

Měření spekter fotonů ve svazcích z lékařských rentgenových zařízení

Jana Šmoldasová¹, Jaroslav Šolc¹, Markus Borowski², Vittorio Cannata³

¹ ČMI, Český metrologický institut, Brno, Czech Republic

² SKBS, Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH, Braunschweig, Germany

³ OPBG, Ospedale Pediatrico Bambino Gesù, Rome, Italy

Spektrometrie

- Stanovení energetické distribuce fluence fotonů ve svazku rentgenového záření;
 - Energie do cca 350 keV;
 - změřené detektorové spektrum + odezvová matice detektoru + dekonvoluce => primární fluenční spektrum;
 - Nutná charakterizace detektoru a Monte Carlo simulace jeho odezvy;
 - měříme jen primární fotony přímo ze zdroje, ne rozptýlené; ty jsou odstíněné;
- Účel - stanovení tvaru spektra pro:
 - výpočet parametrů svazku: HVL, střední energie, atd.;
 - nalezení koncového bodu spektra (napětí na trubici);
 - výpočet konverzních koeficientů referenčních svazků na operační veličiny v radiační ochraně – energeticky závislé, nutno znát tvar spektra.

Spektrometrie

Verfügbar unter: <https://doi.org/10.7795/110.20190315B>

- Obvyklá metoda:
 - HPGe detektor za mohutným stíněním a s externím chlazením (N_2);
 - Těžké, objemné, obtížně transportovatelné, zdlouhavá příprava.

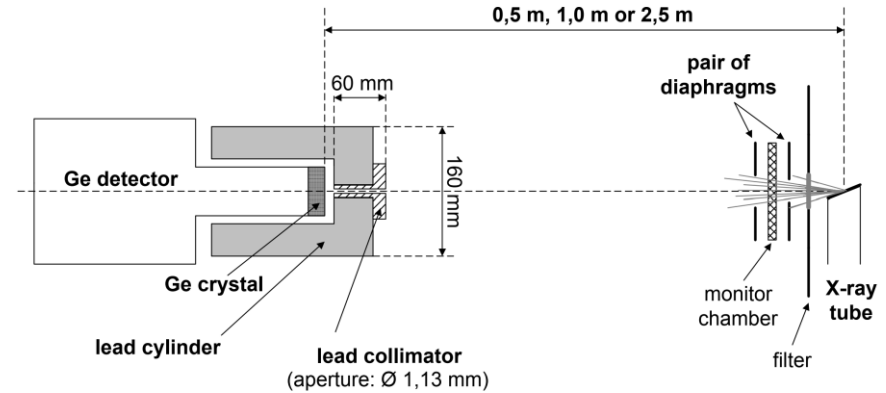
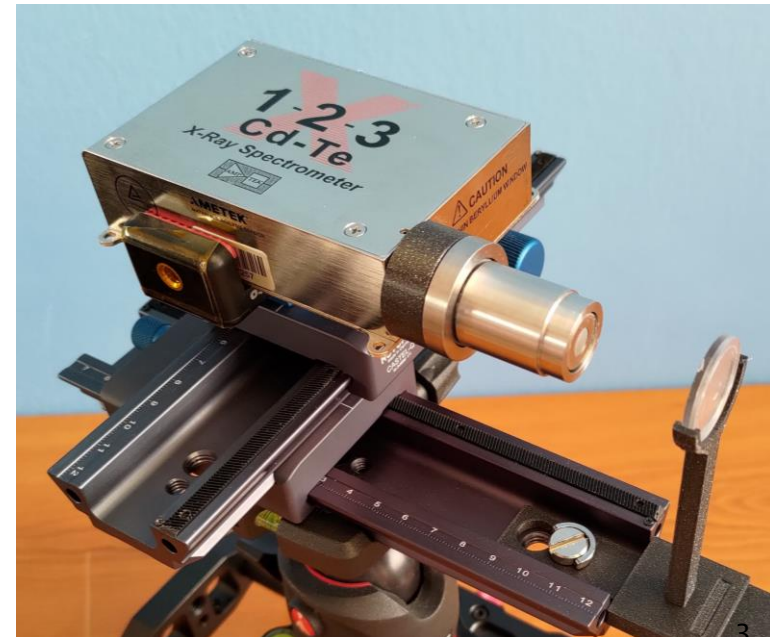


Figure 2.1: Diagrammatic view of the experimental set-up for the measurements of the pulse height spectra.

- Nová možnost:
 - Kompaktní CdTe detektor s integrovaným elektrickým chlazením;
 - Snadná manipulace a transport, není nutné řešit chlazení;
 - CdTe detektor X-123CdTe firmy Amptek;
 - Elektrické chlazení na 215 K.



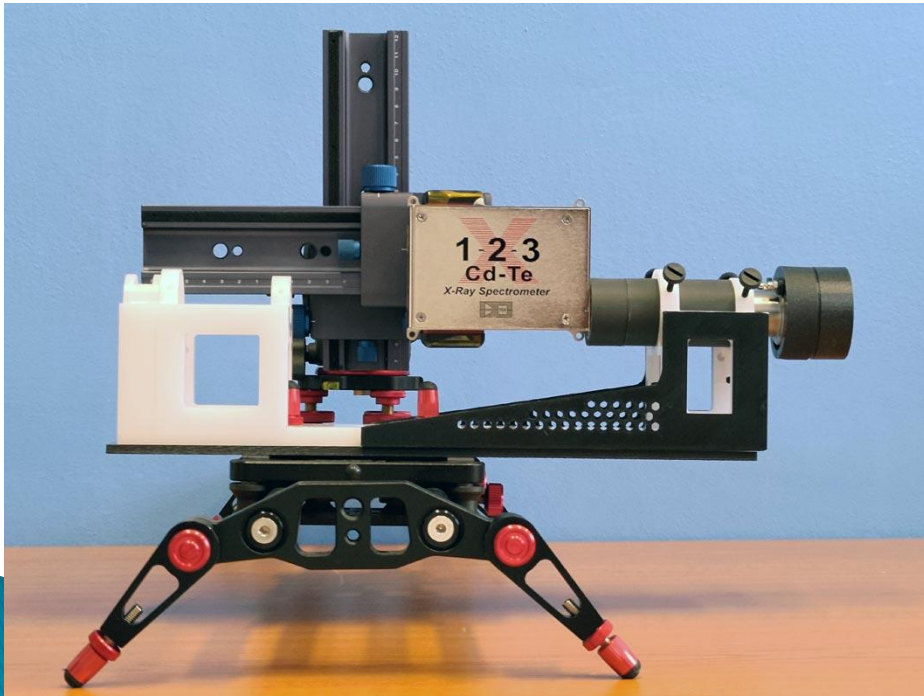
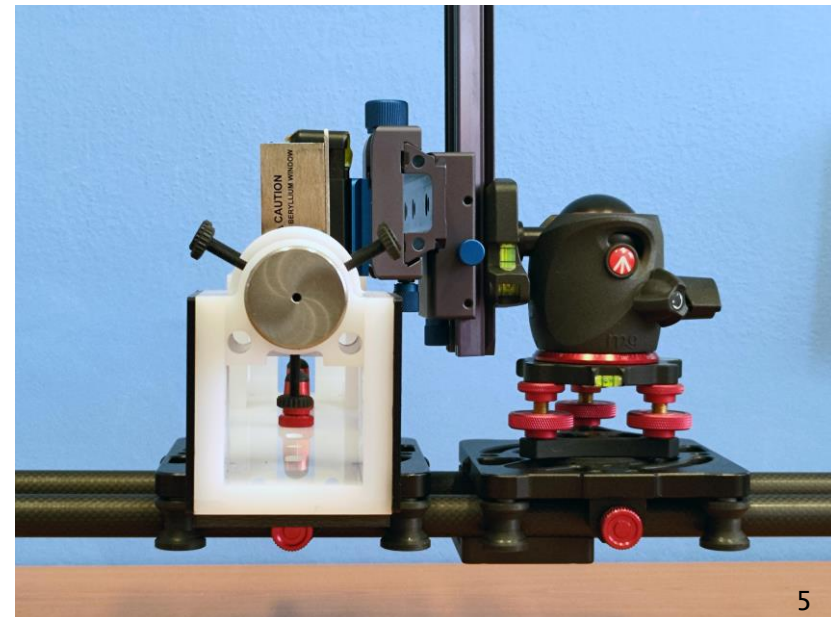
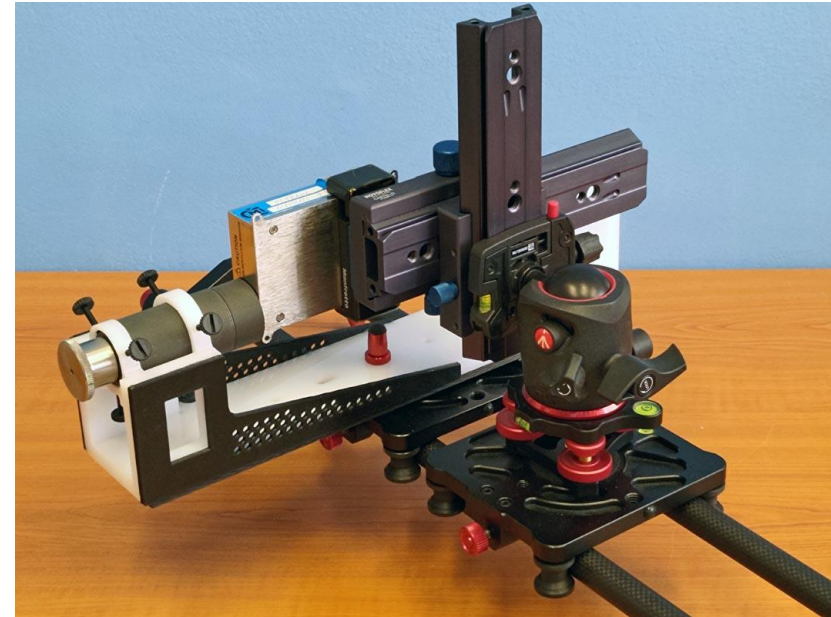
Účel

- Charakterizace referenčních rentgenových svazků v ČMI;
 - + stanovení koncového bodu spektra a možnost ověření rentgenových multimetrů (XMM) ve veličinách napětí na trubici a HVL;
- Využití ve výzkumných projektech;
- Metrologický projekt **TraMeXI**: Návaznost v dozimetrii rentgenového zobrazování v medicíně
 - Zaměření na rentgenové zobrazení v diagnostice a intervenčních výkonech;
 - Hlavní cíl:
 - posouzení stávajících podmínek pro kalibraci dozimetrů pro rentgenové zobrazování a návrh aktualizovaných měřicích postupů;
 - Dílčí cíle:
 - rešerše polí rentgenového záření v současnosti používaných v lékařském zobrazování (napětí, filtrace, ...) a návrh relevantnějších referenčních spekter pro kalibrace a typové testy dozimetrů a multimetrů;
 - testování vybraných XMM a návrh harmonizovaného postupu jejich kalibrace.

