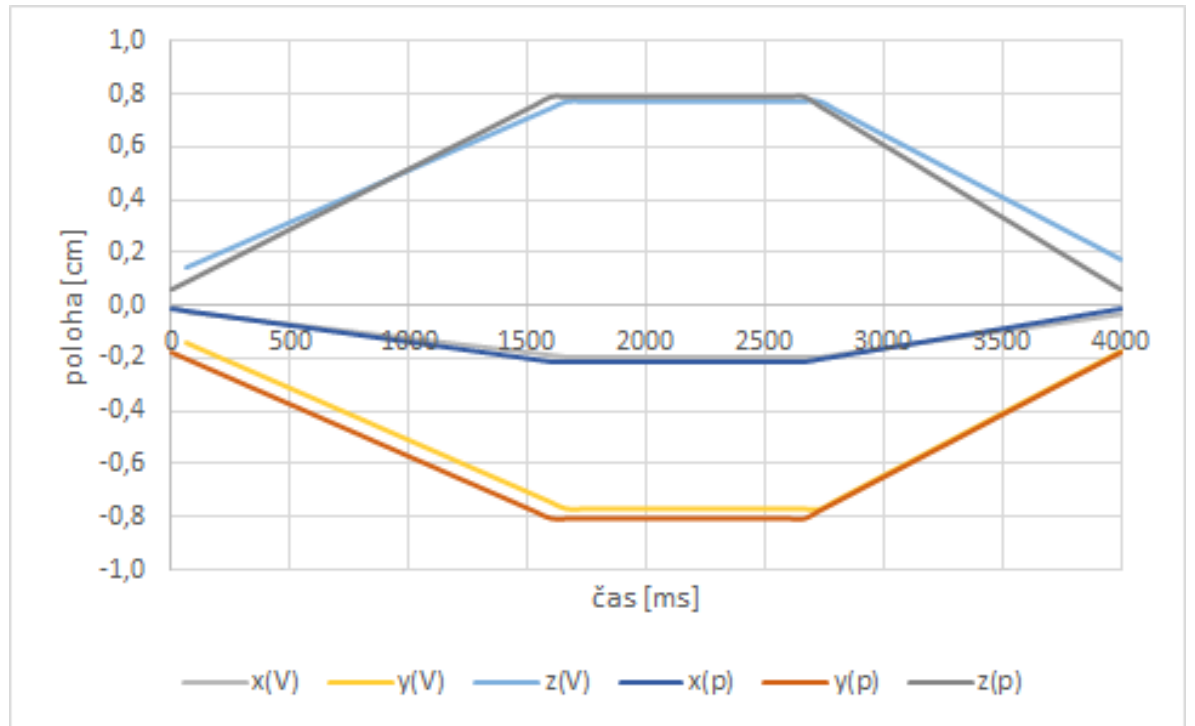
$$t = \langle 0, 1600 \rangle$$

$$p(t) = p_{max}$$

$$t = \langle 1601, 2667 \rangle$$

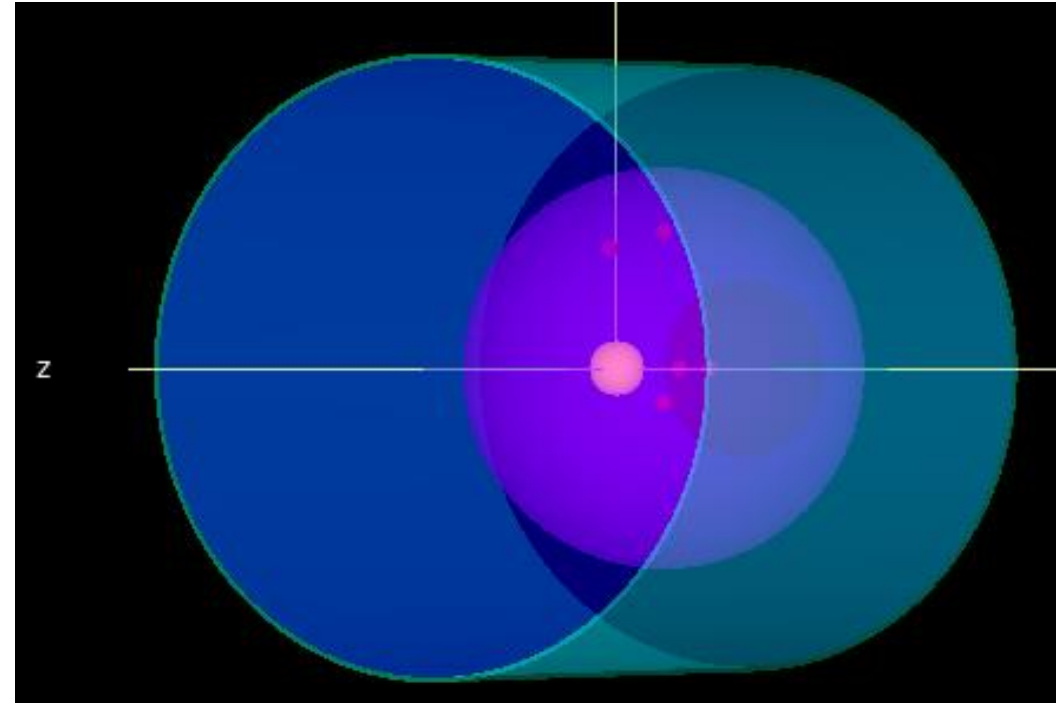
$$p(t) = p_{max} + v_{p,nádech} \cdot t$$

