

CEITEC

Central European Institute of Technology
BRNO | CZECH REPUBLIC

Metoda rozšíření zorného pole pro rentgenovou výpočetní tomografii se submikronovým rozlišením

Marek Zemek

Vedoucí: Ing. Martin Mézl, Ph.D.

Konzultant: Ing. Jakub Šalplachta

Osnova

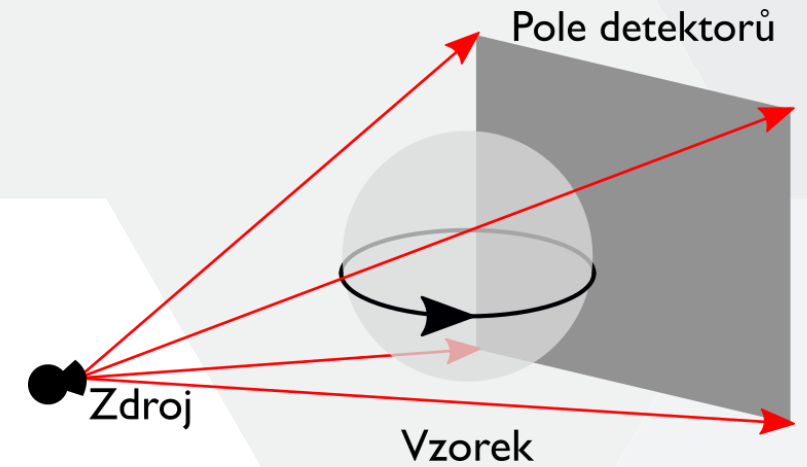
1. Motivace a cíle práce
2. Možnosti rozšíření FoV
3. Navržená metoda
4. Výsledky
5. Shrnutí
6. Poděkování

I. Motivace a cíl práce

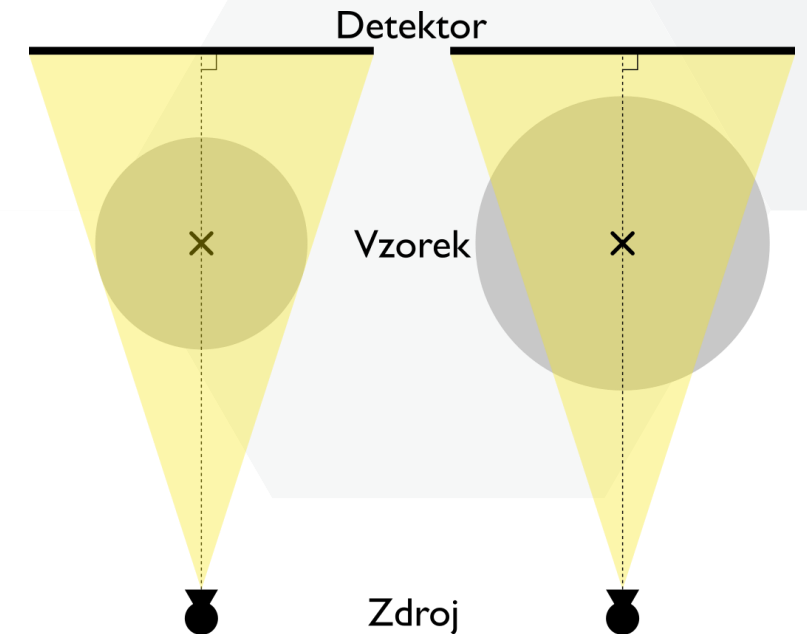
- CT* se submikronovým rozlišením
 - Synchrotrony a laboratorní systémy
 - Dosažitelné rozlišení pod jeden μm
 - Využití v průmyslu a výzkumu
 - Nejčastěji cirkulární geometrie s kuželvým svazkem (obr. 1)
- FoV** omezeno velikostí detektoru (obr. 2)
- Cíl práce
 - Implementace metody pro rozšíření FoV u CT se submikronovým rozlišením

