

Současné aktivity ČMI zaměřené na aplikace v oblasti radiologie

Jana Šmoldasová a Jaroslav Šolc

Český metrologický institut

EUROPEAN
PARTNERSHIP



Co-funded by
the European Union

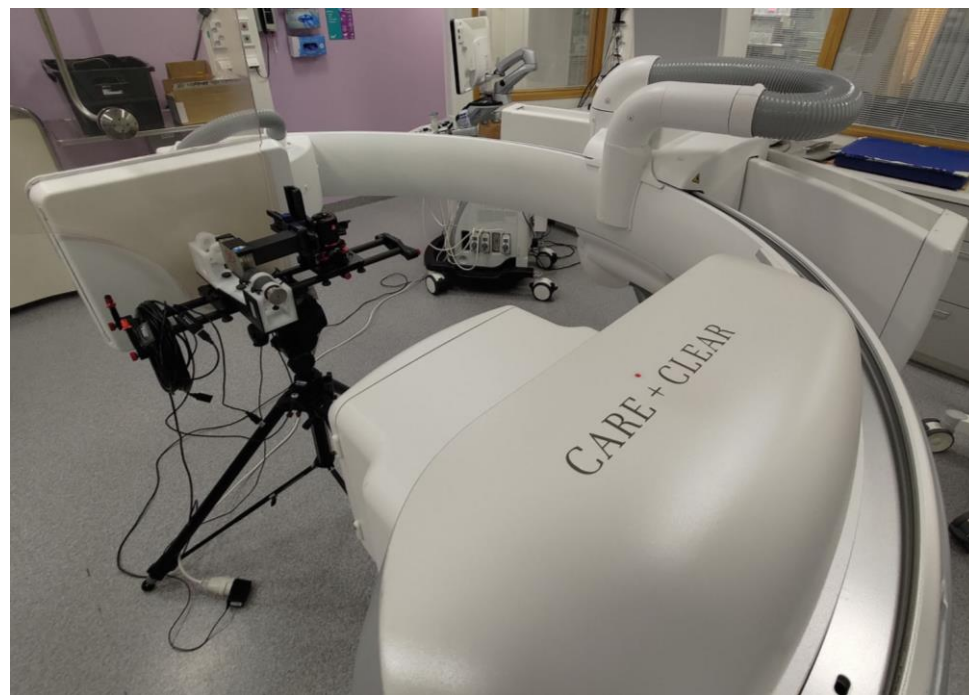
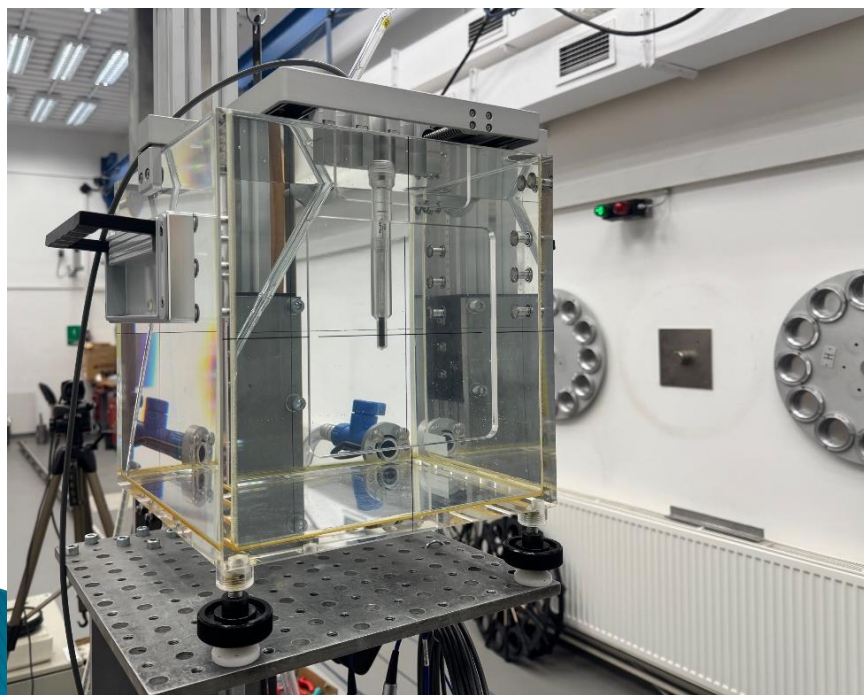
METROLOGY
PARTNERSHIP