Webová stránka projektu: <https://tramexi.com/>

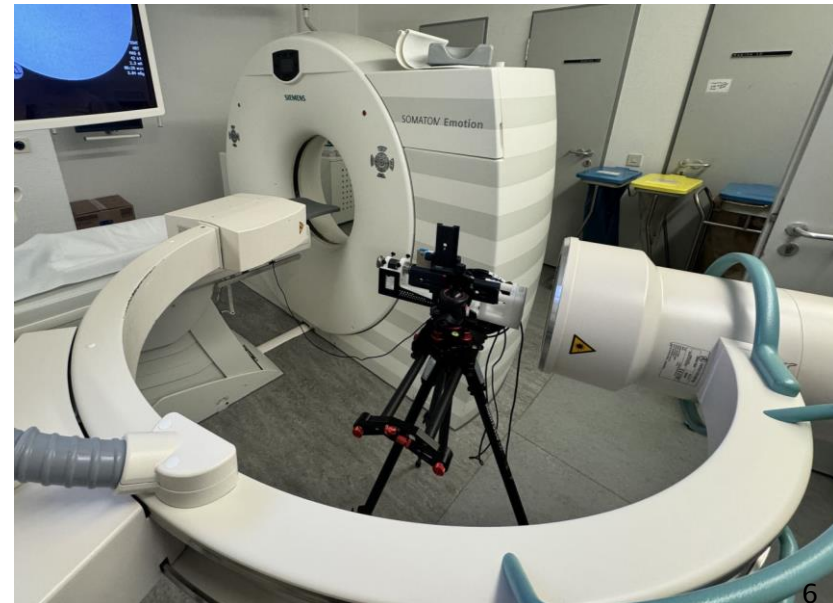
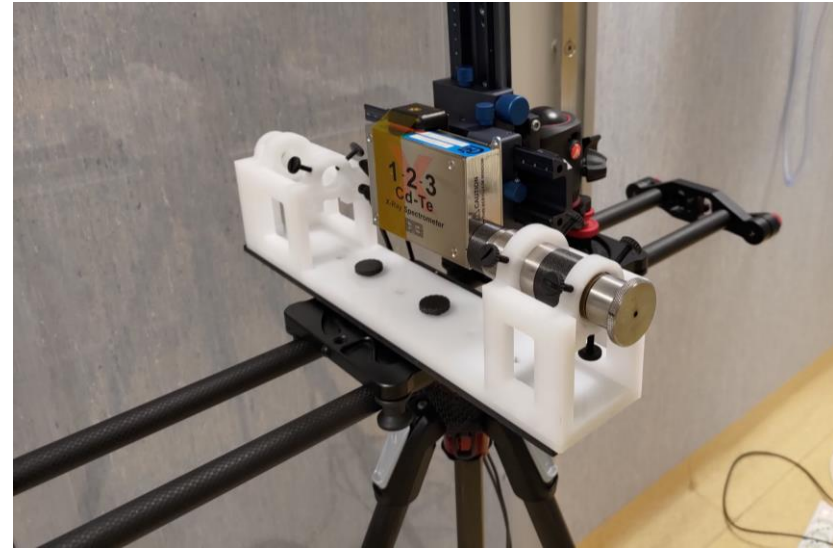
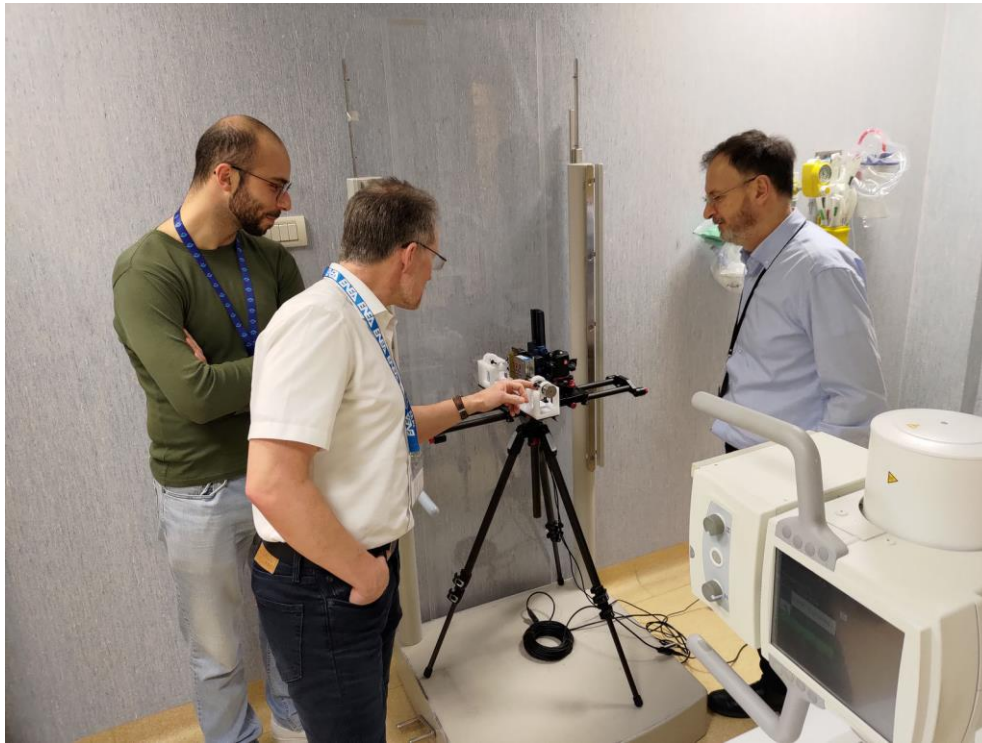
Vybavení

- CdTe detektor X-123CdTe firmy Amptek;
- Držák kolimátoru se stíněním na samostatné plošině nezávisle na detektoru;
- Obojí na fotografickém slideru.



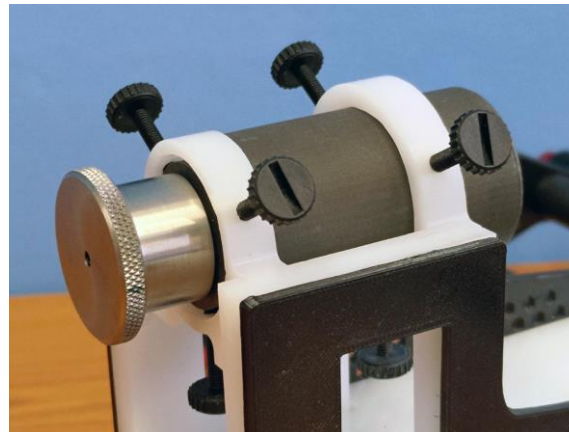
Vybavení

- Pro měření v terénu je vše připevněno na fotografickém stativu.



Vybavení

- Stínění pro <150 kV svazky
 - Zepředu 6 mm W;
 - Z boku 3-6 mm Pb;
- Stínění pro >150 kV svazky:
 - Zepředu dodatečné stínění 29 mm Pb;
- W kolimační disky pro snížení fluence fotonů v senzoru / rozšíření rozsahu měření:
 - Na výběr s aperturou 50 μm , 100 μm , 200 μm , 400 μm ;
- Rozsah energií:
 - Spektra do 350 keV;
- Energetická kalibrace:
 - Radionuklidovými zdroji typu EG: ^{241}Am , ^{133}Ba , ^{57}Co
 - Provedeno při četnosti 13 000 imp/s (obdobně jako v rentgenových svazcích).