*Výpočetní tomografie – computed tomography – CT

**Zorné pole – field of view – FoV



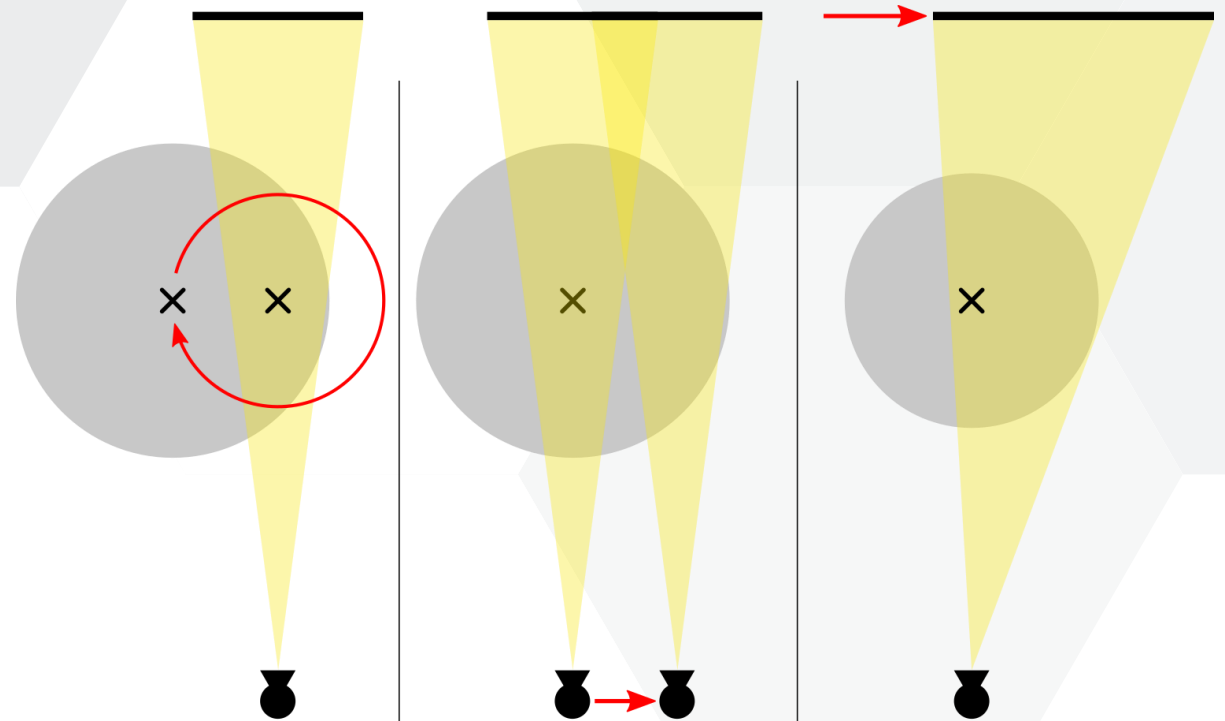
Obr. 1 – ukázka geometrie



Obr. 2 – omezené FoV

2. Možnosti rozšíření FoV

- Použití většího pole detektorů
 - Mnohdy drahé, složité nebo nemožné
- Axiální rozšíření FoV
 - Skládání objemů
 - Helikální trajektorie
- Laterální rozšíření FoV (obr. 3)
 - Specializovaný hardware
 - Upravená geometrie snímání
 - Snímání v jednom nebo více krocích



Obr. 3 – příklady technik rozšíření zorného pole

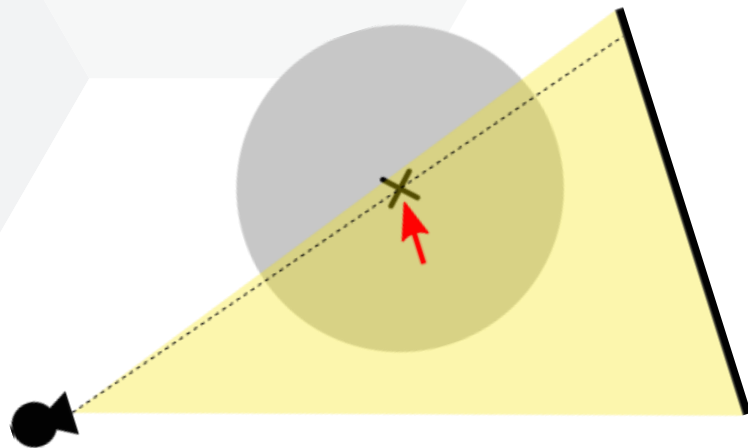
Wang et al. A Novel Designed Small Angle CT System based on Overlay Rotation. 2017.

Chen et al. BPF-based reconstruction algorithm for multiple rotation–translation scan mode. 2007.

Chen et al. An ICT Reconstruction Algorithm for Rotation Off-Centered Scan. 2015.

3. Navržená Metoda

- Rigaku Nano3DX (obr. 5)
 - CCD nebo sCMOS detektor, mikroskopická optika
 - CT se submikronovým rozlišením
 - Malý úhel kužele paprsku, výkonný zdroj
 - Možnost vychýlení osy rotace vzorku (obr. 4)