13. Konference radiologické fyziky, 10.4.2025

Osnova

- Metrologické zabezpečení měřidel veličin IZ používaných v radiologii
- Projekty s tematikou metrologie IZ v medicíně
- Spektrometrie klinických rentgenových svazků



- Český metrologický institut (ČMI)
 - národní metrologický institut zřízený ministerstvem průmyslu a obchodu;
 - vykonává aktivity dle zákona o metrologii
 - mj. kalibrace a ověřování dozimetrických měřidel v radiodiagnostice a radioterapii
 - provádí metrologický výzkum a vývoj s cílem zajistit metrologické zabezpečení nových požadavků, např. ve zdravotnictví:
 - vývoj referenčních měřicích metod a systémů s metrologickou návazností pro zdravotnické přístroje;
 - specificky v oblasti IZ vývoj referenčních zdrojů IZ nově využívaných radionuklidů v radioterapii;

Metrologické zabezpečení měřidel

- Ve fotonové dozimetrii 2 státní etalony:
 - státní etalon absorbované dávky ve vodě
 - státní etalon kermy ve vzduchu
- Vybavení:
 - 160 kV průmyslový rentgen (W anoda, Be okénko)
 - 100 kV mamografický rentgen (Mo anoda)
 - ozařovač Chisobalt s ^{60}Co (cca 16 Gy/h v 1 m)
 - kola s filtry pro rentgenové svazky dle norem (např. ISO 4037 (ochrana před zářením), IEC 61267 (radiodiagnostika))



Metrologické zabezpečení měřidel

- Radiodiagnostická dozimetrická měřidla
 - Metrologické požadavky dle OOP 0111-OOP-C019-11
 - Technické zkoušky radiologických metrologických parametrů ve svazcích záření X RQR2 až RQR 10, RQT8 až RQT10 a RQR-M1 až RQR-M4;
- Ročně cca 50 měřidel (6-8 mammo)
- Lhůta pro ověření je 2 roky
- Nomex, RaySafe Xi, RaySafe X2, Piranha, Mako, série dozimetrů s ionizačními komorami Radcal, aj.



RaySafe



Mako



Nomex

Metrologické zabezpečení měřidel

- Radioterapeutická dozimetrická měřidla
 - Metrologické požadavky dle OOP 0111-OOP-C020-11
 - Technické zkoušky radiologických metrologických parametrů dle IAEA TRS 398:
 - ve svazku ^{60}Co (měřidla s ionizačními komorami pro elektrony, vysokoenergetické fotony i protony)
 - ve svazcích záření X vhodných HVL (měřidla s ionizačními komorami pro záření X o nízkých a středních energiích)
- Ročně cca 30 měřidel + podobný počet v AMS
- Lhůta pro ověření je 2 roky
- Sestavy tvořené elektrometrem Unidos, Unidos E, Unidos webline, Unidos Tango a Romeo, DOSE 1, DOSE 2, TomoElectrometer nebo PC Electrometer, ke kterému je připojena ionizační komora určená pro daný druh a energii záření.