$$t = \langle 2668, 4000 \rangle$$

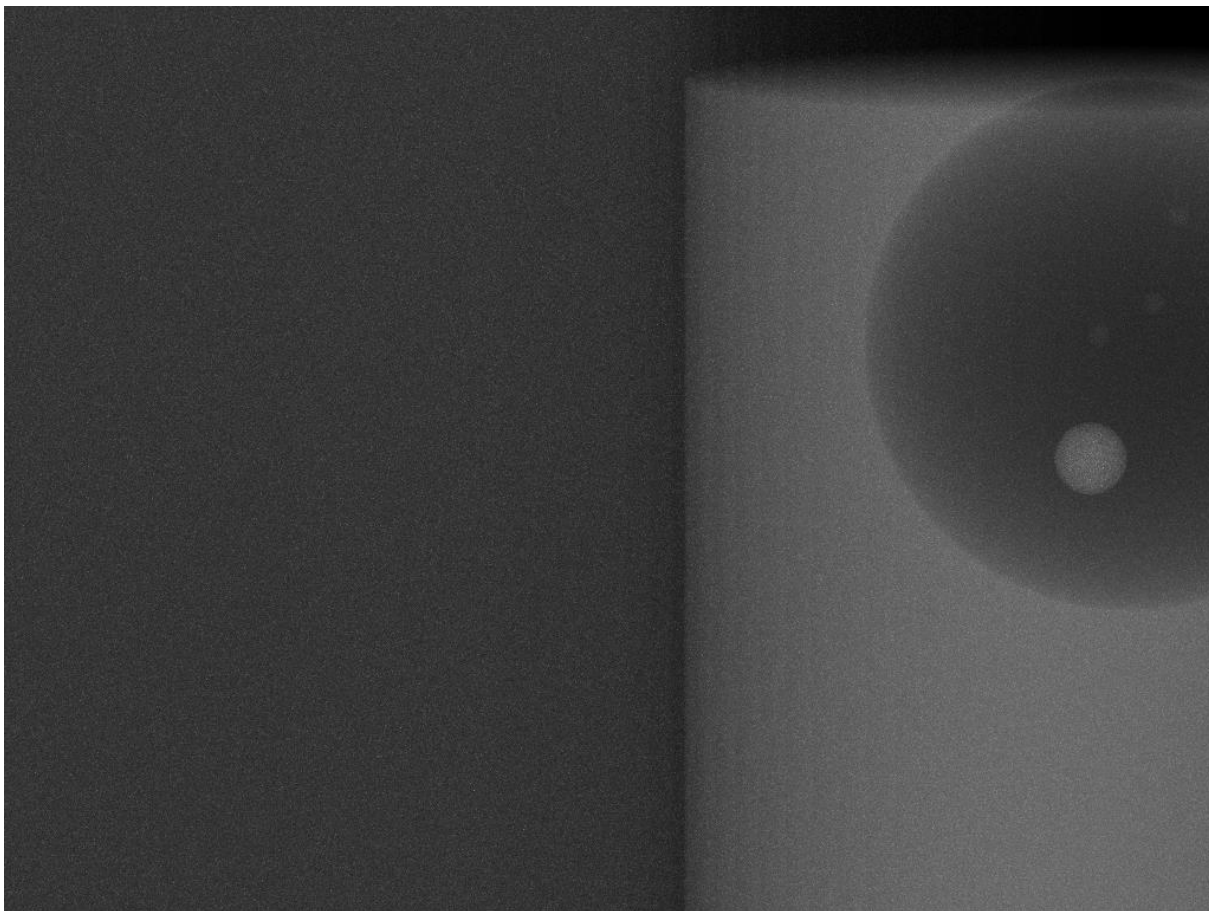


MC SIMULACE PROJEKČNÍCH SNÍMKŮ FANTOMU

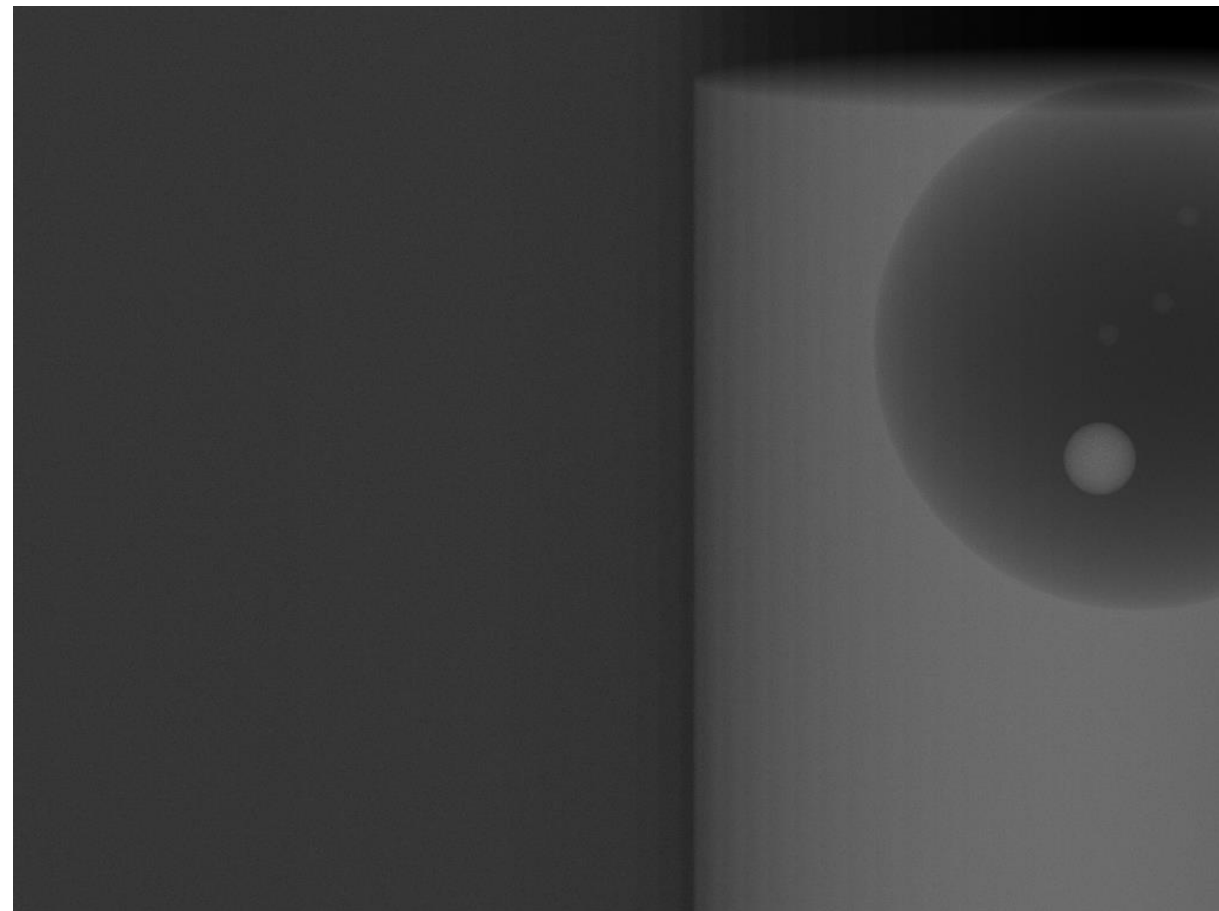
- Geometrie fantomu
 - S bowtie filtrem x bez bowtie filtru
- Zdroj
 - Monoenergetický x tabulované spektrum
- Skórovací možnosti a volba výstupu
 - Ray-tracing x planar
 - Display type: total, attenuated, scatter
- Generátor náhodných čísel
- PC s čtyřjádrovým CPU intel CORE i7-3632QM
- Výpočet nastaven na 7 vláken