Obr. 4 – Vychýlení osy rotace

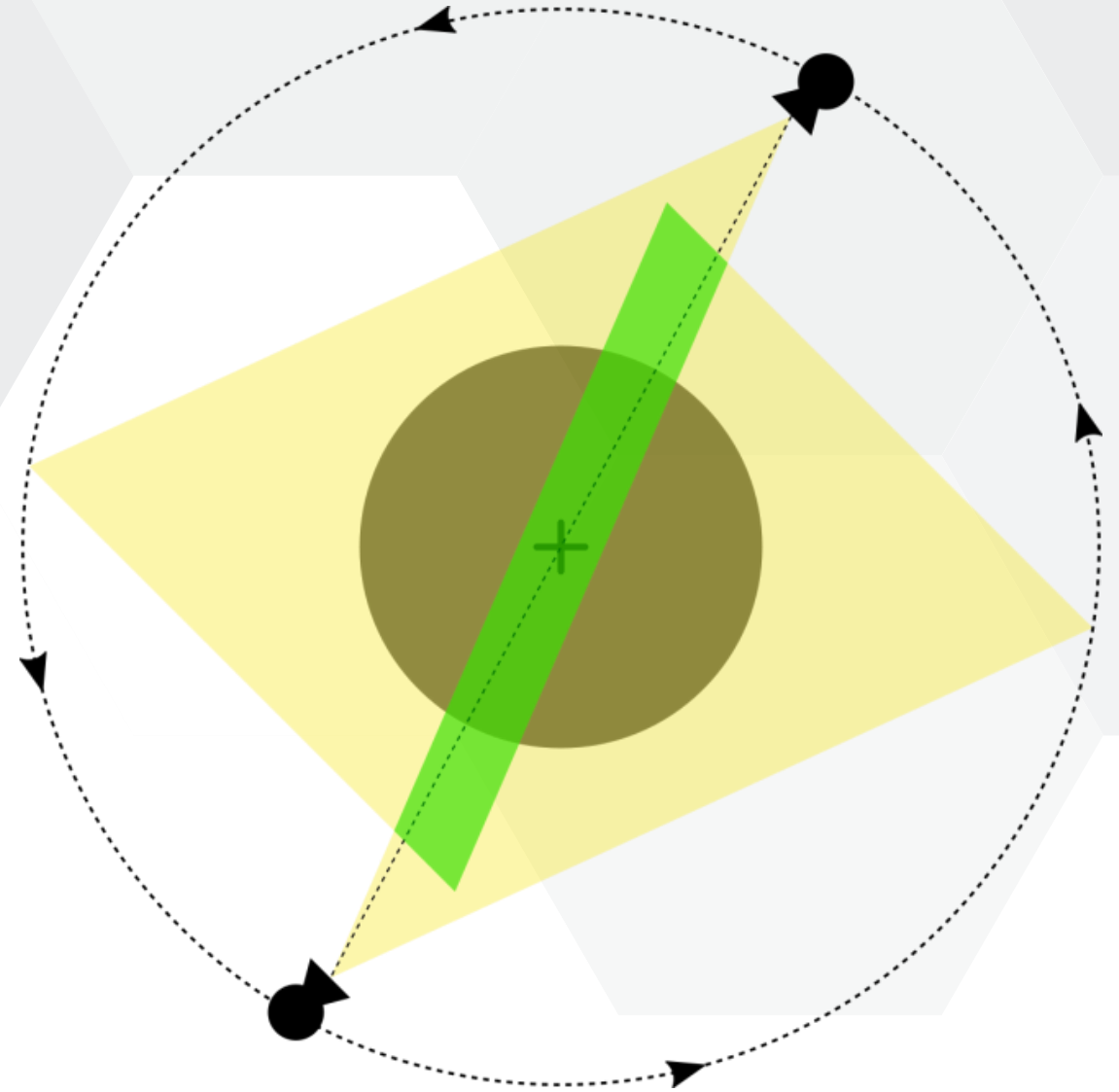


Obr. 5 – Rigaku Nano3DX

rigaku.com/products/xrm/nano3dx

3. Navržená Metoda

- Laterální rozšíření FoV
 - Vychýlení vzorku
 - Akvizice v rozmezí 360°
 - Pozice AoR je důležitý parametr
 - Nutná pozice AoR dostatečně daleko od kraje projekce (obr. 6)
 - Překryv v datech