Kalibrace v dávce ve vodě ve svazku ^{60}Co



Malý fantom PMMA



Unidos Tango

Výzkumné projekty: TraMeXI



- 22NRM01 TraMeXI (2023 – 2026)
- Traceability in medical X-ray imaging dosimetry
- Vedoucí: STUK – finský metrologický institut
- <https://tramexi.com/>
- Návrh a realizace nových referenčních kvalit rentgenového záření pro kalibraci přístrojů
 - RQR s AI filtrací již nejsou reprezentativní pro klinické rentgeny => přístroje jsou používány ve spektrech jiných parametrů, než v jakých byly kalibrovány
 - Navržené nové kvality: RQR + 0.1/0.3/0.9 mm Cu
 - Realizováno v ČMI
 - Návrh začlenění do aktualizace příslušných norem
- Spektrometrie rentgenových svazků
 - Referenční i klinické
- Návrh harmonizovaných kalibračních a měřicích postupů pro rentgenové multimetry (XMM)

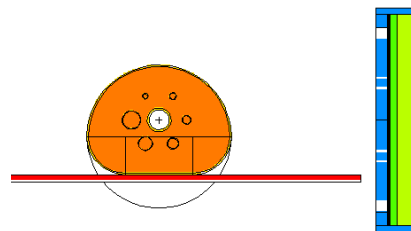


Výzkumné projekty: AlphaMet

- 22HLT03 AlphaMet (2023-2026)
- Evropský metrologický výzkumný projekt
- Metrologie pro **cílenou terapii alfa radionuklidy**, zejména ^{225}Ac
 - Standardizace aktivity alfa radionuklidů
 - Mezinárodní porovnání měření aktivity ^{225}Ac
 - Zajištění metrologického řetězce měření aktivity ^{225}Ac
 - Mezinárodní porovnání radionuklidových kalibrátorů
 - Mezinárodní porovnání měření aktivity v preklinických centrech a v nemocnicích
 - SPECT zobrazování distribuce aktivity
 - Orgánová dozimetrie
- ČMI
 - Vedoucí projektu (Jan Rusňák)
 - Standardizace aktivity, porovnání
 - Monte Carlo simulace SPECT kamery (Siemens Symbia Intevo Bold - FN Motol)



Radionuklidový kalibrátor



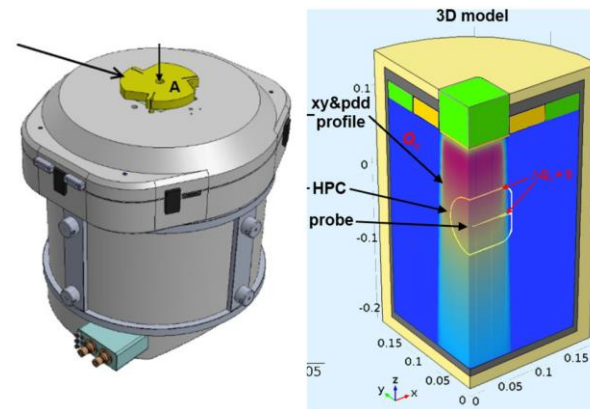
MC model gama kamer a NEMA fantomu

Výzkumné projekty: FLASH-DOSE

- 24NRM01 FLASH-DOSE (2025-2028)
- Evropský metrologický výzkumný projekt
- Vedoucí: VSL – nizozemský metrologický institut
- Cílem je vytvořit **metrologický řetězec pro dozimetrii** v elektronových a protonových polích s **velmi vysokým dávkovým příkonem** (UHDR; FLASH radioterapie) tak, aby existovaly metrologické prostředky pro zajištění budoucího Code of Practice pro tyto modality.
- ČMI
 - Vedoucí WP Impact
 - Monte Carlo výpočty korekčních faktorů detektorů