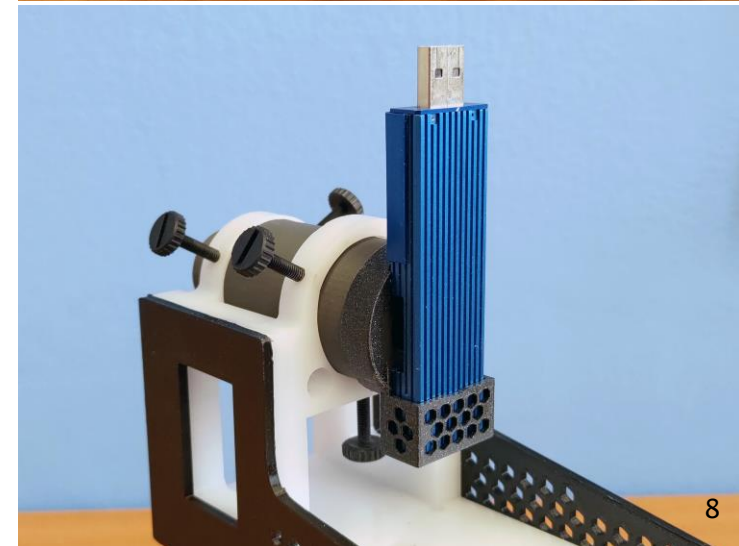
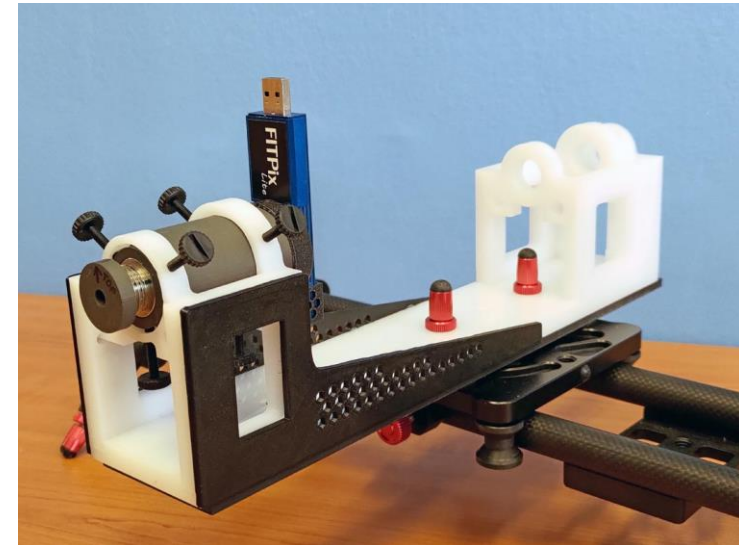
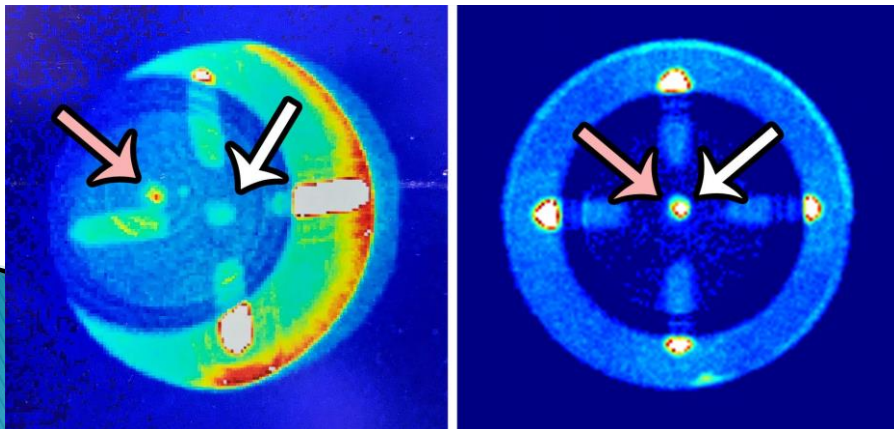
Vybavení

- Zaměření osy kolimátoru na ohnisko rentgenu pomocí projekce dvou pinhole otvorů (průměr 150 μm) na pixelový detektor Timepix (256x256 pixelů, 55 μm šířka px);
- Lze též zobrazit a změřit velikost ohniska.



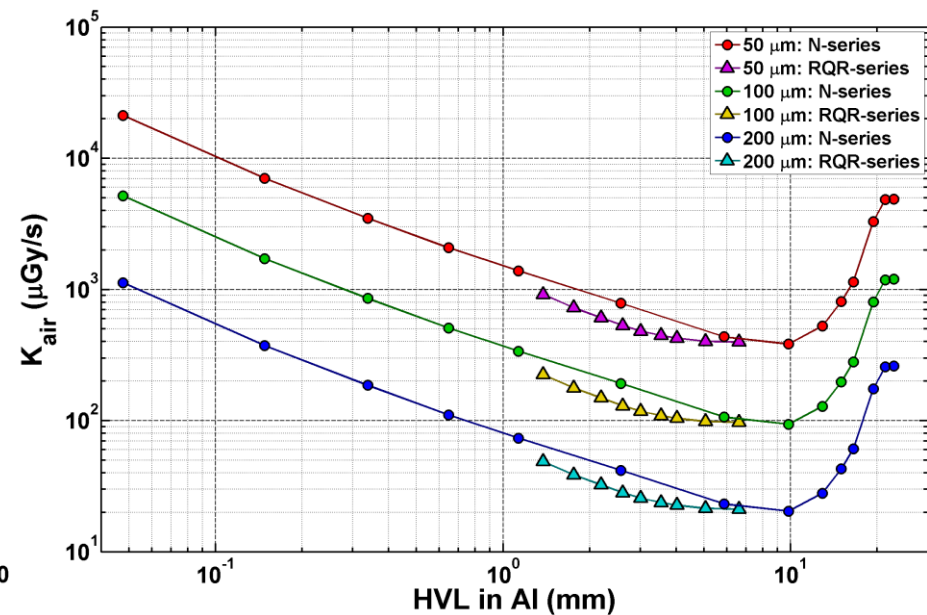
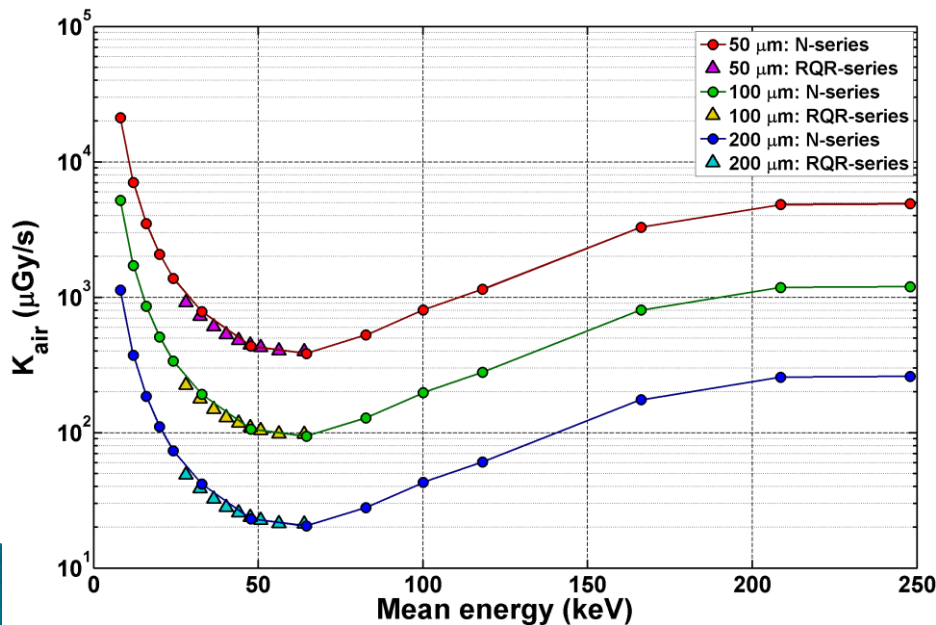
Nahoře: Zaměřovací vložka do kolimátoru; jeden pinhole otvor na vstupu, druhý na opačném konci.

Dole: projekce obou pinhole otvorů. Vlevo – osa kolimátoru odchýlena od ohniska. Vpravo – kolimátor je zaměřen.



Rozsah příkonů K_{air}

- Cílová četnost impulzů je okolo 13 000 imp/s pro spektra s píky a zhruba 2x vyšší pro spektra bez píků;
 - Příslušný maximální příkon K_{air} v místě měření spektra závisí na kV, filtraci spektra, kolimaci detektoru;
 - Diagnostika ~ RQR spektra => ideálně do 20 $\mu\text{Gy/s}$ (200 μm kolimátor). 50 μm a 100 μm kolimátory používané s omezením (deformace spektra vlivem příliš malého a mírně šikmo vyvrtaného otvoru).