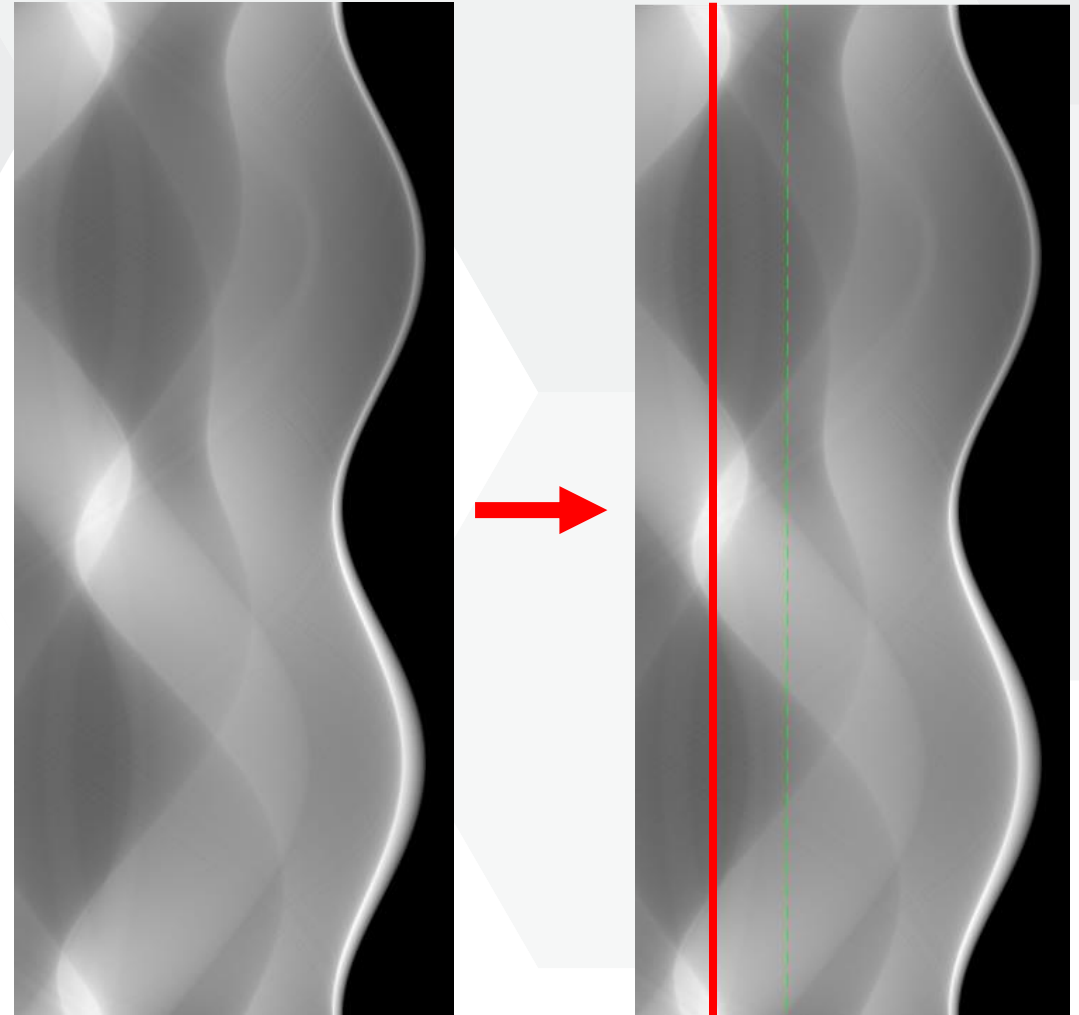


Obr. 6 – Vychýlení osy rotace

Chen et al. An ICT Reconstruction Algorithm for Rotation Off-Centered Scan. 2015.

3. Navržená Metoda

- Odhad pozice AoR
 - Hledání optima
 - Dvě implementované automatické metody
 - Vhodné pro danou snímací geometrii
 - Případná manuální korekce
 - Automatický odhad může selhat u homogenních dat
 - Kompromis mezi rychlostí, automatizací a přesností



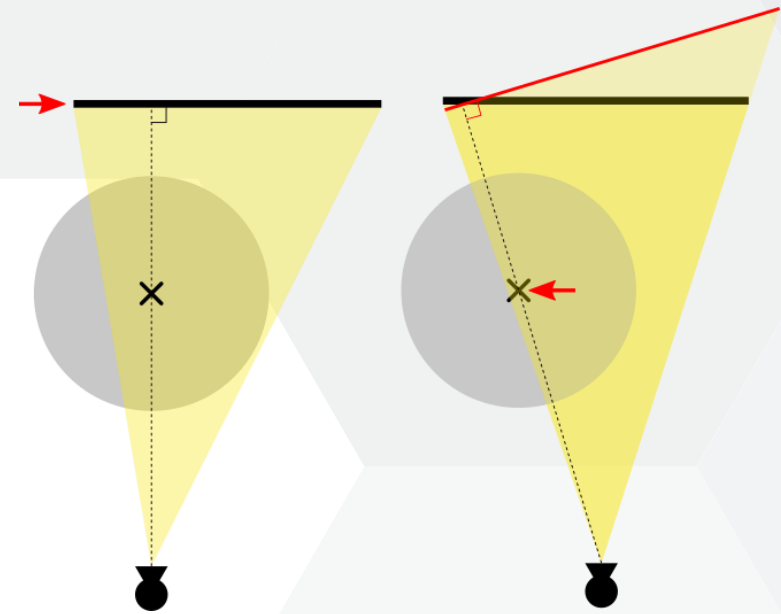
Obr. 7 – Znázornění osy rotace v sinogramu vychýleného vzorku

Donath et al. Automated Determination of the Center of Rotation in Tomography Data. 2006.

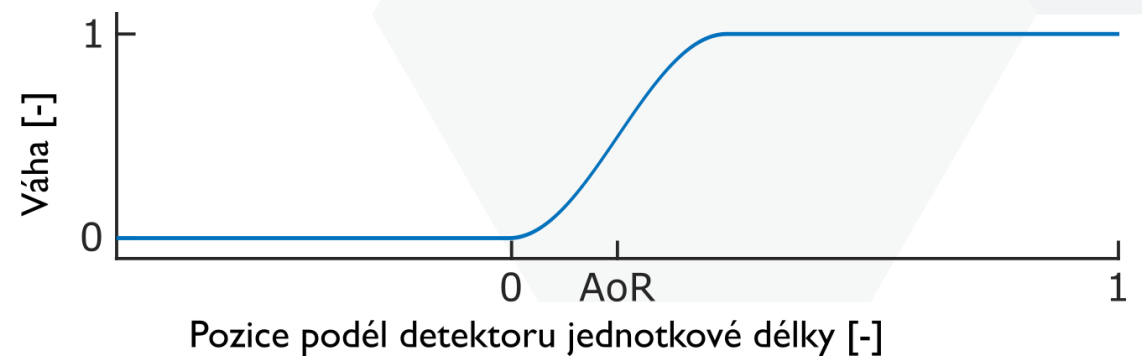
Lin et al. Calibration method of center of rotation under the displaced detector scanning for industrial CT. 2019.

3. Navržená Metoda

1. Předzpracování projekčních dat
 - Nutné kvůli povaze rekonstrukčního algoritmu
2. Transformace projekcí (obr. 8)
 - Zajištění ortogonality mezi detektorem a středovým paprskem
 - Vychází ze snímací geometrie
3. Váhování přebytečných dat (obr. 9)
 - Přebytečná data způsobují artefakty v rekonstrukci