*Zařízení pro FLASH
radioterapii elektrony*



*Přenosný kalorimetr pro dozimetrii FLASH
protonových svazků*

Výzkumné projekty: Ledvina

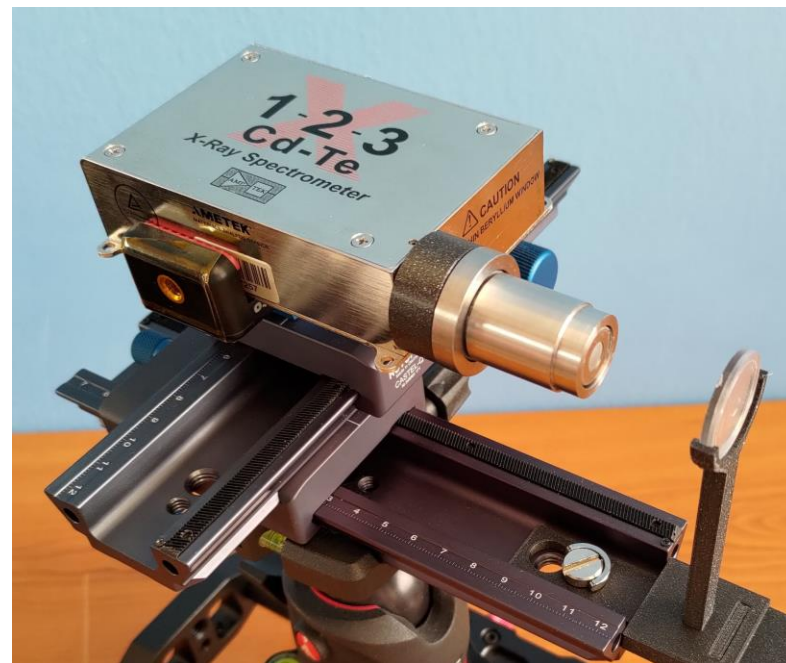
- „**Ledvina**“ – interní projekt ČMI v rámci dlouhodobého rozvoje metrologie IZ
 - vývoj a realizace antropomorfního modelu ledvin pro **zajištění metrologické návaznosti měření aktivity** pomocí kvantitativního zobrazování zejména v souvislosti s léčbou rakoviny prostaty a neuroendokrinních onemocnění pomocí radionuklidu ^{177}Lu .
 - Cíl: „referenční“ fantom ledviny pro kalibraci SPECT kamer (obdobně jako ČMI fantom Elvis pro aktivitu ve štítné žláze)
 - Upevnění do NEMA fantomu (2025), eventuálně včetně blízkých orgánů (2026), výhledově (2026) v antropomorfním fantomu (jako Elvis) – dle doporučení uživatelů.

Výzkumné projekty: v přípravě

- Evropské metrologické projekty - výzva Health 2025
- Podány návrhy na **témata** metrologických projektů (výběr):
 - **Traceable metrology for emerging radiotherapy modalities using charged particle beams**
 - Metrologie pro VHEE (Very High Energy Electron) svazky
 - Dozimetrie v úzkých elektronových svazcích
 - Detektory pro dozimetrii iontových svazků
 - **A metrology-driven framework for the cost-effective optimisation of personalised treatment planning for targeted alpha therapies**
 - Metrologická podpora pro personifikovanou dozimetrii v cílené alfa radioterapii;
 - **Metrology for diagnostic imaging using spectral CT**
 - Spektrometrie svazků duálních CT
 - Antropomorfní fantomy pro kalibraci lineárního součinitele zeslabení
- 5/2025 – výběr témat k rozpracování, pak příprava návrhu projektů
- 11/2025 – výběr projektů k financování

Spektrometrie rentgenových svazků

- Kompaktní CdTe detektor s integrovaným elektrickým chlazením;
- Snadná manipulace a transport, není nutné řešit chlazení;
- CdTe detektor X-123CdTe firmy Amptek;
 - Elektrické chlazení na 220 K.
- **Verifikace a validace rentgenových spekter** emitovaných (nejen klinickými) rentgenkami:
 - Znalost **tvaru** spektra (energetické distribuce fotonů);
 - Verifikace **napětí** na trubici (maximální energie fotonů);
 - Stanovení **polotloušťky** (HVL) – nezávislá metoda oproti měření ionizační komorou.