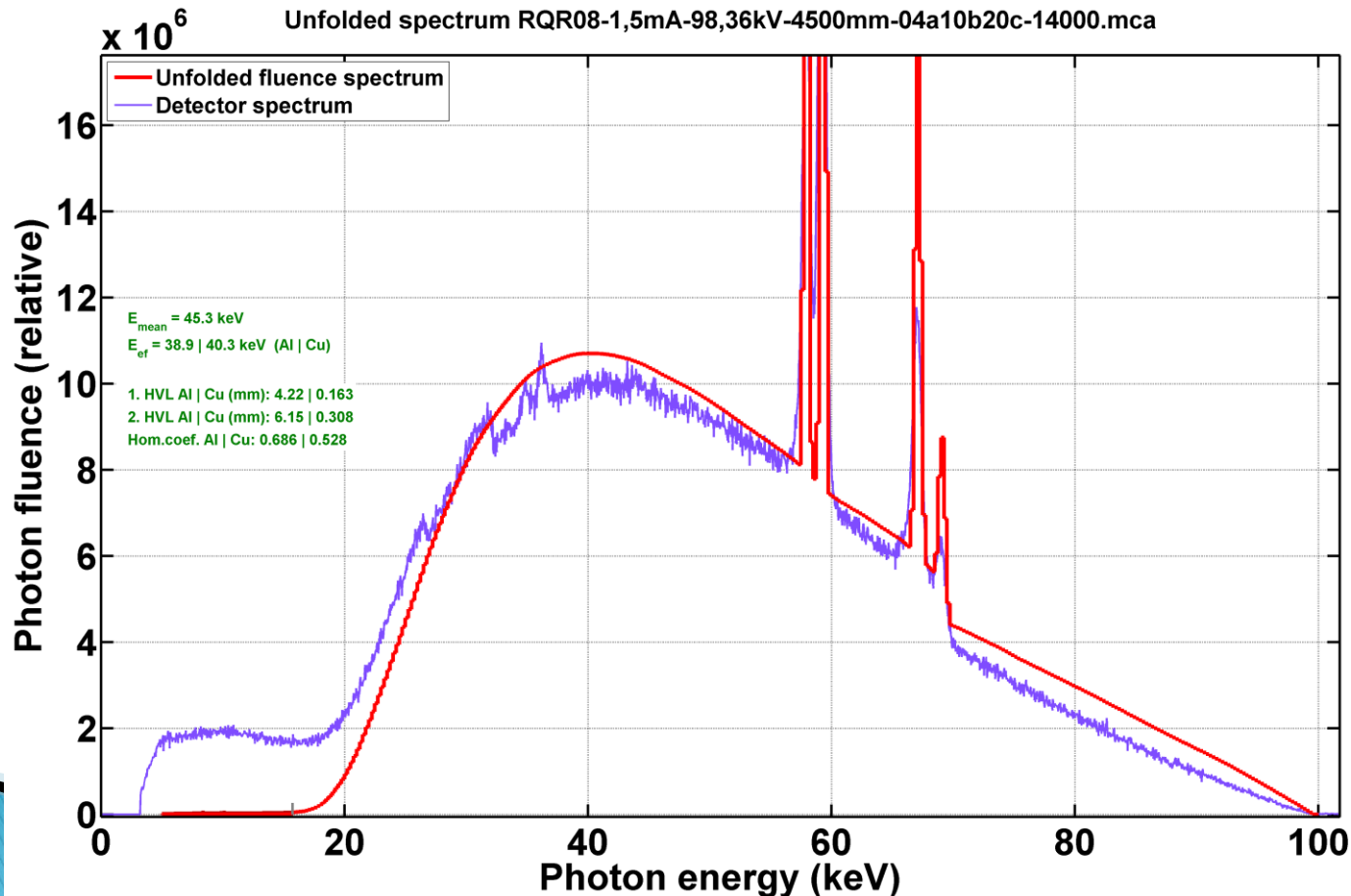
Použitelnost

- **Měření tvaru spektra:**
 - Omezení příkonem K_{air} a zatížením rentgenu (pulzní/kontinuální, počet spuštění);
 - Nelze měřit u všech přístrojů, zejména pokud není možnost volby proudu nebo vzdálenosti od zdroje;
- **Stanovení koncového bodu spektra:**
 - Není omezení příkonem K_{air} - uměle odfiltrujeme většinu spektra;
 - Omezení zatížením rentgenu (pulzní/kontinuální, počet spuštění);
 - Koncový bod může záviset na proudu;
- **Časová náročnost:**
 - Sestavení aparatury a zaměření kolimátoru: 1 h
 - Demontáž aparatury: 10 min
 - Měření 1 spektra: reálně okolo 15 min, dle možností rentgenového přístroje (pulzní/kontinuální, atd.)
 - Referenční svazky (kontinuální): typicky 3 min při 13 000 imp/s;
 - Klinické svazky: aspoň 30 s svazku při 13 000 imp/s;
 - U pulzních zdrojů nutné větší počet spuštění přístroje.

Měření spekter referenčních svazků

- Příklad referenčního svazku RQR08 – optimální měření.
 - 5 min měření při 13 000 imp/s, kontinuální svazek.

Modrá – naměřené detektorové spektrum; Červená – dekonvolované fluenční spektrum.

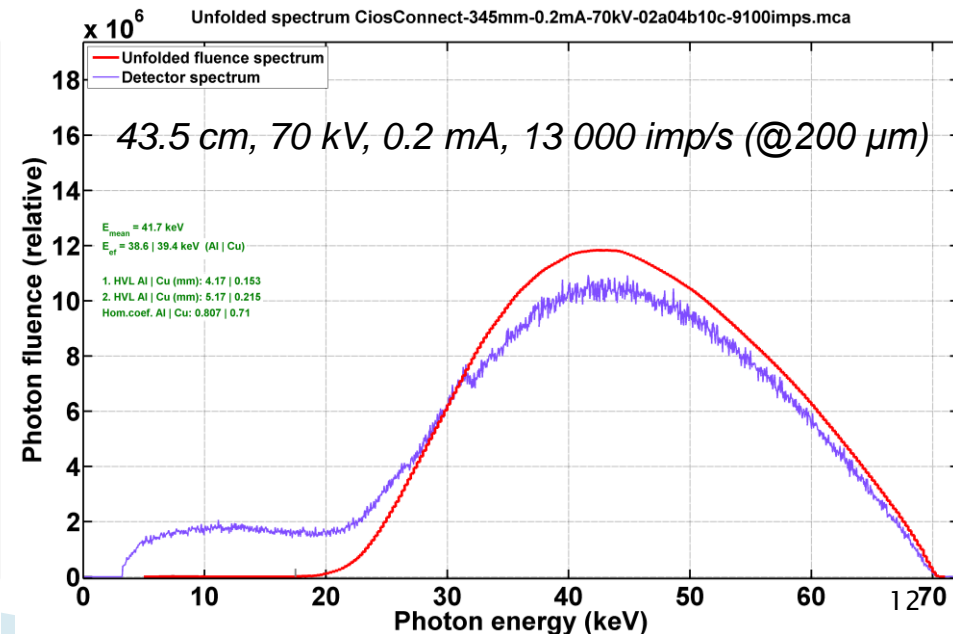
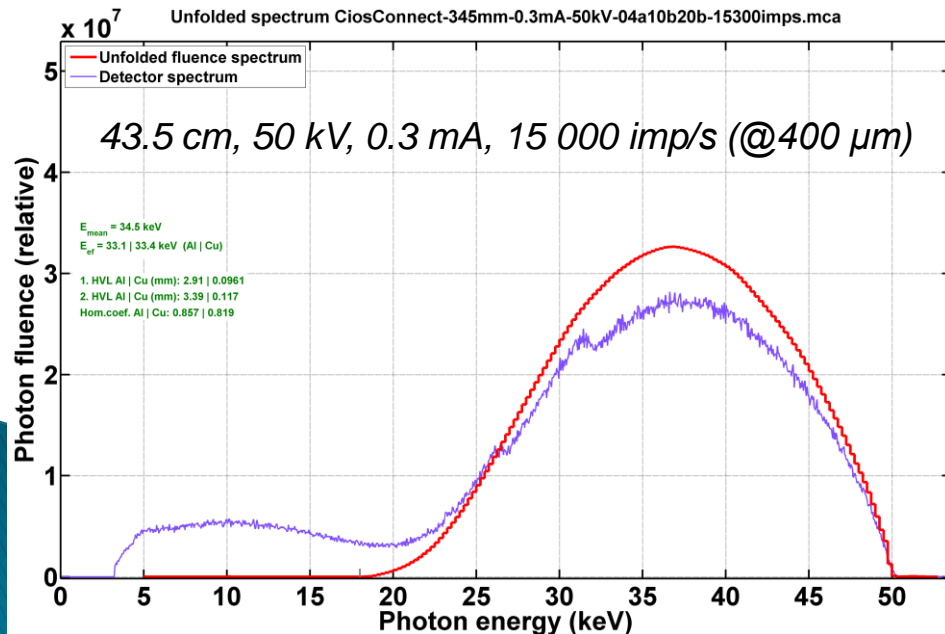


Měření spekter klinických svazků

- Měření v nemocnicích v Římě (OPBG) a v Braunschweigu (SKBS).