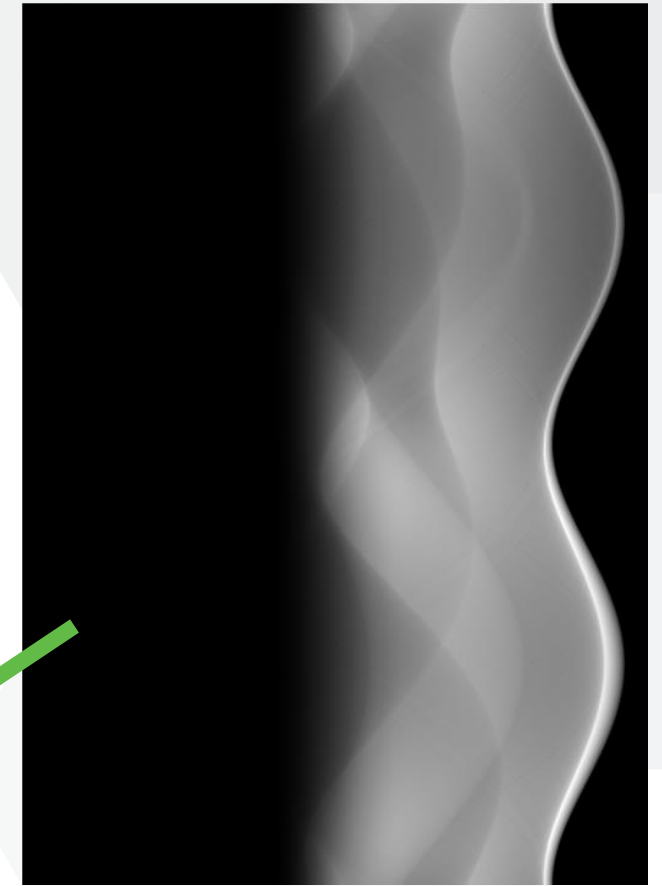
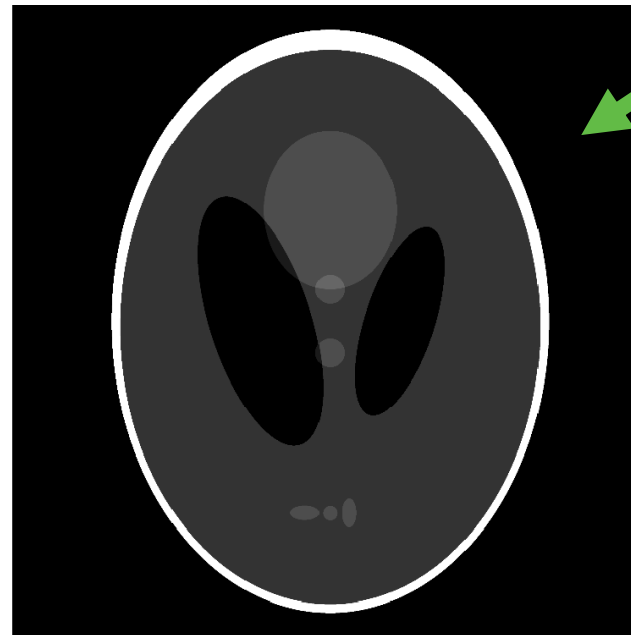
Obr. 8 – Vychýlení detektoru (vlevo) a vychýlení vzorku (vpravo)



Obr. 9 – Váhovací funkce se sinusovým průběhem

3. Navržená Metoda

- Rekonstrukce - FDK
 - Běžný analytický rekonstrukční algoritmus
 - Vhodný pro cirkulární kuželovou geometrii
 - Algoritmus není exaktní, ale je rychlý a jednoduše implementovatelný



Obr. 10 – Ukázka zpracovaného sinogramu s rozšířeným FoV a jeho rekonstrukce

Feldkamp, Davis, Kress. Practical cone-beam algorithm. 1984.

4. Výsledky

- Simulovaná data
 - Různé umělé obrazy –Siemensova hvězda, Shepp-Loganův fantom a další
 - Data s vychýleným vzorkem (1,8-násobné rozšíření zorného pole)
 - Data se širším detektorem pro referenci
- Reálná data
 - Různé vzorky typické pro výzkumnou sféru – LEGO, Pilulka, Polymer s uhlíkovými vlákny
 - Pro každý vzorek vychýlené snímání ($\sim 1.8\times$ rozšíření FoV)
 - Dále pro každý vzorek referenční snímání s větším FoV
- Hodnocení
 - Subjektivní – vizuálně
 - Objektivní – metriky kvality obrazu – PSNR, FSIM, NIQE