Jinst

PUBLISHED BY IOP PUBLISHING FOR SISSA MEDIALAB

RECEIVED: November 15, 2024

ACCEPTED: December 18, 2024

PUBLISHED: February 12, 2025

Improved setup and characterization of cadmium telluride detector for in-beam X-ray spectrometry up to 300 kV at Czech Metrology Institute

Jaroslav Šolc[✉],* Jana Šmoldasová[✉], Ludmila Štemberková, Vladimír Sochor[✉] and Zdenek Vykydal[✉]

Czech Metrology Institute (CMI),
Okružní 31, CZ-638 00 Brno, Czech Republic

E-mail: jaroslav.solc@cmi.gov.cz

DOI: [10.1088/1748-0221/20/02/P02012](https://doi.org/10.1088/1748-0221/20/02/P02012)

Spektrometrie: stanovení kVp

- Připravena metodika, která ČMI umožní poskytovat kalibraci v kVp
 - Multimetry
- Validace metody provedena porovnáním s hodnotou na napěťovém děliči v laboratoři PTB (Německo) a STUK (Finsko).

	Český metrologický institut Okružní 31 638 00 Brno	Identifikační číslo dokumentu: 115-MP-C006	Počet příloh: 0 Počet listů: 1/12 Výtisk č.:
Název dokumentu: Stanovení vysokého napětí na rentgenové trubici pomocí spektrometrie rentgenových svazků			
Doplňkové údaje (účel a obsah dokumentu), Anotace: Interní pracovní postup ČMI			
Zařazení dokumentu dle úrovně:		3. úroveň Metodický pokyn	
Návaznost na dokument:		011-PJ-C001	



PUBLISHED BY IOP PUBLISHING FOR SISSA MEDIALAB

RECEIVED: November 15, 2024
ACCEPTED: December 18, 2024
PUBLISHED: February 12, 2025

The spectrometric practical voltage: determination of X-ray tube voltage up to 300 kV by in-beam X-ray spectrometry with a cadmium telluride detector

Jaroslav Šolc^{Ⓜ, a, *} Stefan Pojtinger^{Ⓜ, b} Jana Šmoldasová^{Ⓜ, a} Vladimír Sochor^{Ⓜ, a}
and Jan Rusňák^{Ⓜ, a}

^aCzech Metrology Institute (CMI), Okružní 31, CZ-638 00 Brno, Czech Republic

^bPhysikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Bundesallee 100, D-38116 Braunschweig, Germany

E-mail: jaroslav.solc@cmi.gov.cz

ABSTRACT: This paper describes a method for determining the energy of the X-ray spectrum end-point (E_{end}) by means of X-ray spectrometry performed with a CdTe detector. Designated the spectrometric

DOI: [10.1088/1748-0221/20/02/P02013](https://doi.org/10.1088/1748-0221/20/02/P02013)