VYLADĚNÍ PROJEKČNÍCH SNÍMKŮ - NCASE

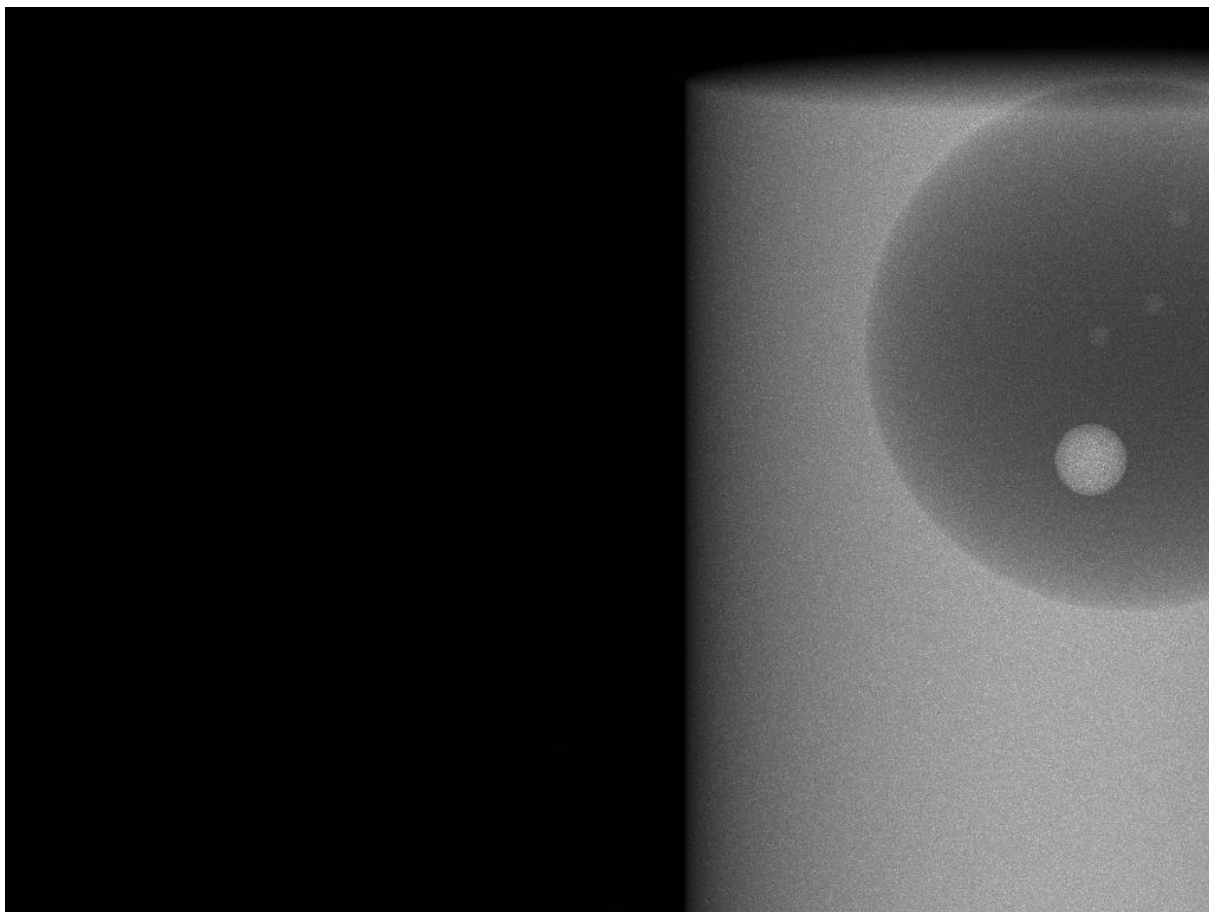


Projekce s ncase = 12 800 000

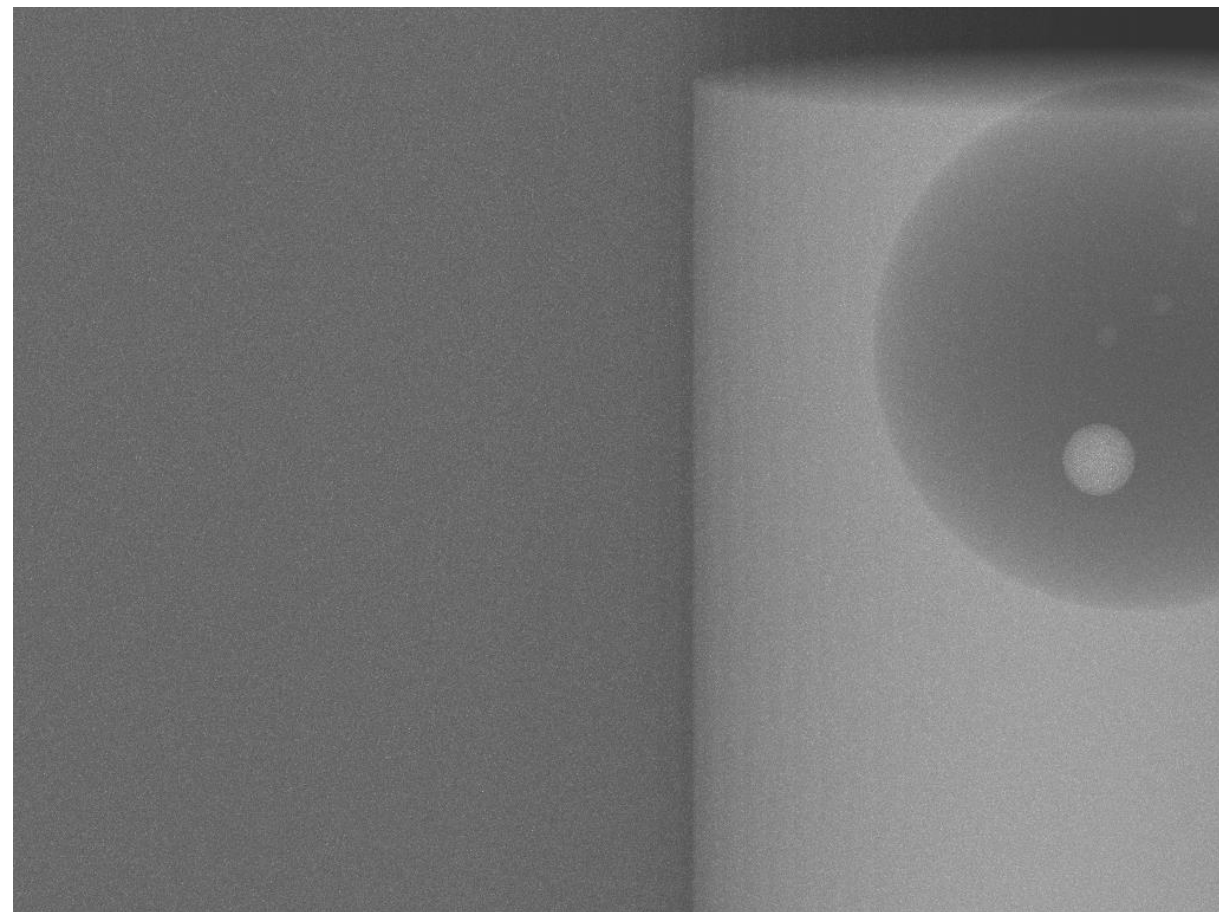


Projekce s ncase = 128 000 000

VYLADĚNÍ PROJEKČNÍCH SNÍMKŮ – BOWTIE FILTR



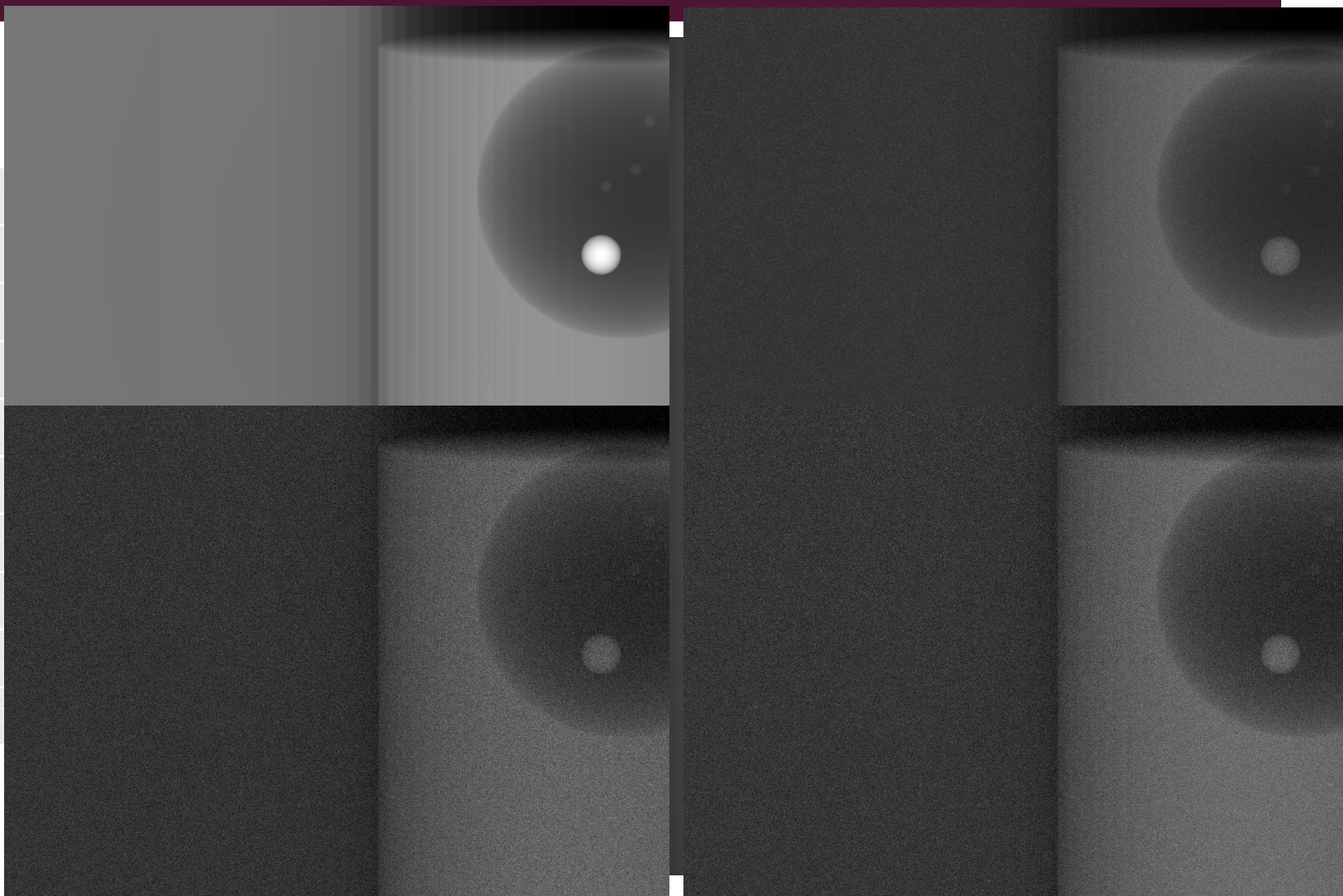
Projekce bez bowtie filtru



Projekce s bowtie filtrem

VYLADĚNÍ PROJEKČNÍCH SNÍMKŮ

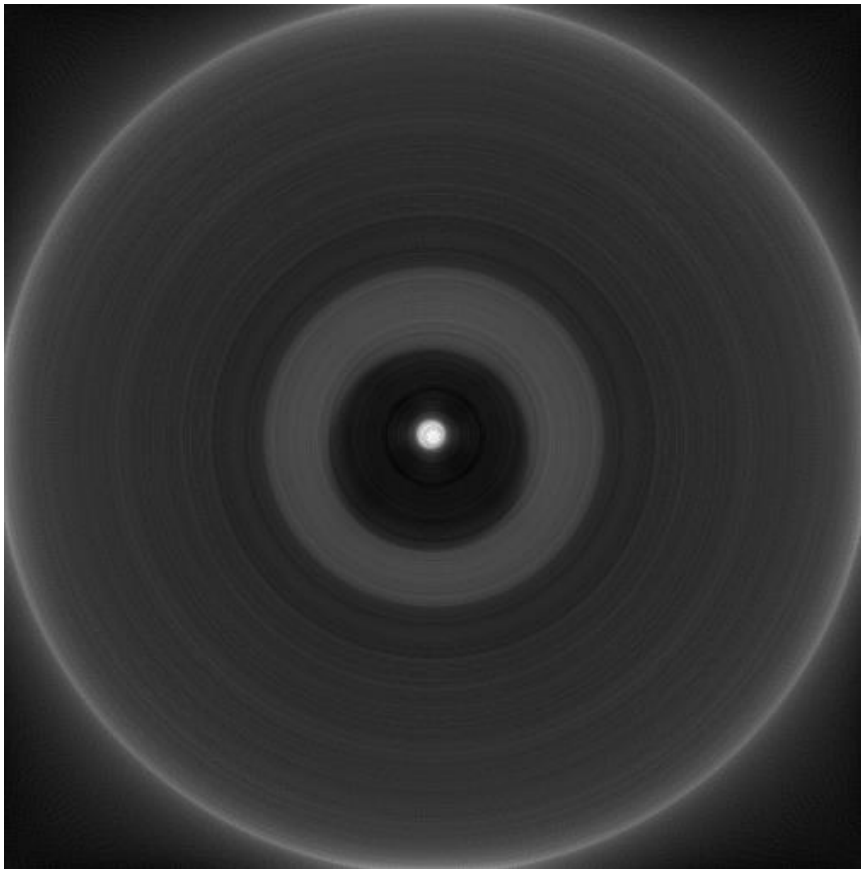
E	Cal. type	Dis. type
spek/mono	Ray/planar	total/att/scat
mono	Ray-tracing	total
mono	Ray-tracing	attenuated
mono	planar	total