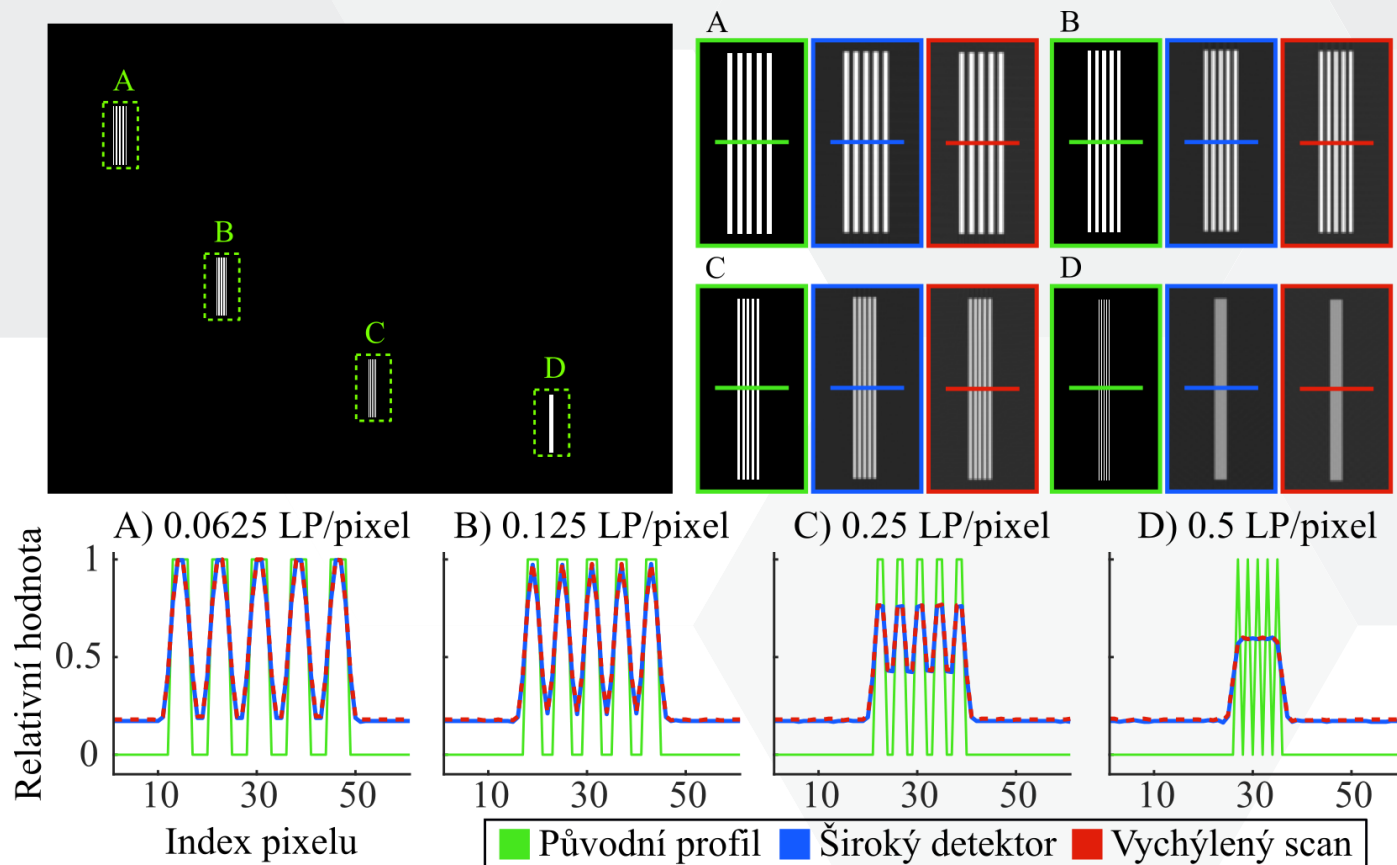
4. Výsledky – simulovaná data

Tab. I – objektivní hodnocení umělých dat
(vyšší je lepší)