Spektrometrie: mamografický rentgen

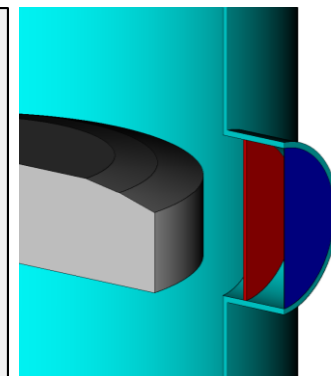
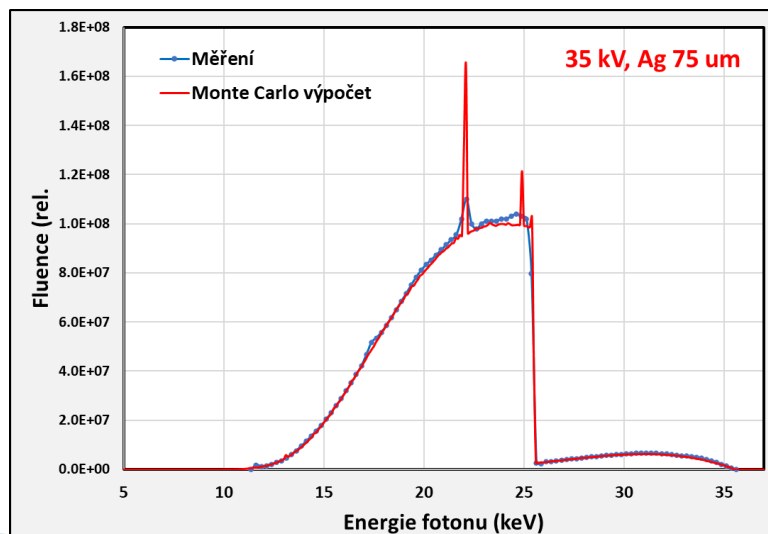
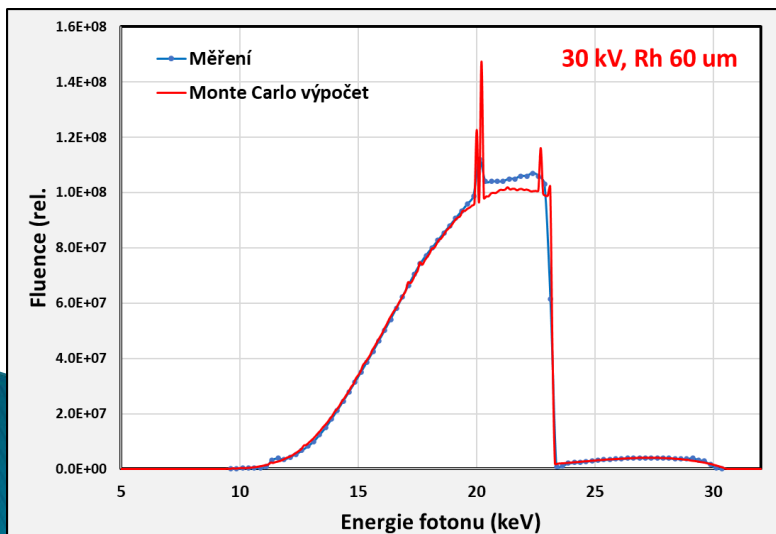
- Planmed Clarity
- Měření ve výrobní hale firmy v Helsinkách
 - 25-35 kV, 75 μm Ag nebo 60 μm Rh
 - Cca 100 mA, klinické podmínky.
- Porovnání se spektry vypočtenými pro tento rentgen pomocí Monte Carlo simulací.
 - Velmi dobrá shoda tvaru (tloušťky filtrů);
 - Ale kVp systematicky vyšší o 0.5 kV;
 - Polotloušťky (HVL) rozdíl 0-2%.



Spektrometrie Planmed Clarity

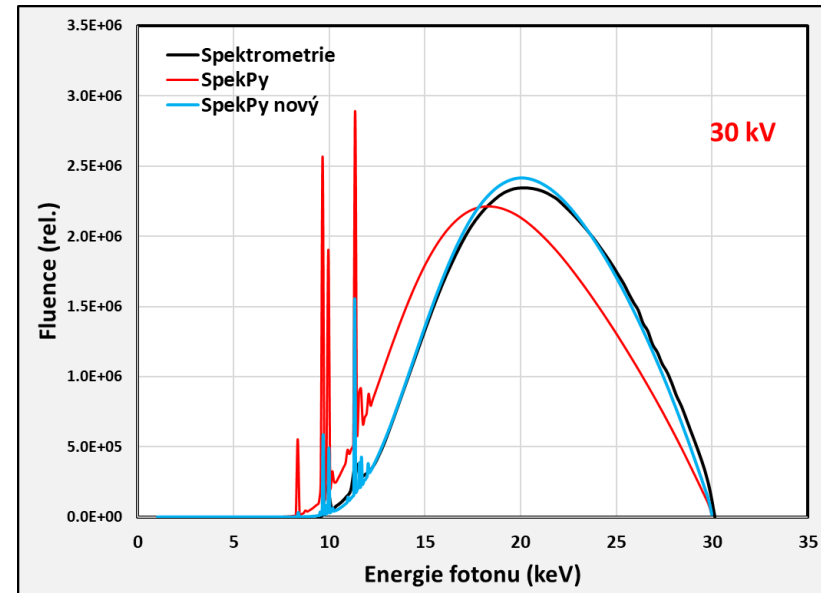
Porovnání měření a MC simulace (30 kV + Rh filtrace a 35 kV + Ag filtrace)