mono	planar	attenuated
spektrum	Ray-tracing	total
spektrum	Ray-tracing	attenuated
spektrum	planar	total
spektrum	planar	attenuated



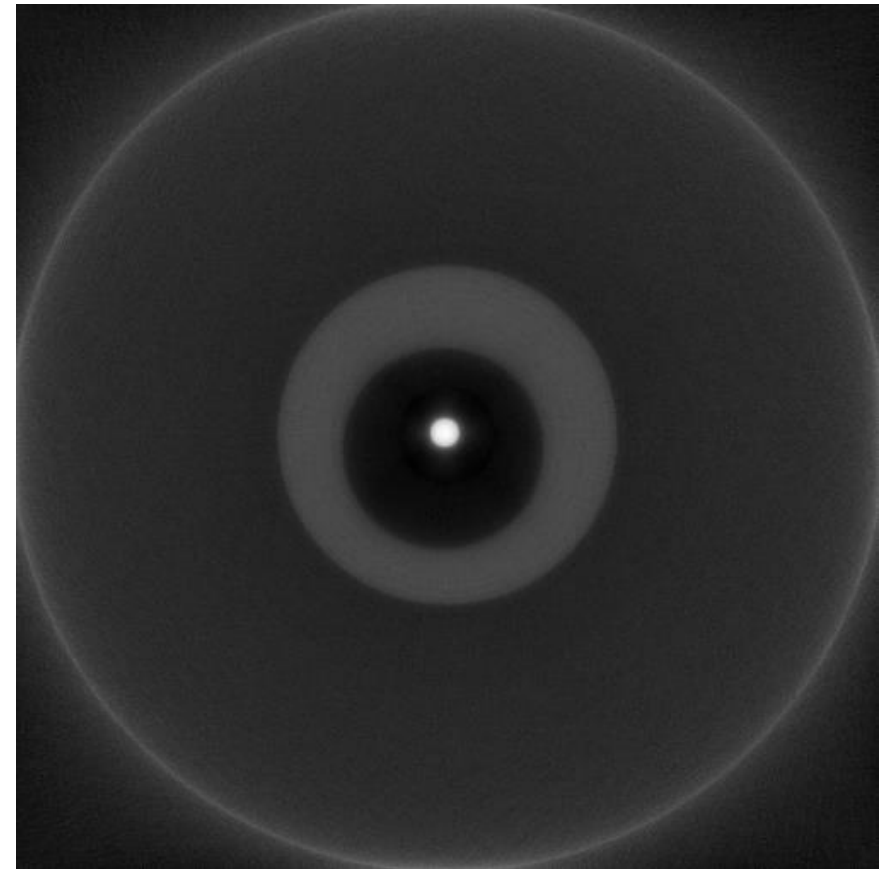
REKONSTRUKCE

- Algoritmus: SIRT3D_CUDA
- Geometrie objemu: $512 \times 512 \times 175$ px
- Projekční geometrie - zvolena 3D cone_vec beam s detektorem posunutým o 16 cm:
 - det_row_count - počet řad detektoru v jediné projekci - 768
 - det_col_count - počet sloupců detektoru v jediné projekci – 1024
- GPU NVIDIA Quadro P5000 (velikost paměti je 16 GB)
- Matlab 2017b