PSNR – Špičkový poměr signálu k šumu

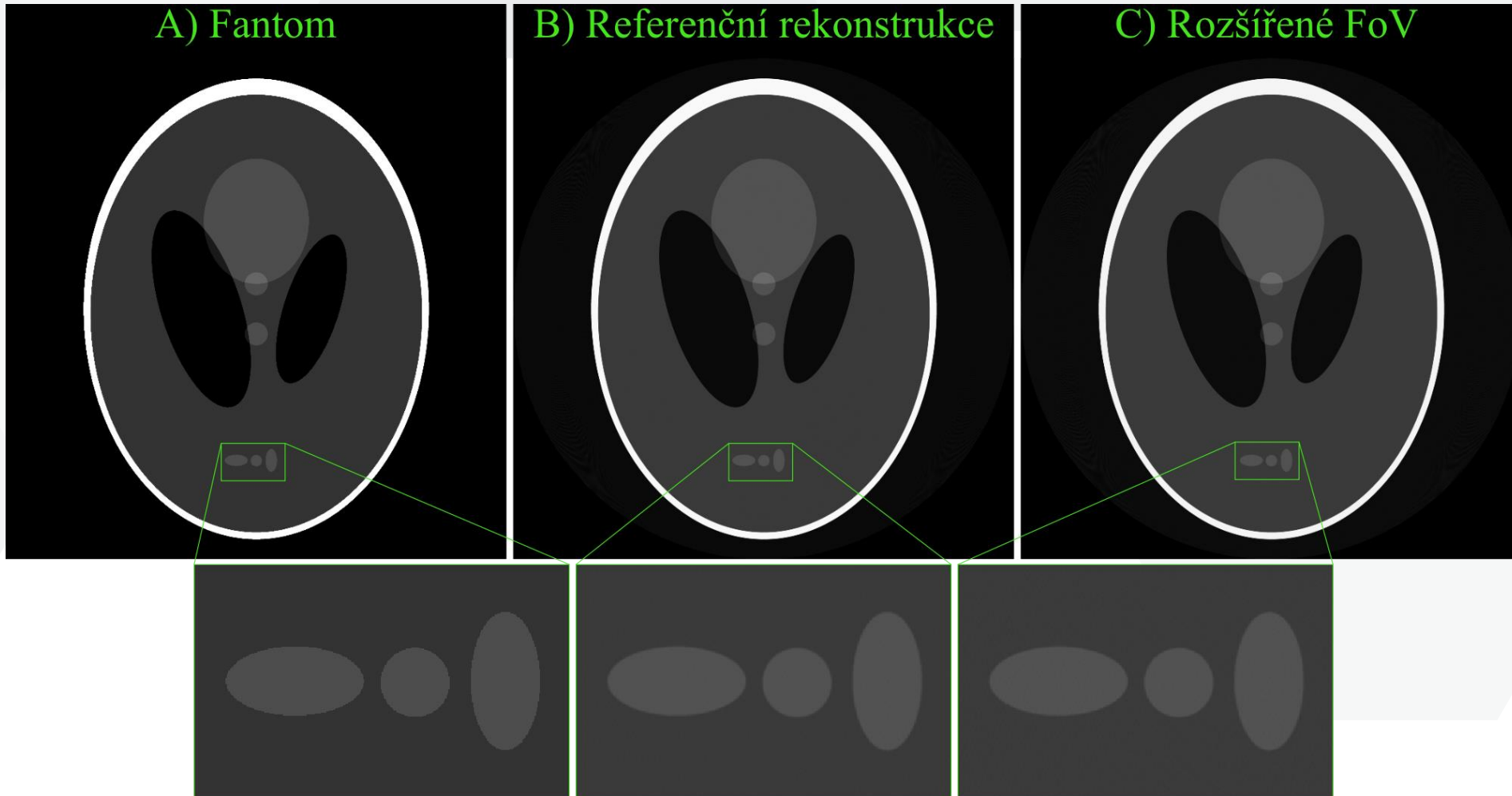
FSIM – Index podobnosti příznaků

	PSNR	FSIM
B – širší detektor	28,23	0,98
C – vychýlený vzorek	27,24	0,97



Obr. 11 – srovnání prostorového rozlišení v referenčním a vychýleném scanu

4. Výsledky – simulovaná data



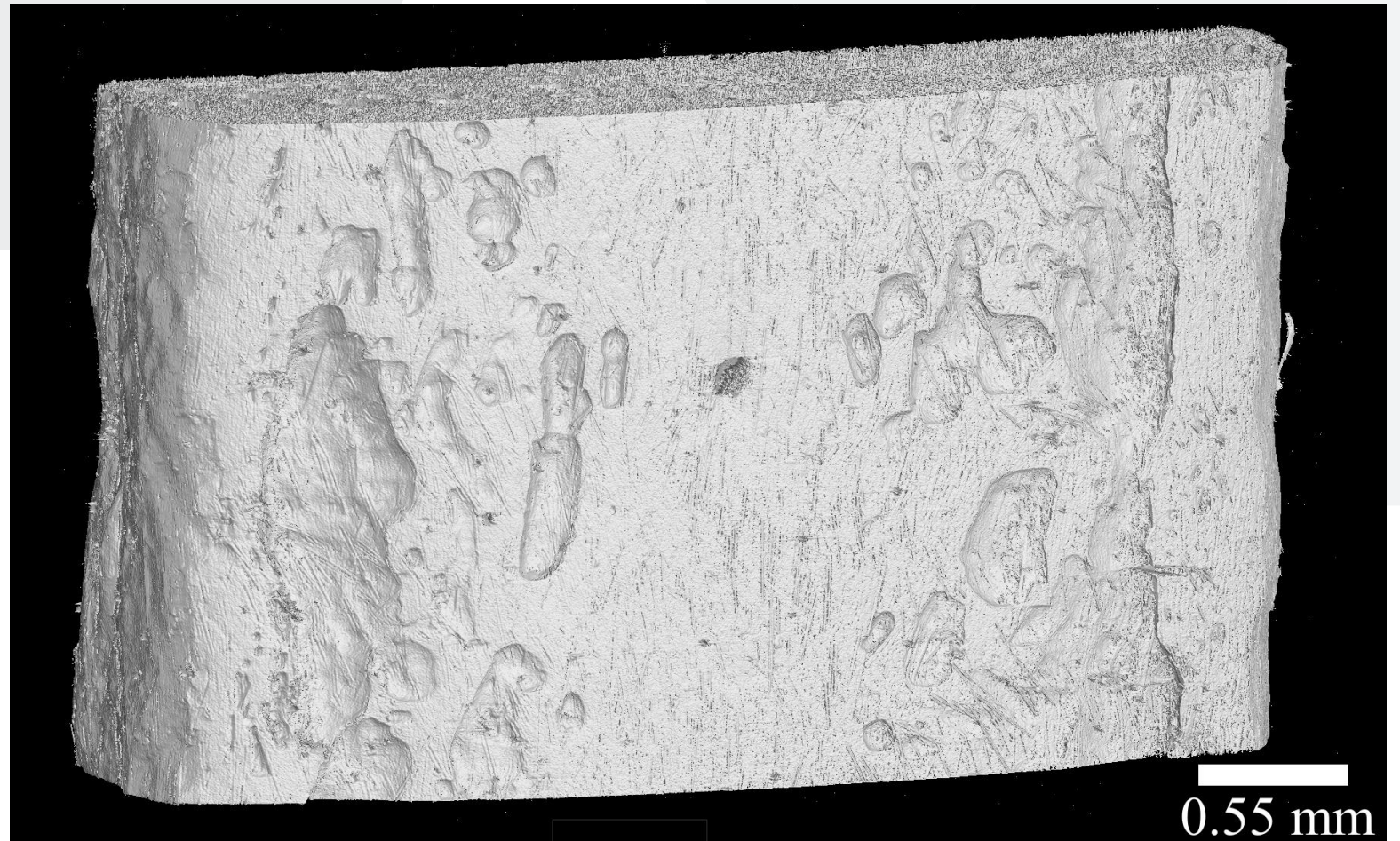
Obr. 12 – Ukázka výsledků algoritmu na obrazu Shepp-Loganova fantomu