MC model



Spektrometrie: radioterapeutický rentgen

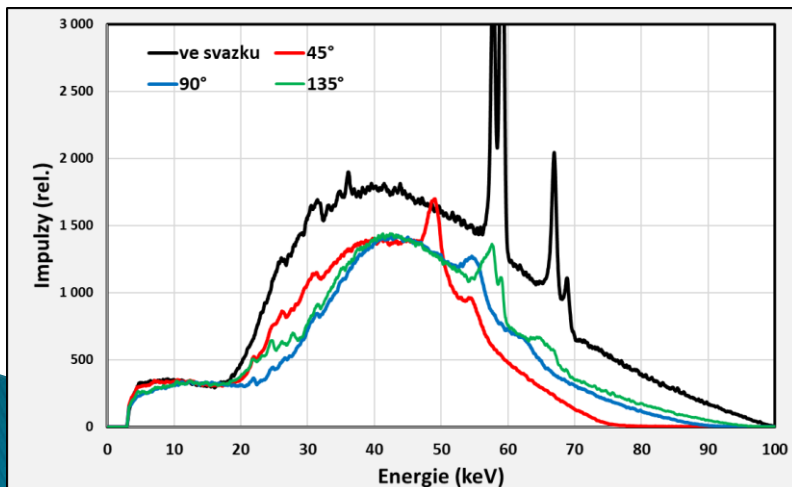
- Womed T-200
- Měření na pracovišti Multiscan s.r.o.
(poliklinika Vektor, Pardubice, Jiří Mynařík)
- 100 a 250 cm od ohniska, 20 – 200 kV,
klinické proudy 8-20 mA, příkony 0.4 – 1
mGy/s
- Porovnání s výpočty aplikací SpekCalc a
SpekPy a s měřením HVL ionizační
komorou
- Spektra s nízkým kV – nesoulad tvarů
spekter (viz graf)
 - Lepší shoda po upřesnění filtrace;
 - => Teoretické spektrum je tak kvalitní,
jak kvalitní jsou informace o anodě a
filtraci;
 - Spektrometrie => **validace**
- HVL - mírné rozdíly
 - Spektrometrie => **verifikace** HVL
stanovených jinými metodami.



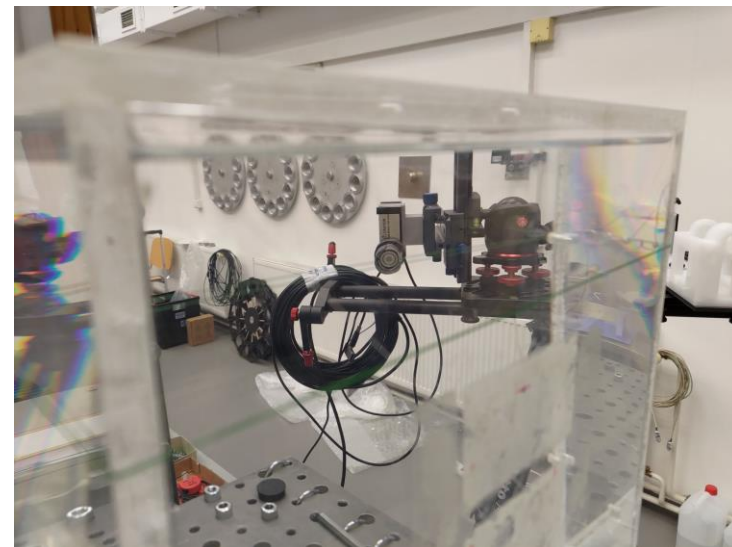
Spektrometrie: rozptýlené záření



- Studentská práce KDAIZ FJFI (Eliška Veselá):
 - Měření spekter **primárního** rentgenového svazku a **rozptýleného** záření za účelem **optimalizace radiační ochrany** personálu při intervenčních zákrocích a zlepšení smysluplnosti nákupu stínících pomůcek.
- Provedeno měření v ČMI na fantomu ve spektrech 70 kV, 100 kV, 120 kV (RQR) +0.3/+0.9 mm Cu, 15 cm od osy fantomu, ve svazku + 3 úhly.
- 5/2025 – plánováno měření v Thomayerově nemocnici
- Výsledky budou prezentovány na DRO 2025.