VYLADĚNÍ PROJEKČNÍCH SNÍMKŮ PO REKONSTRUKCI - RNG

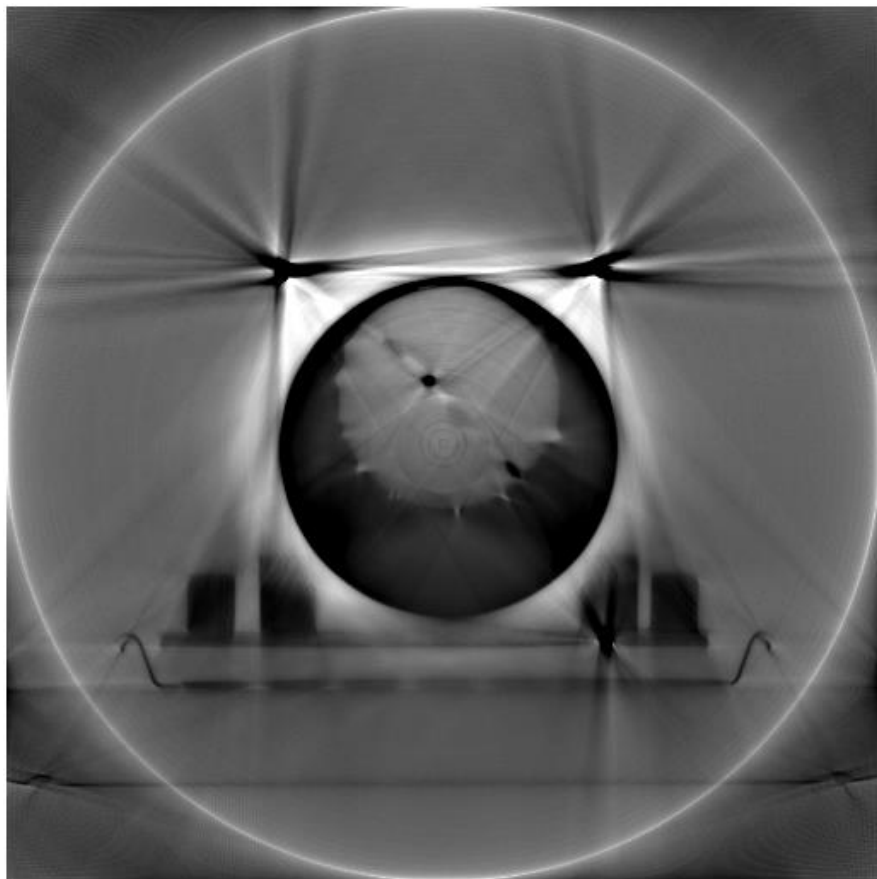


Bez změny RNG



Se změnou RNG

VÝBĚR PROJEKCÍ



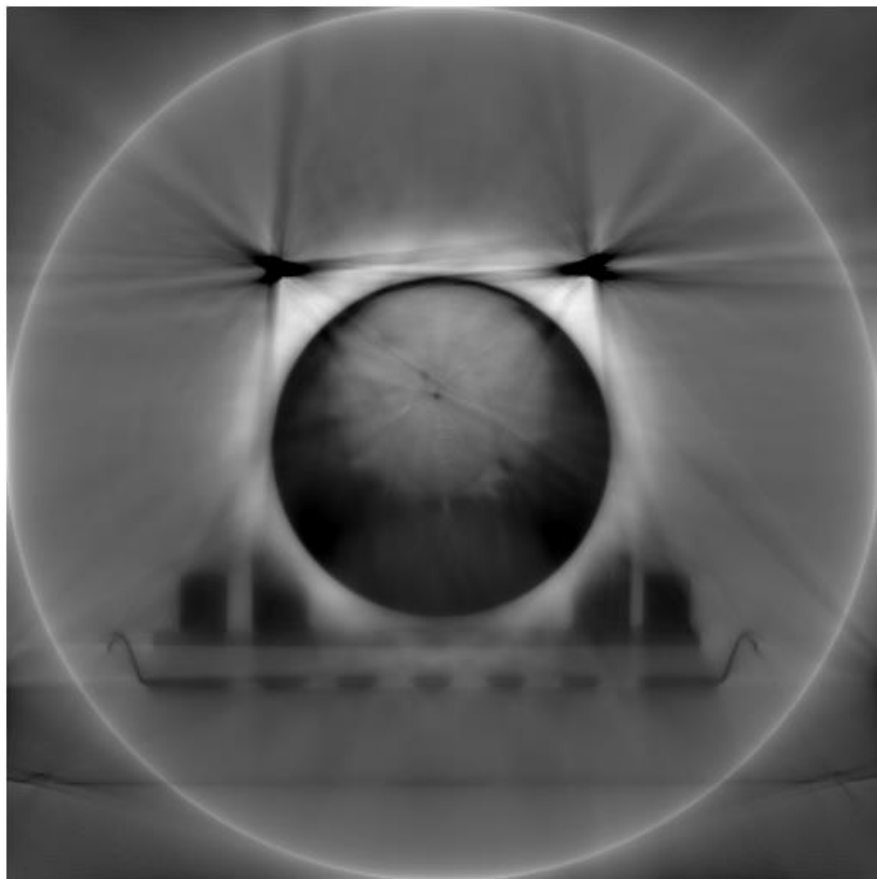
Měření



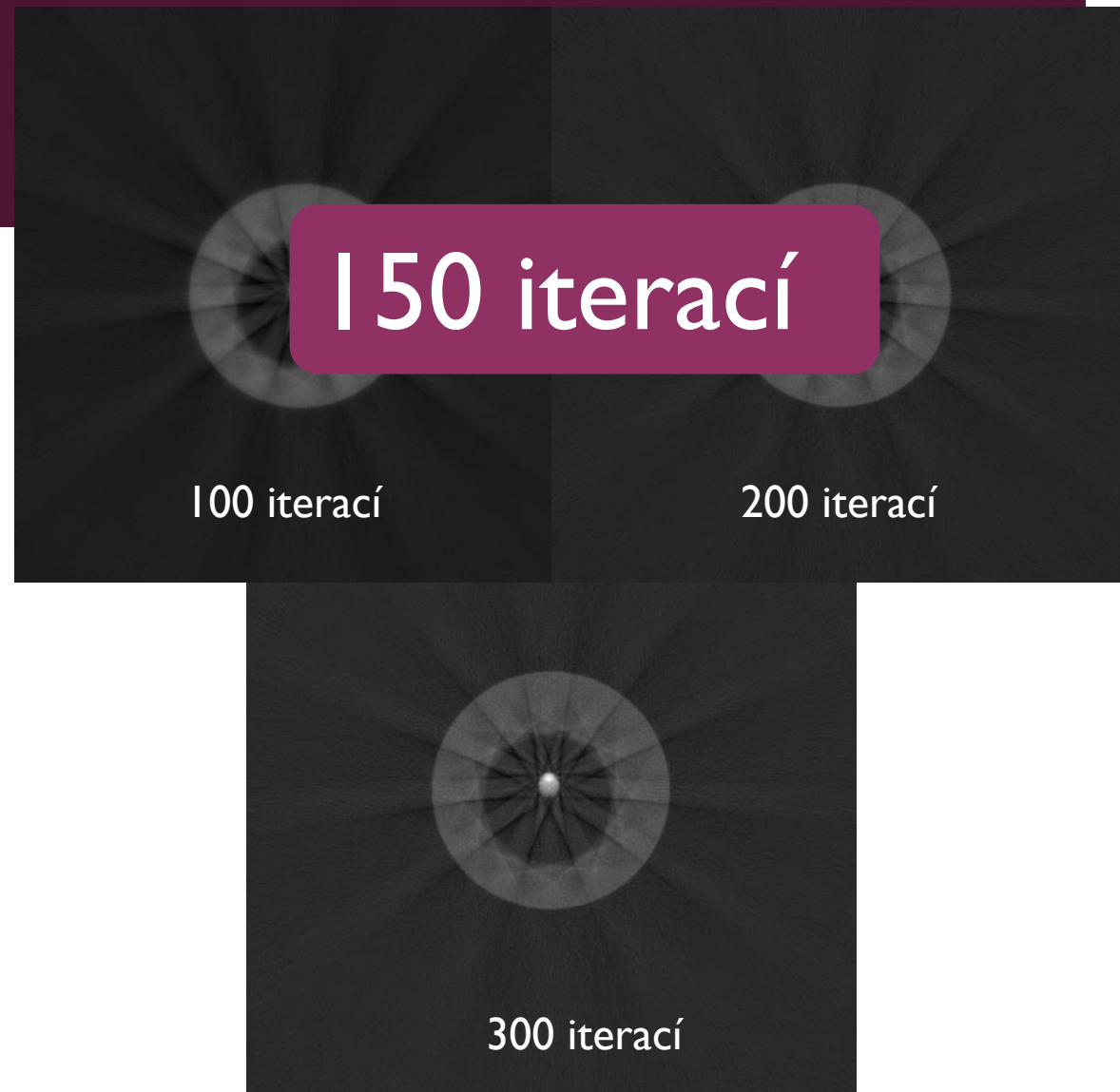
MC simulace

Pohyb

REKONSTRUKCE – POČET ITERACÍ



Měření - pohyb



Simulace - pohyb

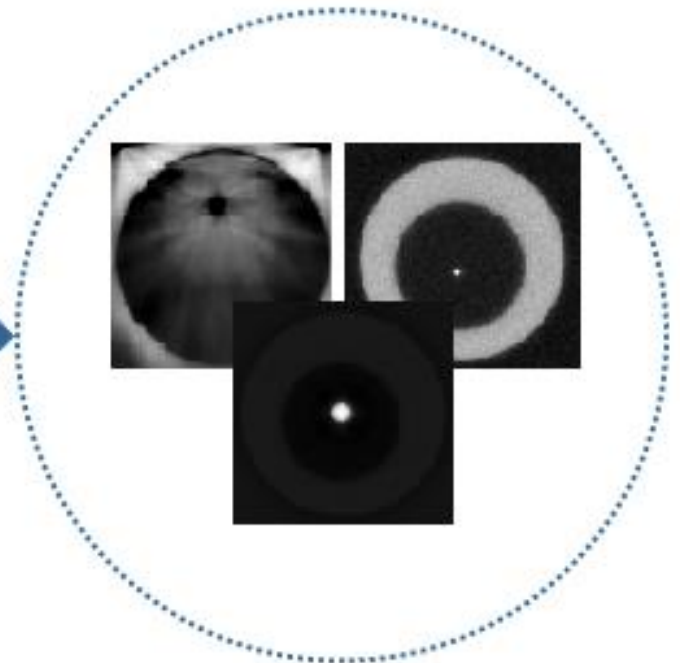
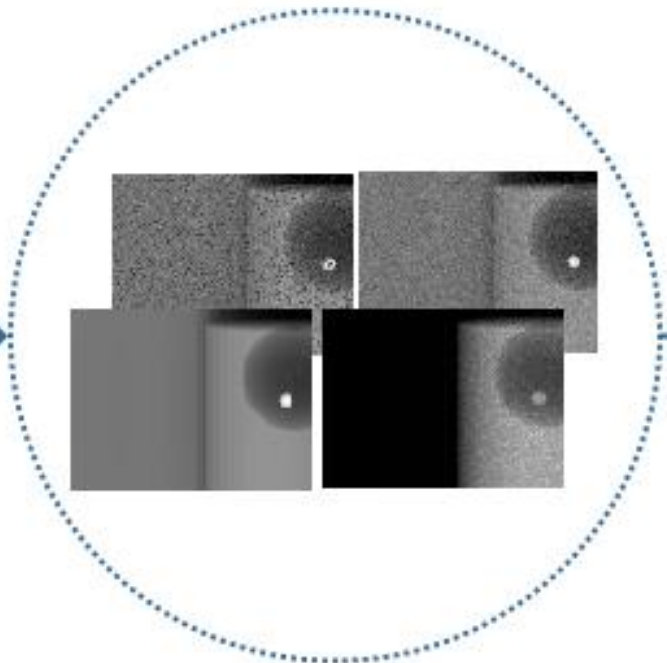
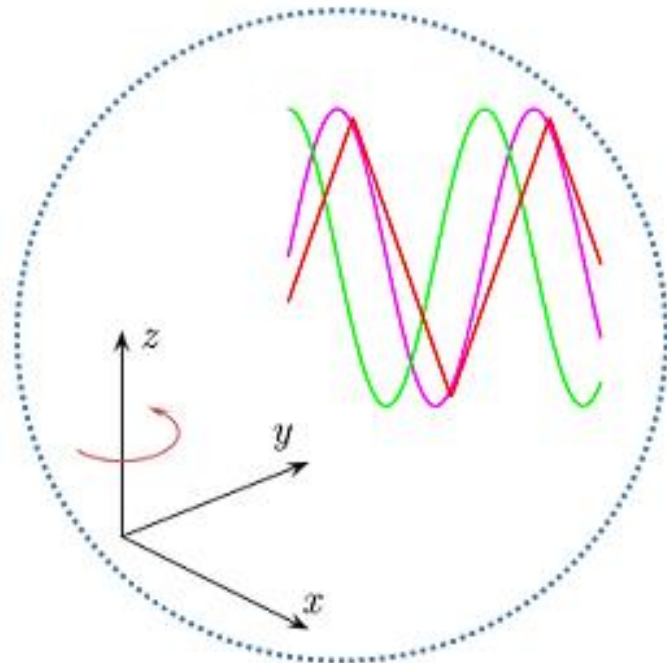
č. projekce čas	č.(i)	p(t)	3500	výdec	1400	pauza	933	nádec	1167	p_max	0,9	v_výd	6E-04	v_nád	8E-04	r [cm]
-----------------	-------	------	------	-------	------	-------	-----	-------	------	-------	-----	-------	-------	-------	-------	--------

5,5746

Pohyb + rotace

Simulace projekcí
v egs_cbct

Rekonstrukce
3D objemu



17	1067	1067	0,68571	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	5,33577
----	------	------	---------	---	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	---------

VYHODNOCOVÁNÍ OBRAZŮ – MÍRA ARTEFAKTŮ

Mean absolute pixel difference from ground truth

$$MAPD = \frac{\sum_{i=1}^N |GT_i - X_i|}{N}$$

- GT_i – intenzita pixelu i v ground truth datasetu
- X_i – intenzita pixelu i z datasetu zatíženého artefakty
- N – celkový počet pixelů v datasetu

COOPER, Benjamin J, Ricky T O'BRIEN, John KIPRITIDIS, Chun-Chien SHIEH a Paul J KEALL. Quantifying the image quality and dose reduction of respiratory triggered 4D cone-beam computed tomography with patient-measured breathing. *Physics in Medicine and Biology* [online]. 2015, **60**(24), 9493-9513 [cit. 2018-10-02]. DOI: 10.1088/0031-9155/60/24/9493. ISSN 0031-9155. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/0031-9155/60/i=24/a=9493?key=crossref.80ec25543a4815c545a6b471a4bc15b>