4. Výsledky – reálná data

Tab. 2 – objektivní hodnocení reálných dat (nižší je lepší)

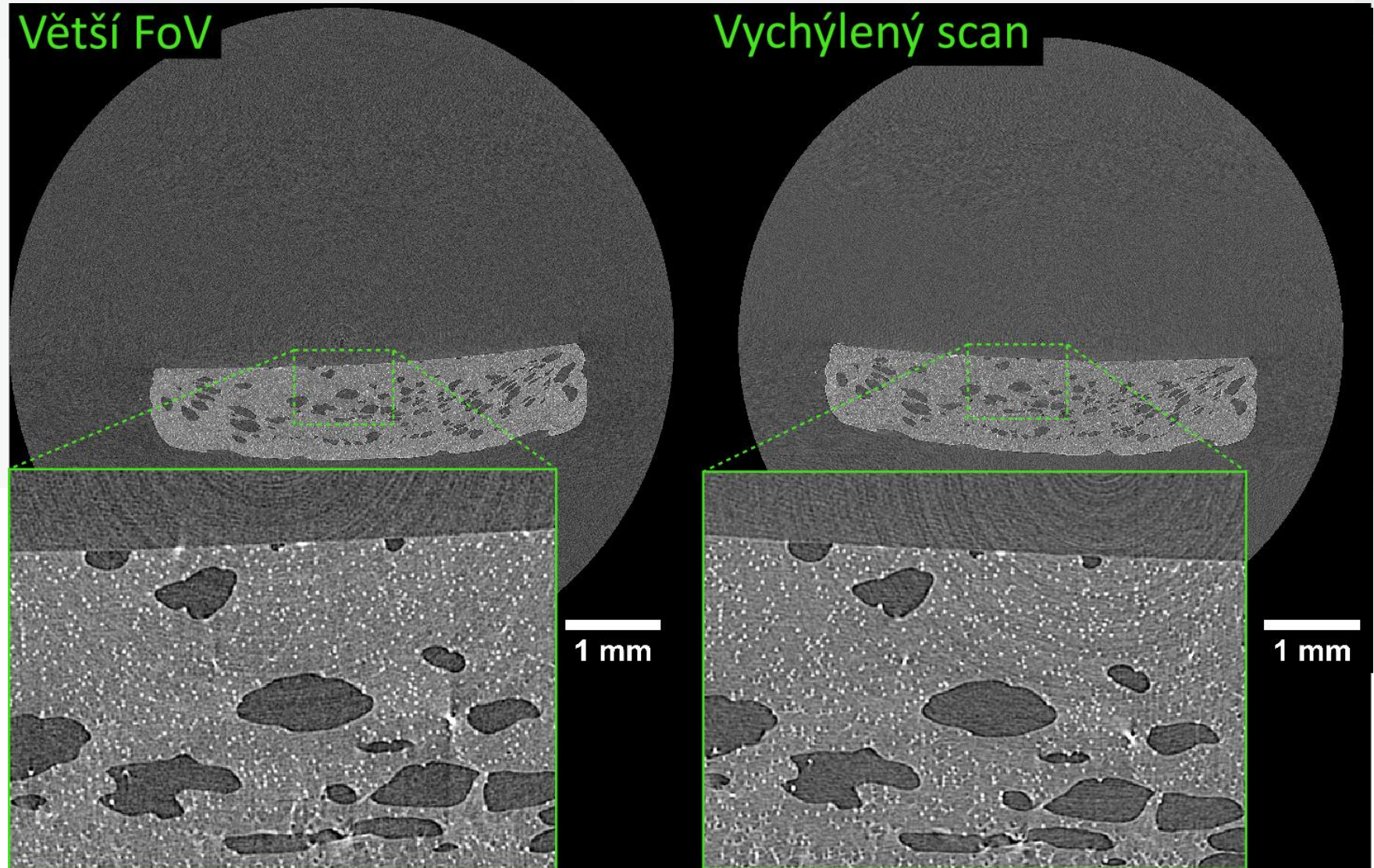
NIQE – Index kvality obrazu podle přirozenosti

	NIQE
široký detektor	4,83
vychýlený vzorek	4,84



Obr. 13 – 3D vizualizace rekonstrukce dat s vychýleným vzorkem

4. Výsledky – reálná data



Obr. 14 – Příklad řezu rekonstruovanými daty

5. Shrnutí

- Navržená metoda – akvizice s vychýleným vzorkem
 - Implementována pro Nano3DX
 - Nevyžaduje výměnu hardware
 - Jednoduchá na implementaci
 - Téměř dvojnásobné rozšíření zorného pole – nelze ale více
 - Výsledky blízké alternativě se širším detektorem

6. Poděkování

Autor práce tímto děkuje:

- Ústavu biomedicínského inženýrství, FEKT VUT Brno
 - Za zázemí a kvalitní vzdělání potřebné pro vypracování tohoto projektu
- Laboratoři mikro a nano výpočetní tomografie, CEITEC VUT Brno
 - Za spolupráci, cenné zkušenosti, finanční podporu a zázemí při práci na tomto projektu
- Firmě Rigaku
 - Za zájem projevovaný o výsledky této práce, poskytnutý hardware a zázemí



CEITEC
CTLAB



Rigaku