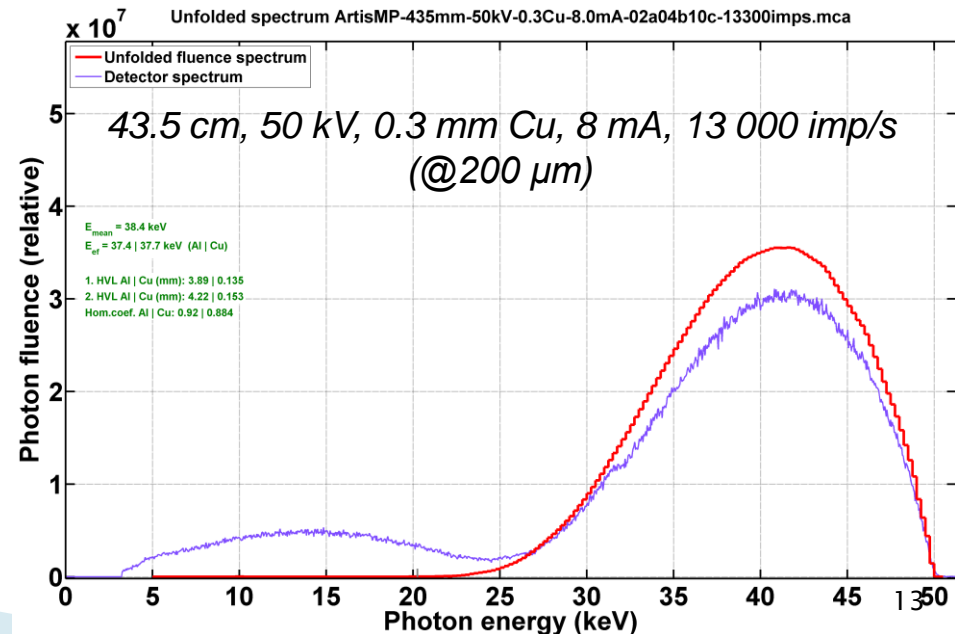
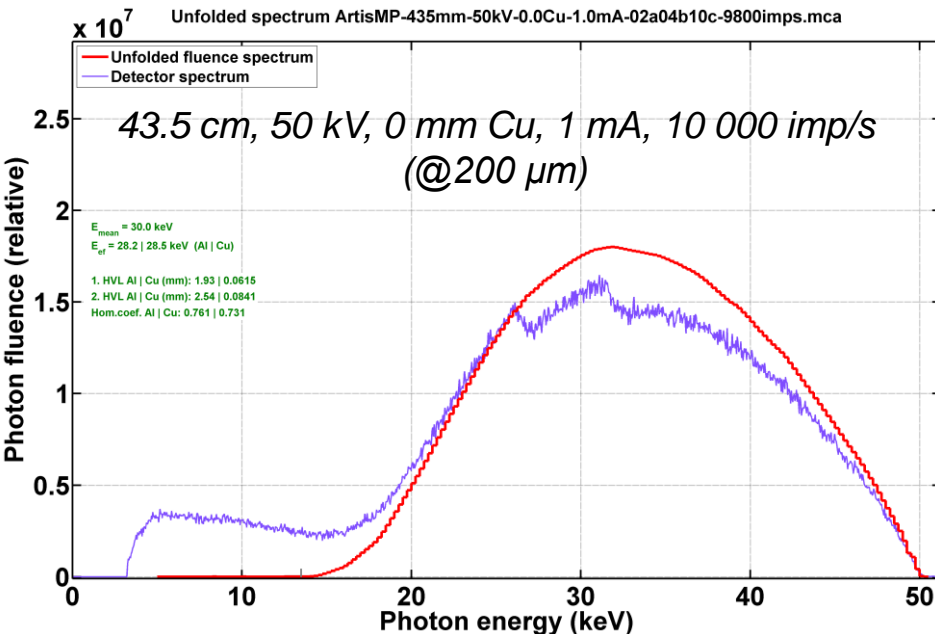
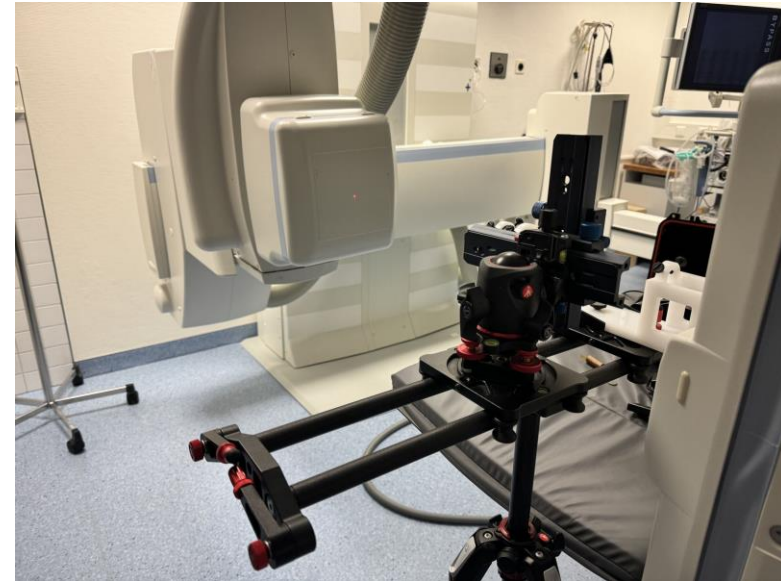
- **Siemens Cios Connect**

- Příklad jednoduchých spekter;
- Koncový bod 50 a 70 keV, souhlasí s nastavením kV.



Měření spekter klinických svazků

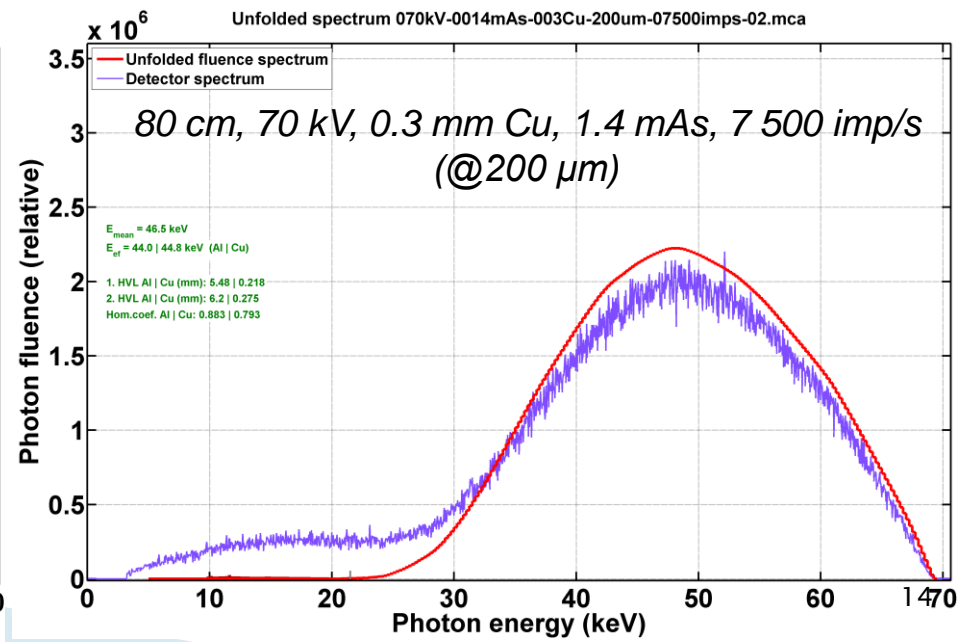
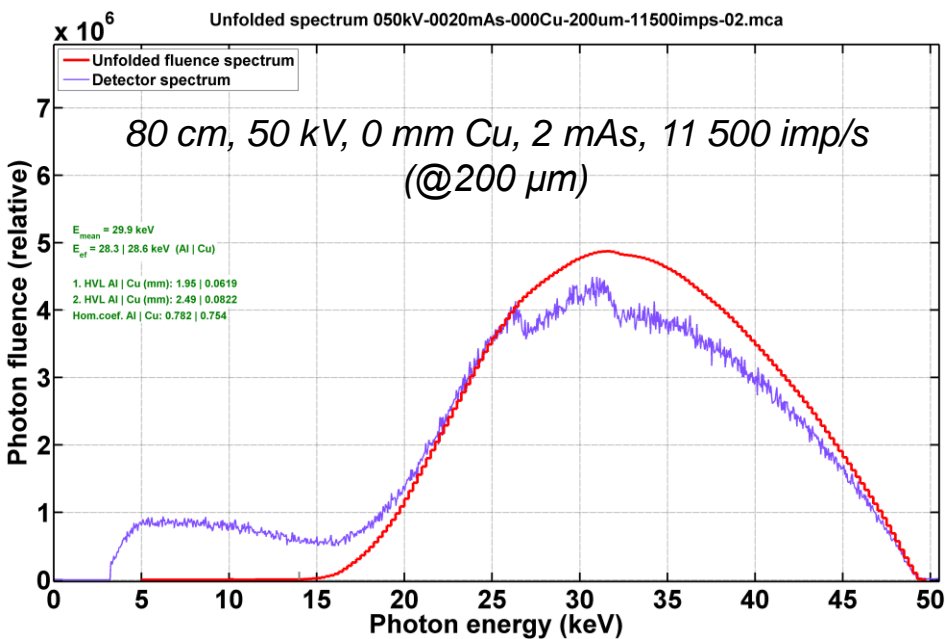
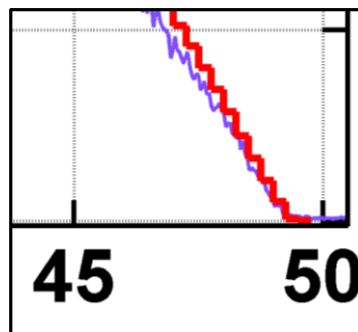
- **Siemens Artis zee multi-purpose**
 - Příklad jednoduchých spekter;
 - Bylo však nutné přepnutí do servisního režimu (přijel technik Siemens);
 - Koncový bod 50 keV, souhlasí s nastavením kV.



Měření spekter klinických svazků

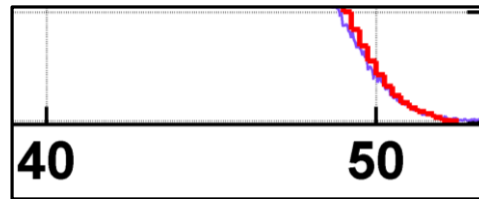
- Příklad, kdy změřený koncový bod je nižší než nastavené napětí (pro daný proud).

- **Siemens Luminos dRF Max**



Měření spekter klinických svazků

- Příklad voltage ripple – změny napětí při činnosti: konec spektra je rozmazaný a koncový bod je vyšší než nastavené napětí.