VÝSLEDKY – MĚŘENÍ S FANTOMEM

Posun 0,5 cm

MAPD = 8,36



Posun 0,9 cm

MAPD = 10,07

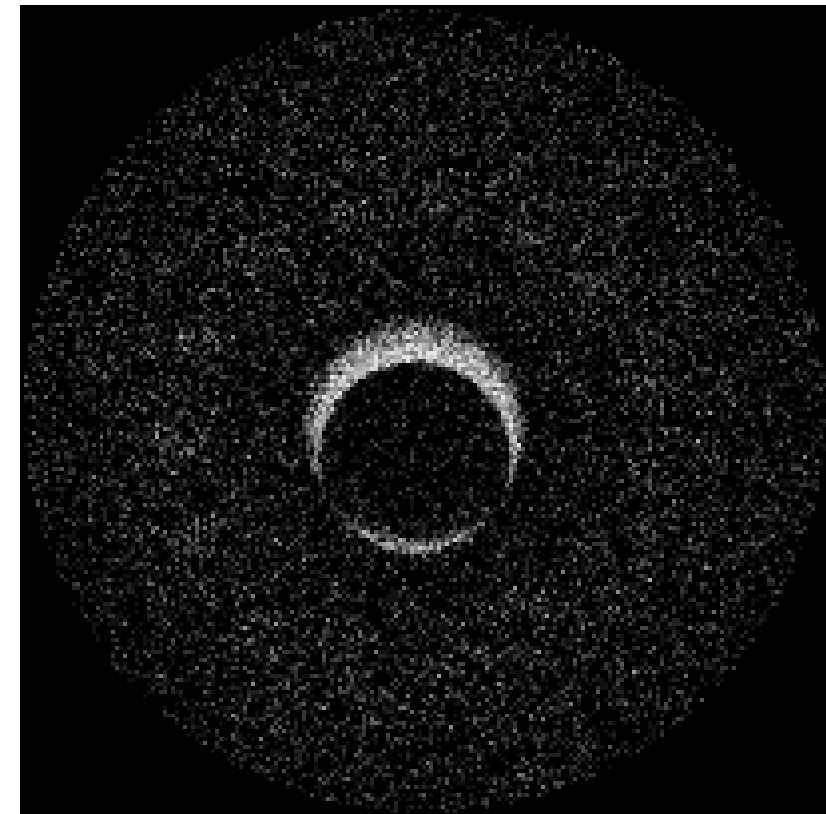


VÝSLEDKY – VIRTUÁLNÍ FANTOM

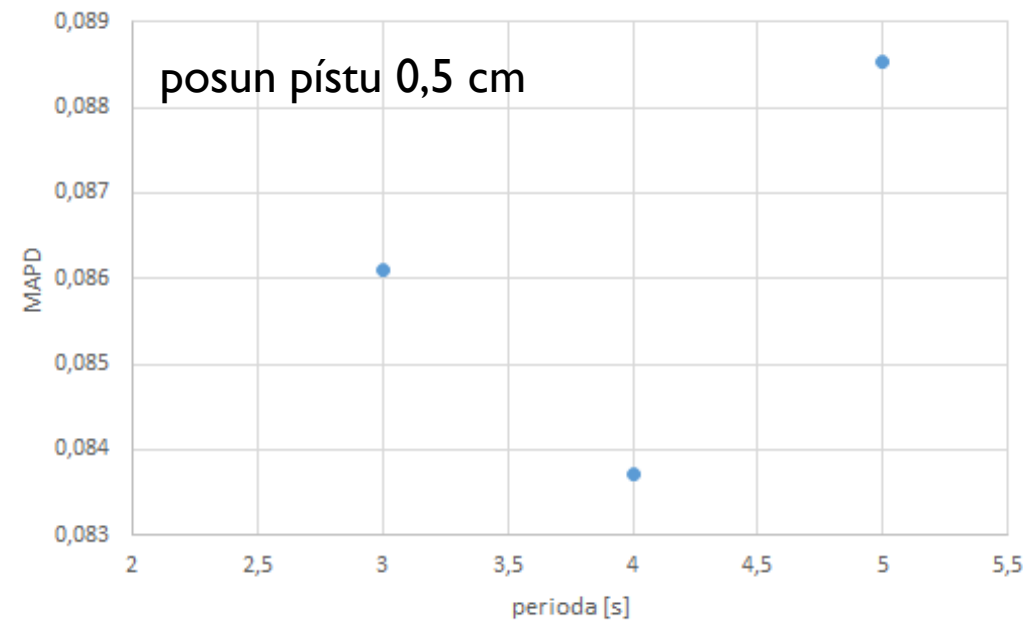
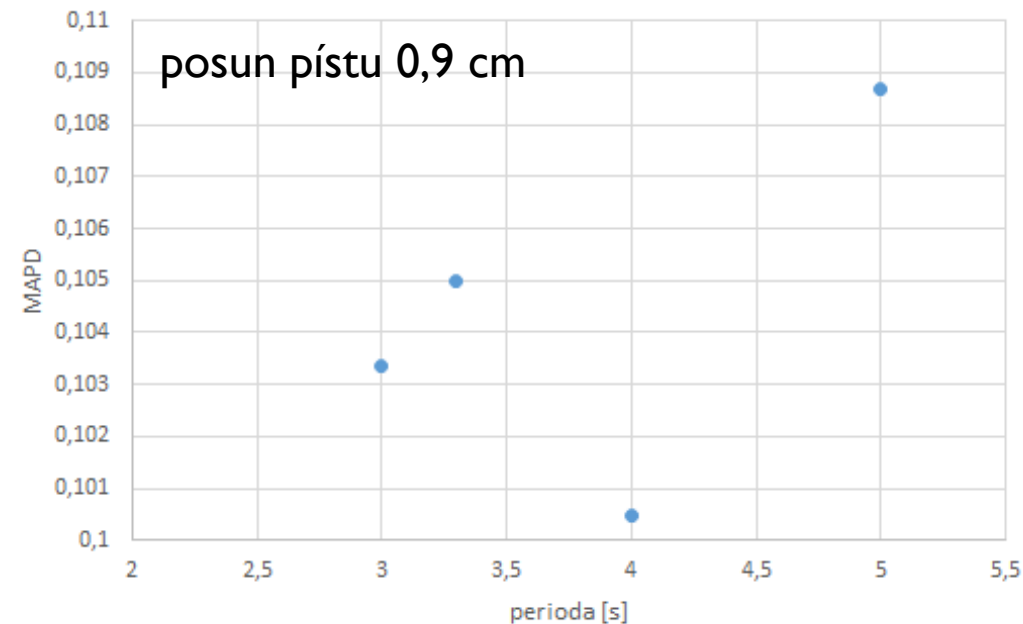
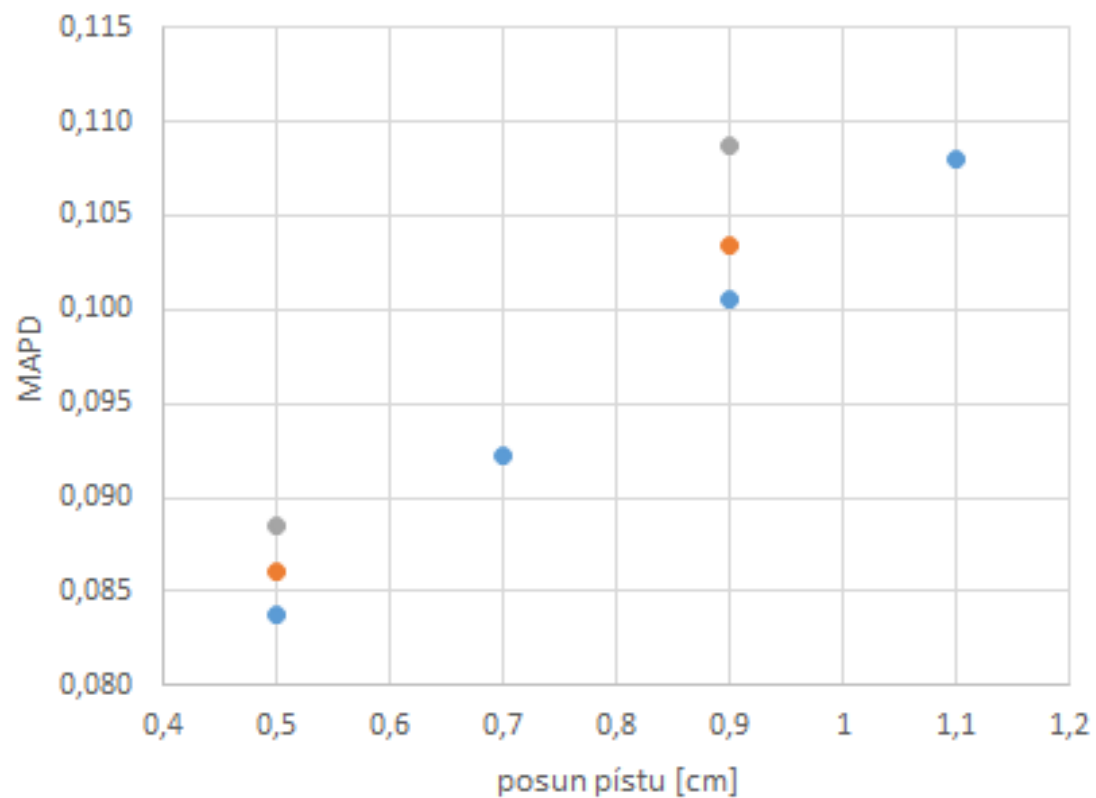
Posun 0,9 cm