*Detektorová
spektra 100 kV
+ 0.3 mm Cu
pod různými
úhly*



Spektrometrie: použitelnost

- **Měření tvaru energetického spektra fotonů:**
 - Omezení příkonem K_a (stovky $\mu\text{Gy/s}$ v kontinuálním režimu) a zatížením rentgenu (pulzní/kontinuální, počet spuštění);
- **Jen stanovení kVp:**
 - Není omezení příkonem K_a - uměle odfiltrujeme většinu spektra;
 - Omezení zatížením rentgenu (pulzní/kontinuální, počet spuštění);
 - Koncový bod může záviset na proudu na rentgenové trubici;
- **Časová náročnost:**
 - Sestavení aparatury a zaměření ohniska: 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 nutný větší počet spuštění přístroje.

Závěr

- V oblasti IZ ČMI provádí
 - metrologické zabezpečení měřidel IZ;
 - metrologický výzkum a vývoj k zajištění metrologické podpory nových přístrojů a metod v klinické praxi;
 - účast v evropských metrologických výzkumných projektech;
 - spektrometrie rentgenových svazků.
- Dílčí výsledky projektu TraMeXI:
 - webinar “Updates on X-ray imaging Dosimetry Practices”, 25.4.2025
 - Návrh nových referenčních svazků
 - Definice měřicích veličin XMM
 - Implementace nových metod do klinické praxe
 - Registrace: <https://bipm-org.zoom.us/meeting/register/hHZpqISnSbqLk08tblr2sw>
- Časopis Metrologie 1/2025
 - Tematická příloha: metrologie IZ
 - <https://unmz.gov.cz/wp-content/uploads/metrologie-pr>



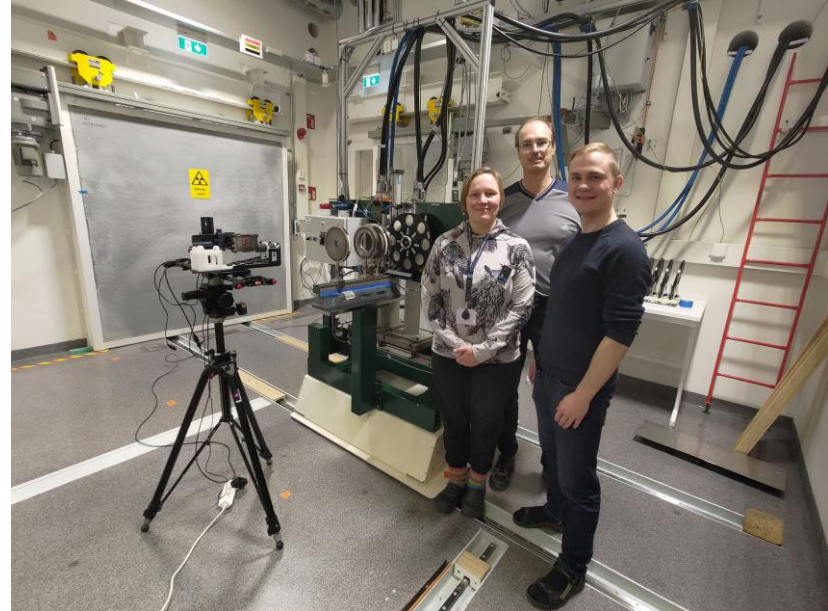
Děkuji za pozornost!

Kontakt:

Jana Šmoldasová, jana.smoldasova@cmi.gov.cz

Jaroslav Šolc, Jaroslav.solc@cmi.gov.cz

Český metrologický institut
Radiová 1288/1a
102 00 Praha



Měření v Helsinkách

Měření v ČMI