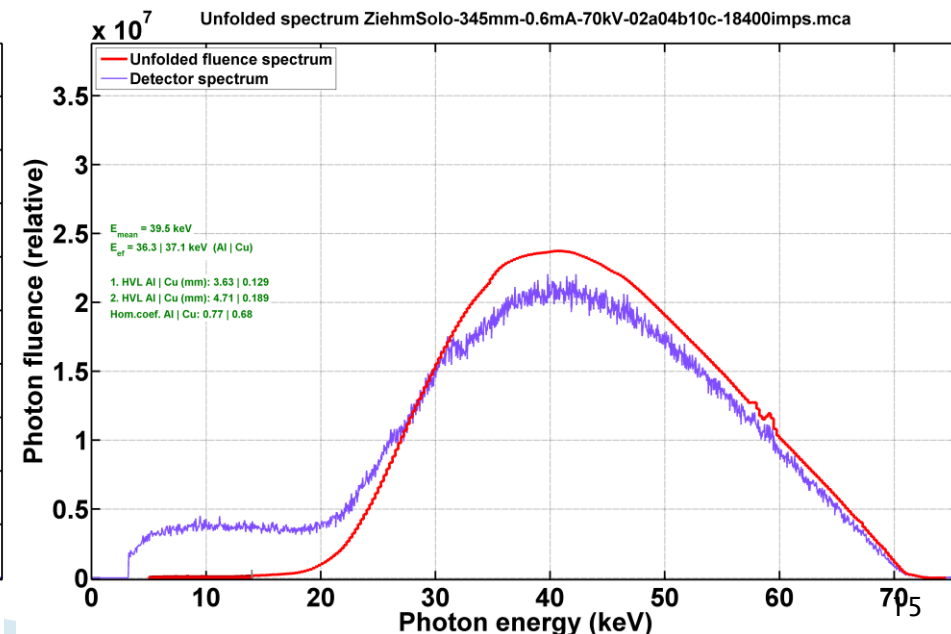
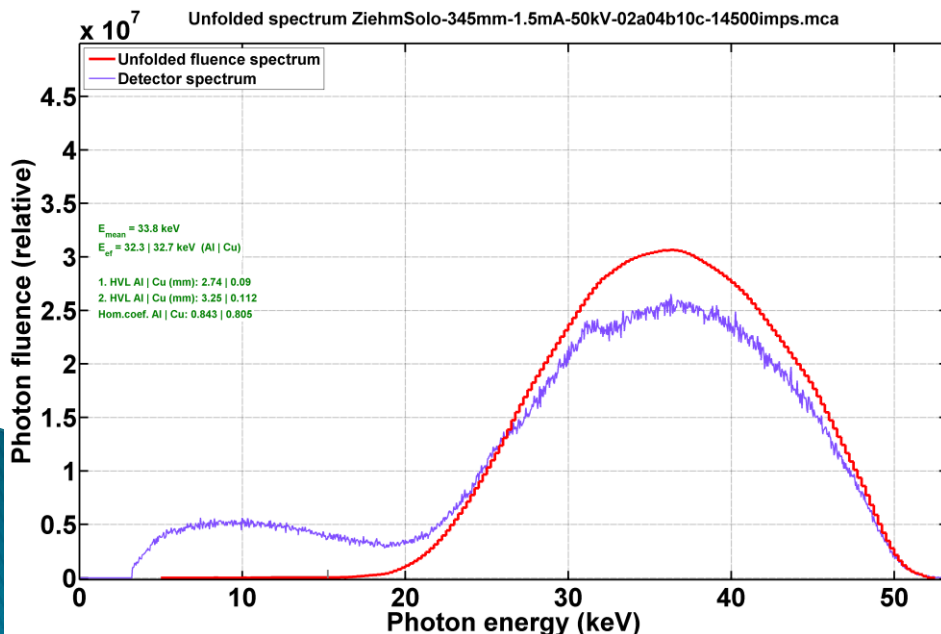


- **Ziehm Solo**
- Vyšší kV – u 70 kV již patrné charakteristické píky W z anody.

34.5 cm, 50 kV, 1.5 mA, 15 000 imp/s (@200 μ m)

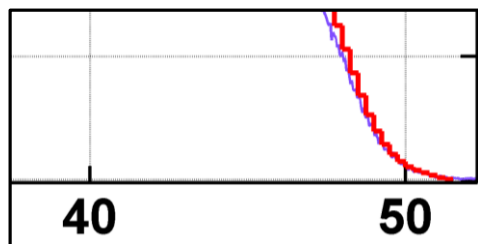


34.5 cm, 70 kV, 0.6 mA, 18 000 imp/s (@200 μ m)

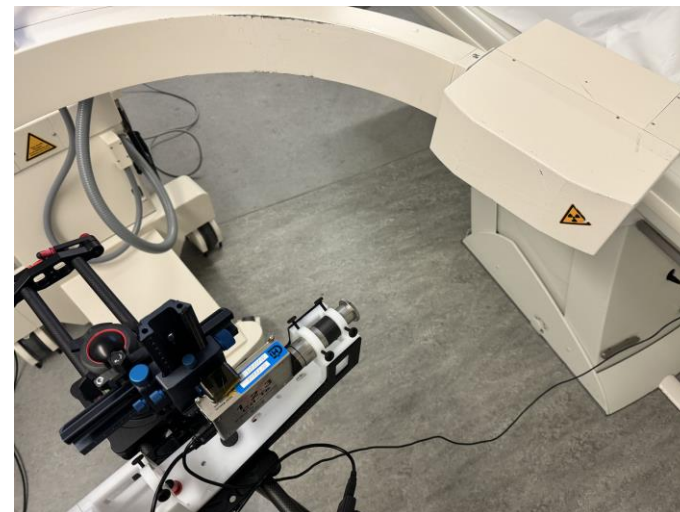


Měření spekter klinických svazků

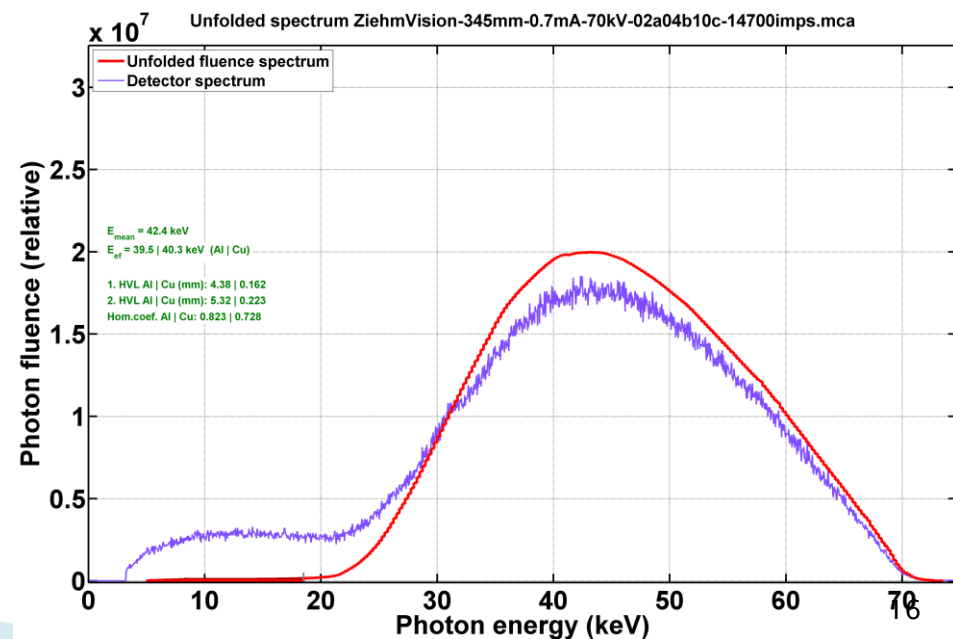
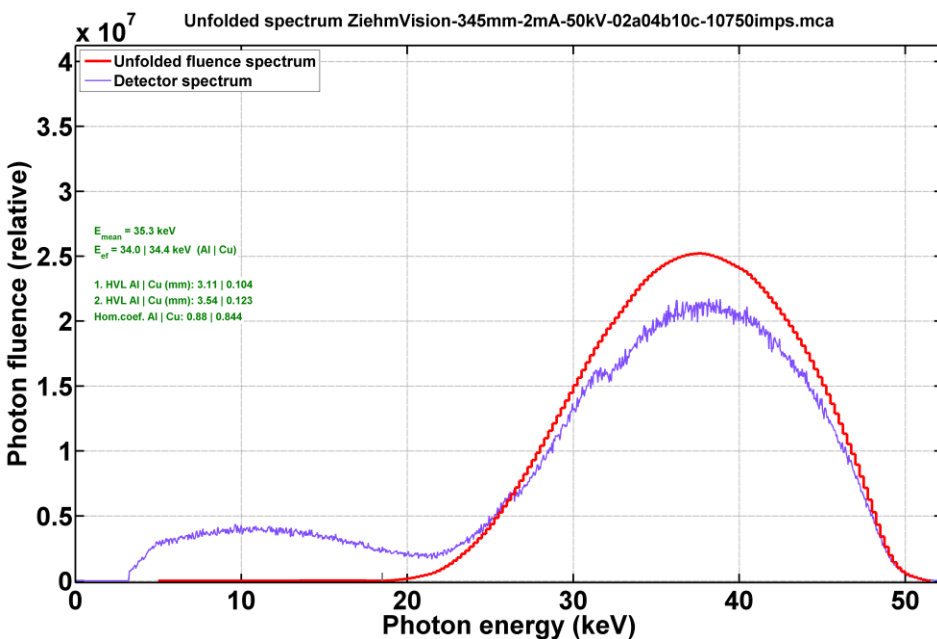
- **Ziehm Vision**
 - Znatelný voltage ripple.