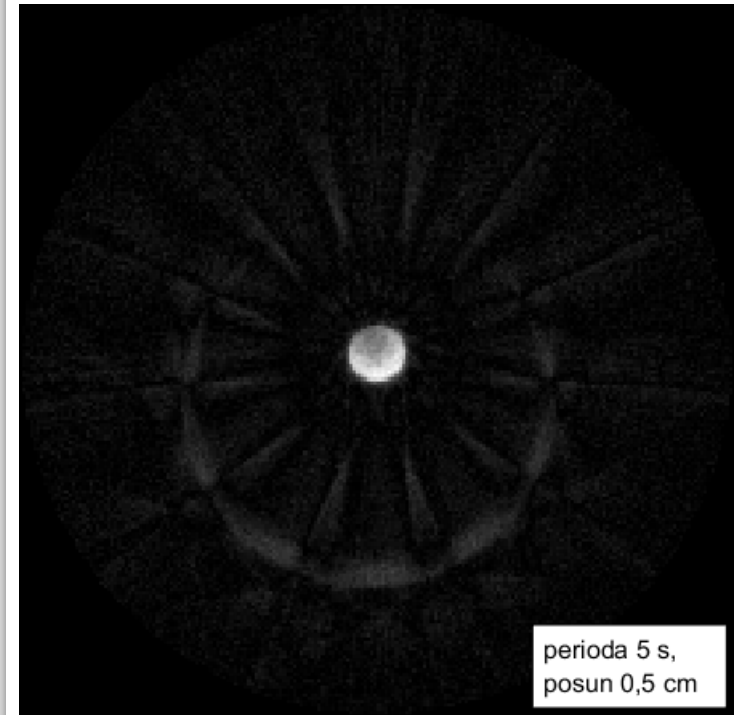
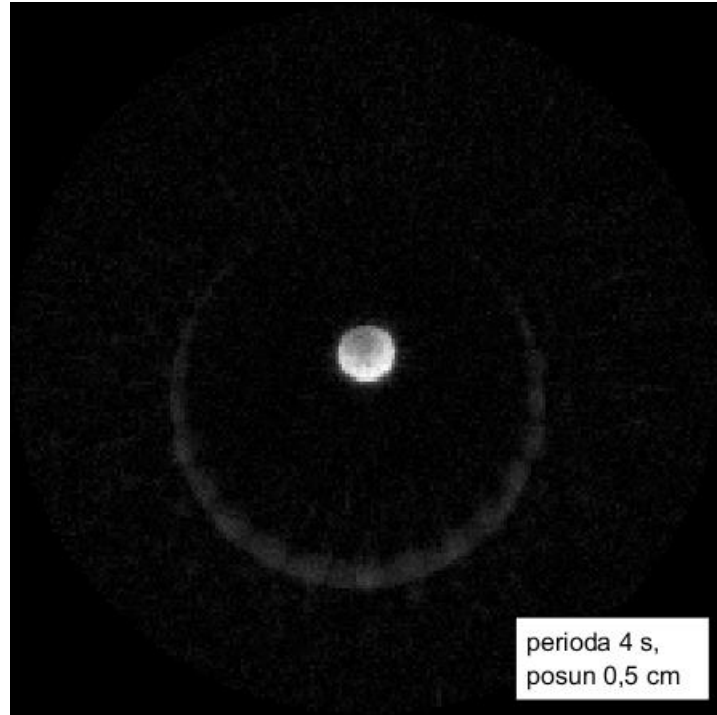
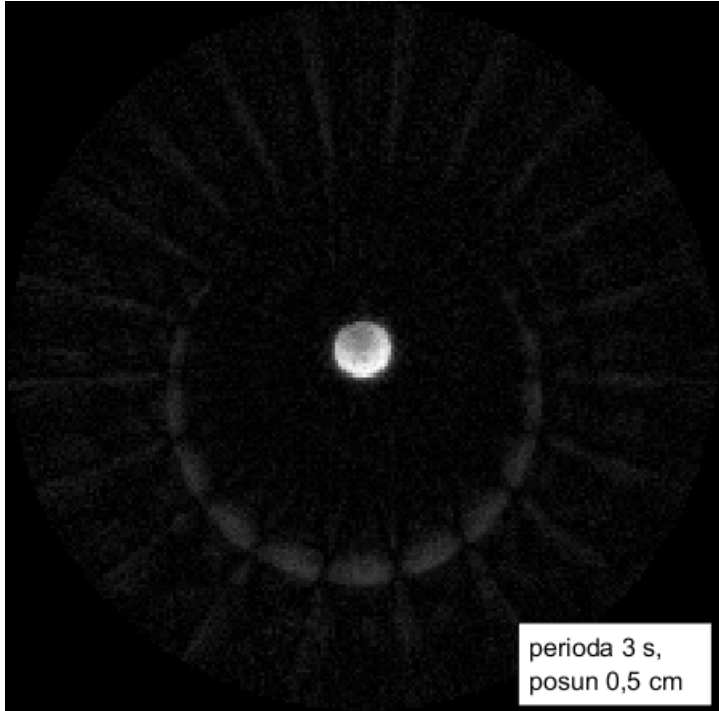
MAPD = 0,1

posun pístu [cm]	perioda [s]	MAPD
0,5	3	0,086
0,9	3	0,103
0,9	3,3	0,105
0,5	4	0,084
0,7	4	0,092
0,9	4	0,100
1,1	4	0,108
0,5	5	0,089
0,9	5	0,109



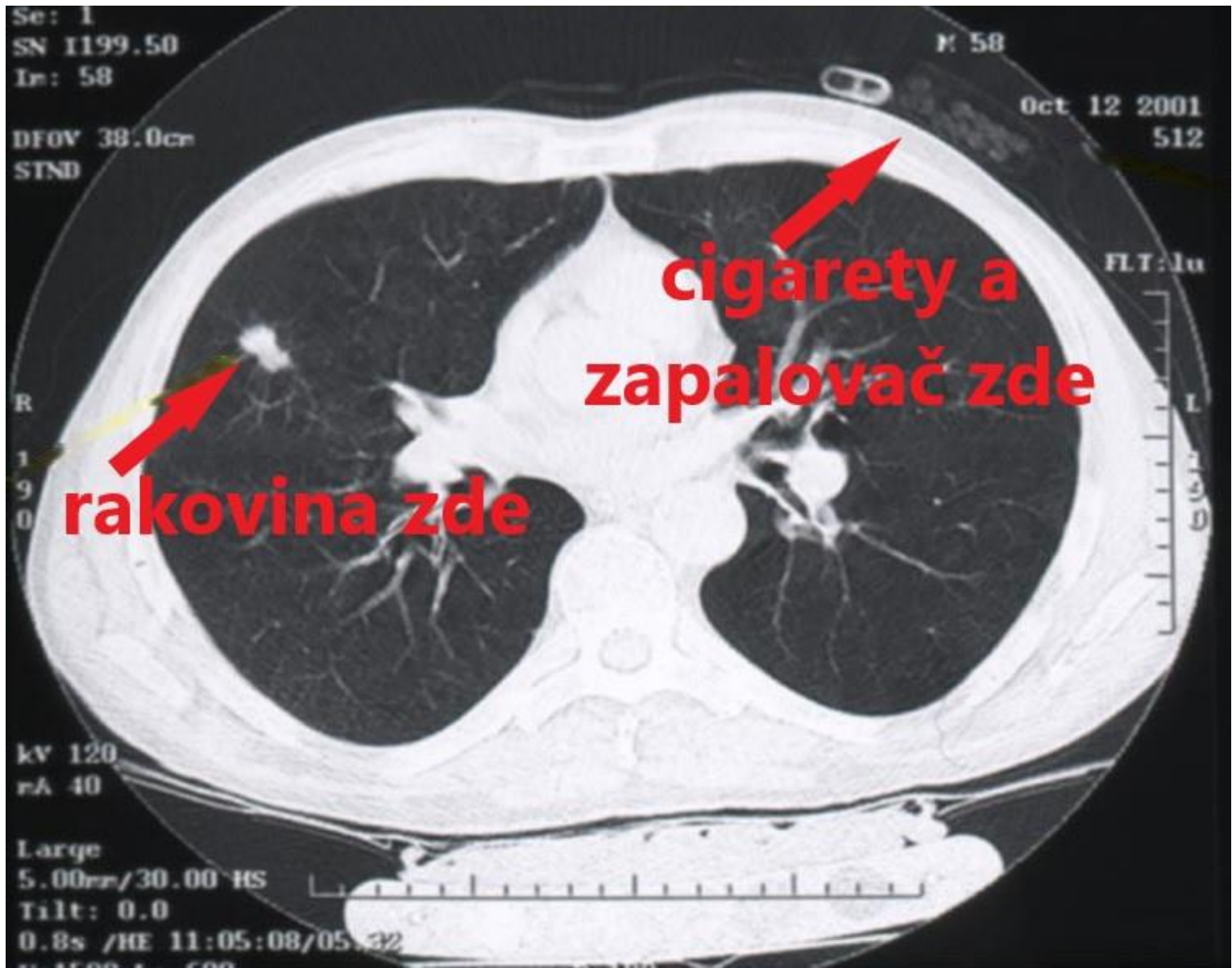
VÝSLEDKY – VIRTUÁLNÍ FANTOM





SHRNUTÍ A ZÁVĚR

- Úspěšné sestavení pohyblivého fantomu a měření pohybových artefaktů na CBCT
- Další měření s novým písemem po vyřešení technických problémů – větší statistika, hlubší analýza
- Sestavení procesu tvorby virtuálního fantomu a výskyt pohybových artefaktů v jeho 3D obrazech
- Přenastavení generátoru náhodných čísel
- Vyzkoušet zahrnutí bowtie filtru do simulace zdroje – zrychlení simulace, hypotéza potlačení kruhových artefaktů v obrazech s bowtie filtrem
- Důkladnější porovnání pohybových artefaktů z měření a ze simulace
- Odhad nejistoty nastavení pacienta při registraci CBCT obrazu zatíženého artefakty z dýchání na plánovací CT



DĚKUJI ZA
POZORNOST