34.5 cm, 50 kV, 2 mA, 11 000 imp/s (@200 μ m)



34.5 cm, 70 kV, 0.7 mA, 15 000 imp/s (@200 μ m)



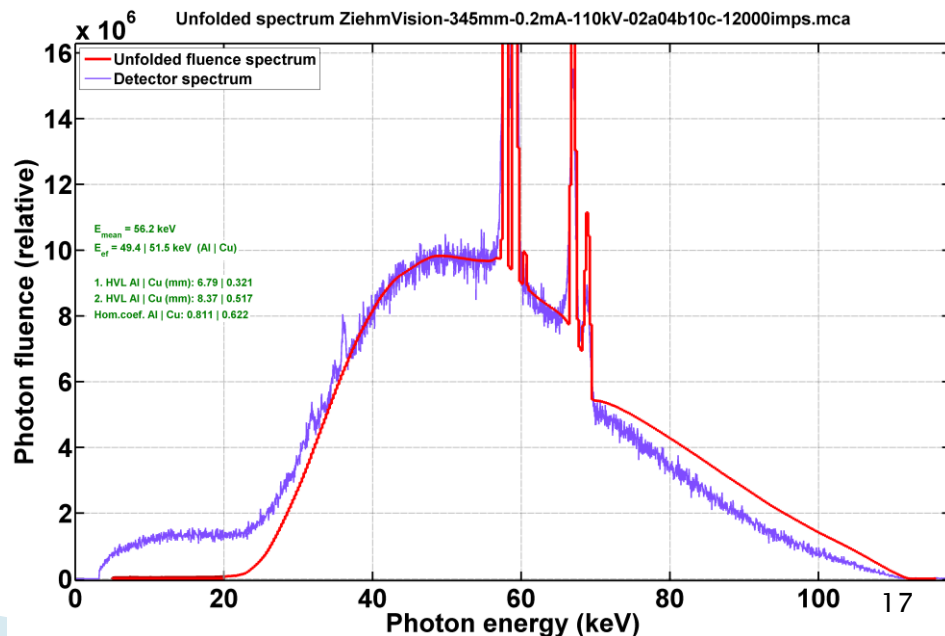
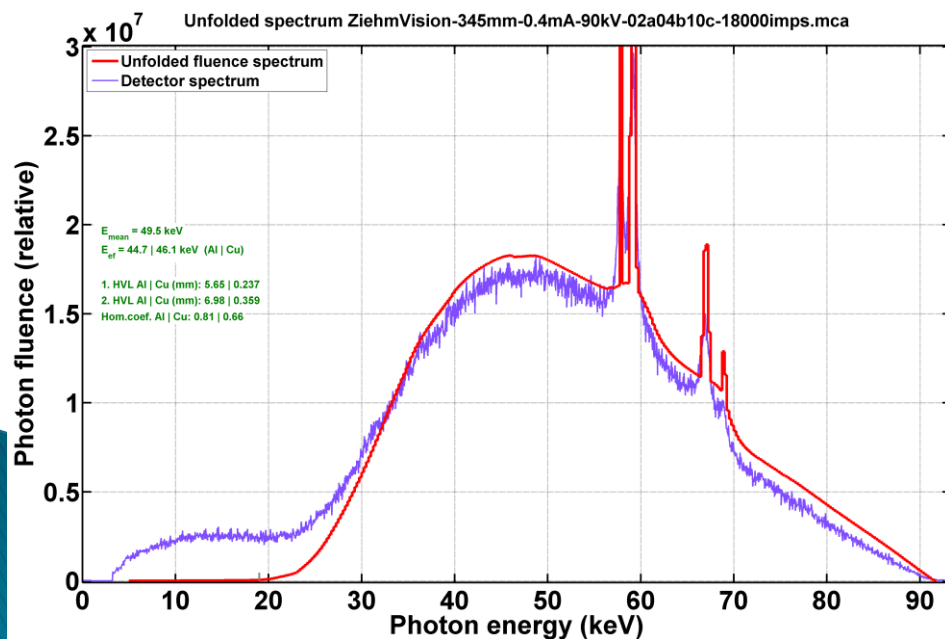
Měření spekter klinických svazků

- **Ziehm Vision**

- Vyšší kV;
- Vyšší četnost impulzů (18 000 imp/s) -> píky už jsou širší.

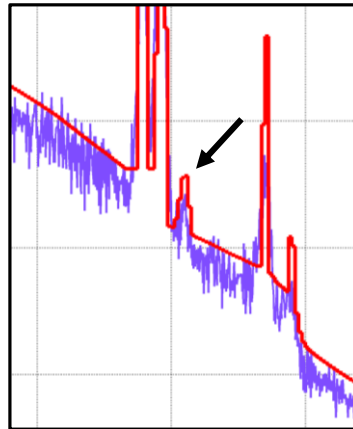
34.5 cm, 90 kV, 0.4 mA, 18 000 imp/s (@200 μ m)

34.5 cm, 110 kV, 0.2 mA, 12 000 imp/s (@200 μ m)



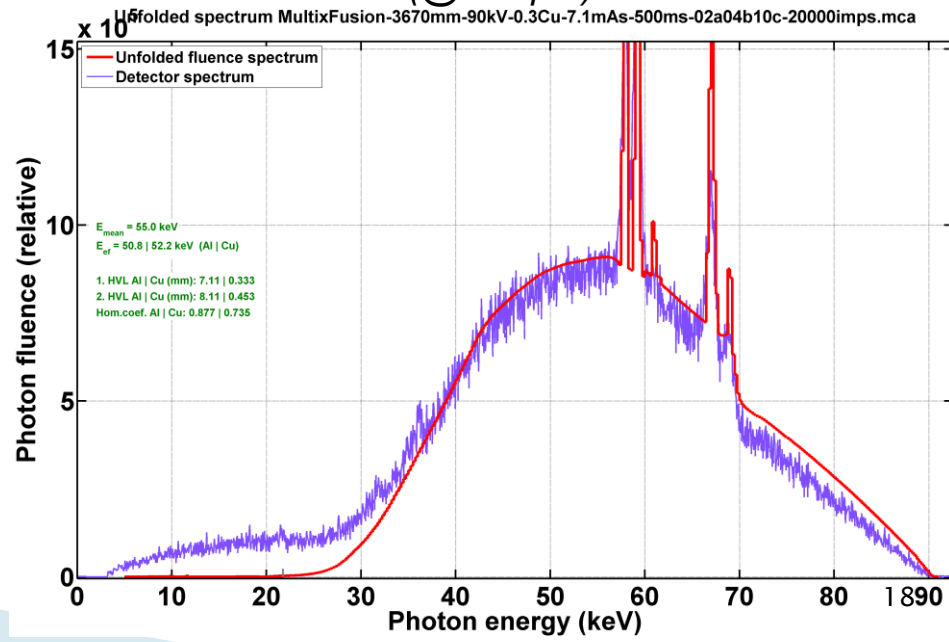
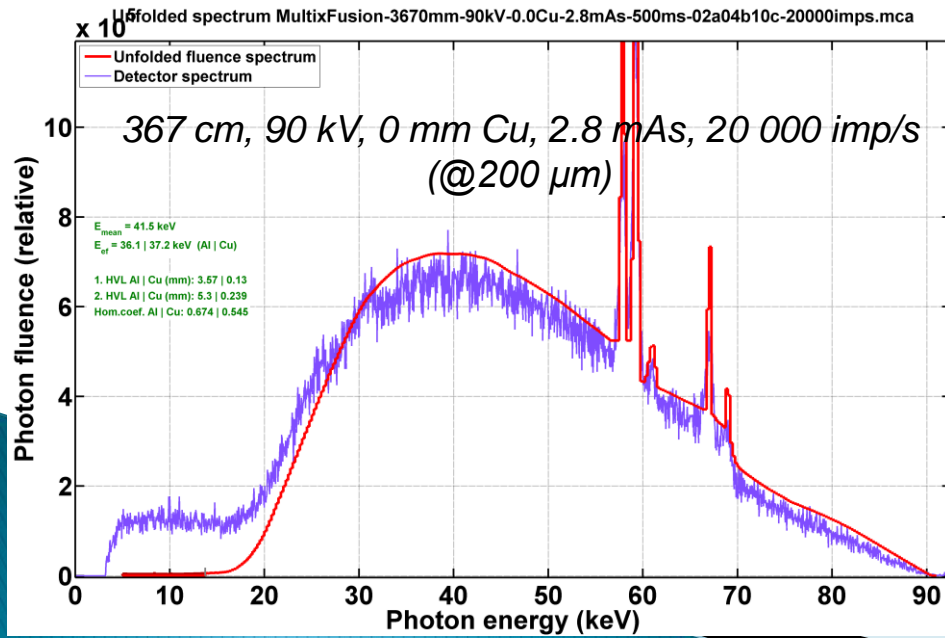
Měření spekter klinických svazků

- Příklad Re píků ve spektru (anoda je slitina W+Re) – nemá vliv na dozimetrii, ale je to ve spektru vidět.



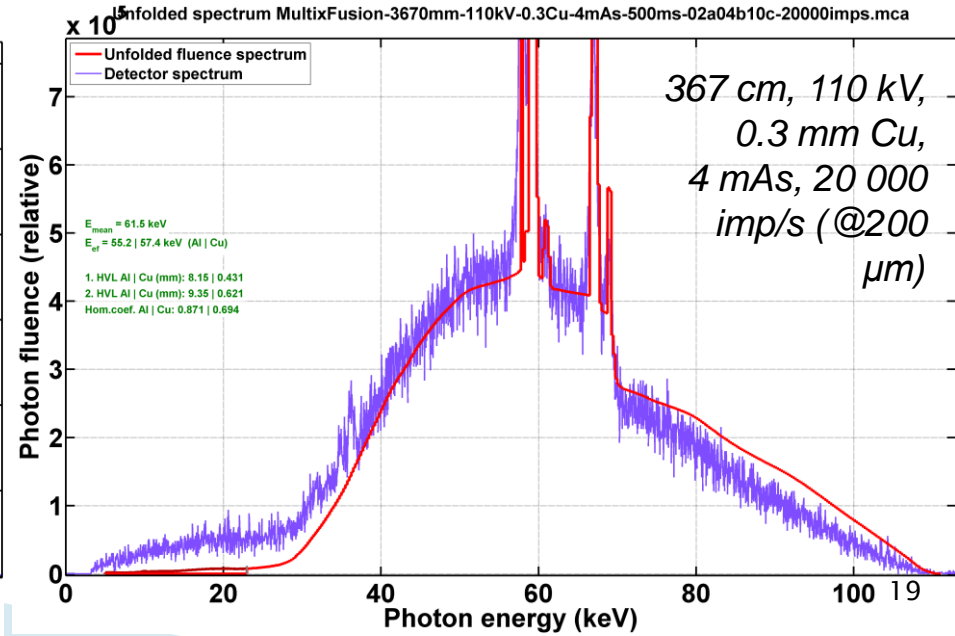
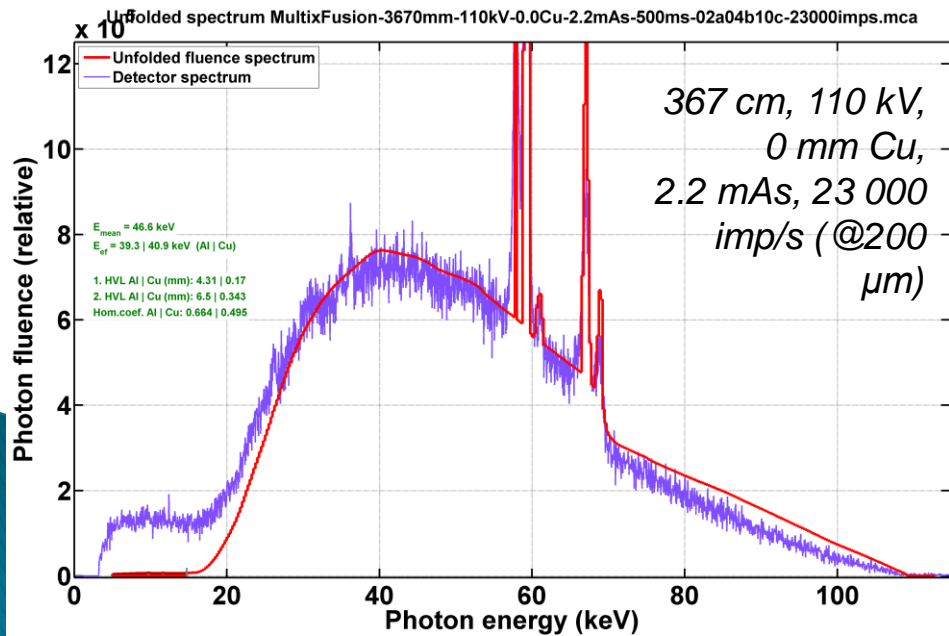
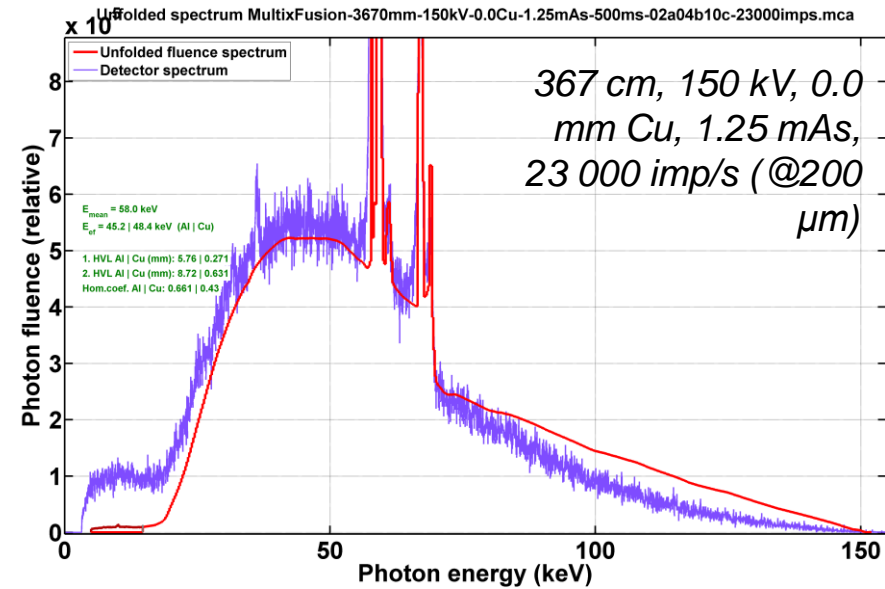
- **Siemens Multix Fusion**
 - 500 ms pulzy.

367 cm, 90 kV, 0.3 mm Cu, 7.1 mAs, 20 000 imp/s
(@200 μm)



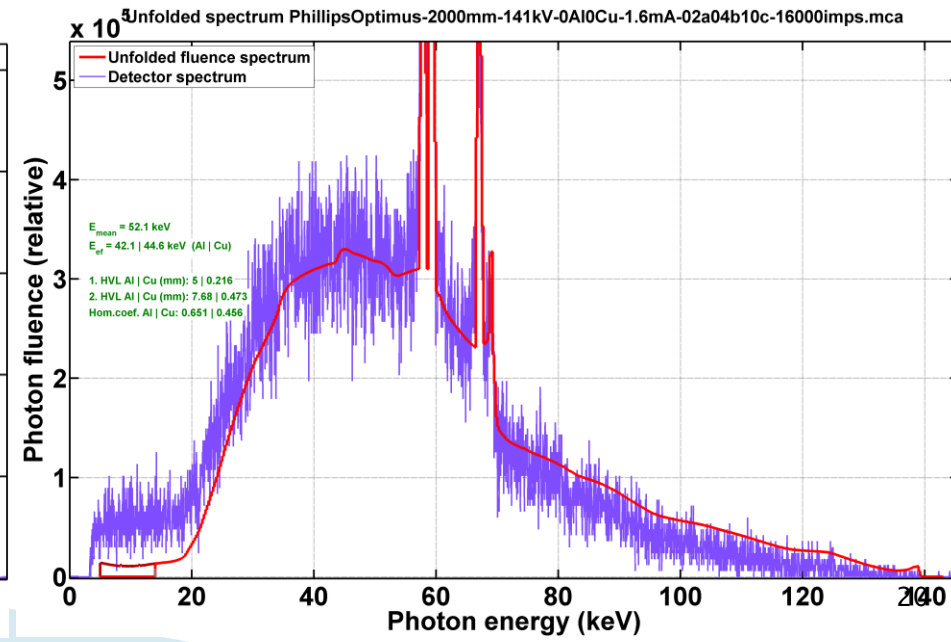
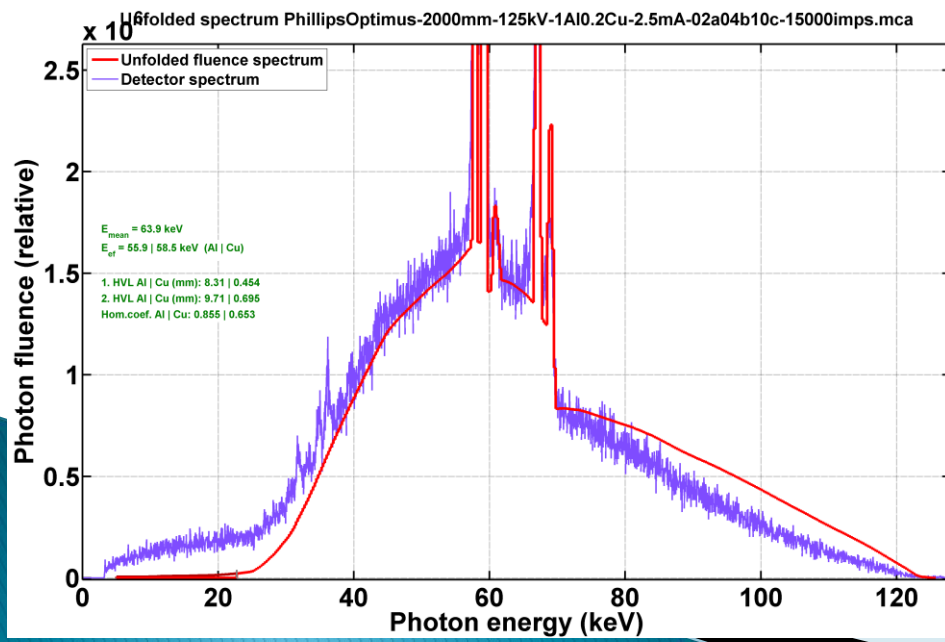
Měření spekter klinických svazků

- **Siemens Multix Fusion**
 - 500 ms pulzy;
 - Příklad spekter 110 a 150 kV;
 - obecně nižší statistika spekter při vyšším kV (více E binů), potřeba delší čas měření.



Měření spekter klinických svazků

- **Philips Optimus**
 - Opět Re píky ve spektru;
- I ze špatné statistiky se dá získat přibližné primární spektrum.



Možnosti spolupráce

- Jednorázové měření spekter klinických rentgenových svazků;
 - Kontaktujte nás;
 - Vhodné předem orientačně znát minimální dosažitelný příkon K_{air} v požadovaném místě měření a dosažitelnou délku ozařování (pulzní/kontinuální režim – potřebný počet zapnutí přístroje).
- Zapojení do projektu např. jako „collaborator“ – projevení zájmu o téma, projekt a jeho výsledky, ale bez závazků.

Děkuji za pozornost!

Kontakt:

Jana Šmoldasová, jsmoldasova@cmi.cz

Jaroslav Šolc, jsolc@cmi.cz

Český metrologický institut
Radiová 1288/1a
102 00 Praha

The project **22NRM01 TraMeXI** has received funding from the European Partnership on Metrology, co-financed from the European Union's Horizon Europe Research and Innovation Programme and by the Participating States.



Měření v Braunschweigu.

Měření v Římě.

