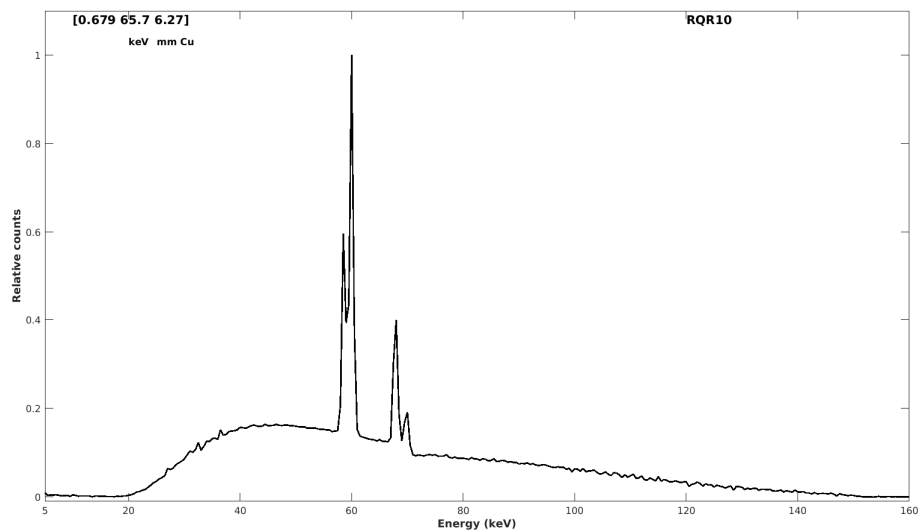


# Katalog rentgenových spekter měřených polovodičovým CdTe detektorem.

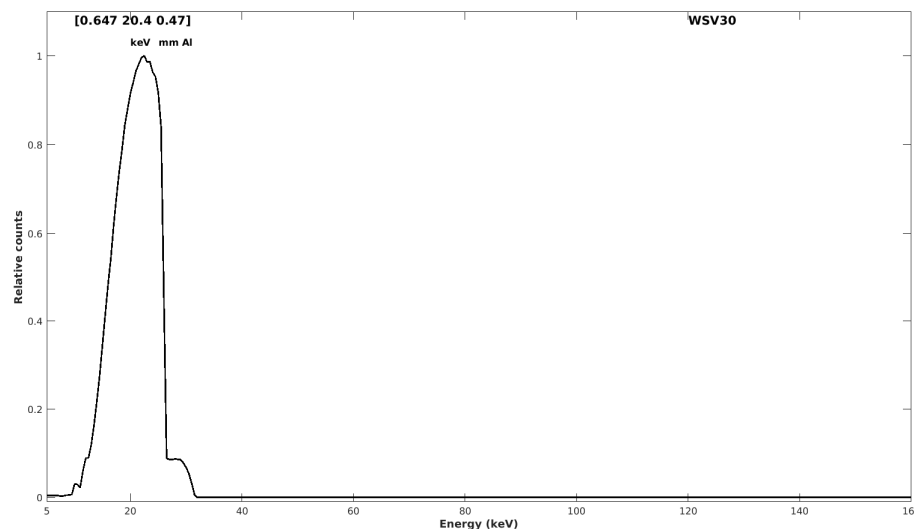
Dana Kurková

SÚRO, v.v.i, Bartoškova 28, Praha 4



Katalog navazuje na katalog spekter vytvořený v Ústavu hygieny a epidemiologie v roce 1991 dostupný v tištěné formě.

Podobné katalogy změřených spekter jsou dostupné v literatuře relativně vzácně vzhledem k obtížnosti měření spekter způsobené zejména vysokými fotonovými toky zdrojů rentgenového záření a nemožností nastavení nízkých fotonových toků u těchto zdrojů.



Teoretické modely:

SpekCalc

Poludniowski, G., et al. 2009, Phys. Med. Biol. 54 N433-N438

TASMICS, TASMIP, MASMICS, RASMICS

Hernandez AM, et al. 2017, Med. Phys. 44(6), 2148-2160

- liší se filtrací a materiálem anody, anodovým úhlem

# katalog rentgenových spekter

## word dokument

grafické zobrazení spekter

tabulky s charakteristickými daty odvozenými ze spekter a dostupnými daty z literatury umožňující porovnání (Estř, 1HVL, 2HVL, h, FWHM, R)

údaje o kV a filtraci

## data jednotlivých spekter v textovém formátu

## datová struktura vytvořená v prostředí Matlab

data spekter a hodnoty koeficientu homogenity, střední energie a 1HVL

## M-file

zobrazení spektra v grafickém okně spolu s jeho názvem, střední hodnotou energie, 1HVL a koeficientem homogenity).

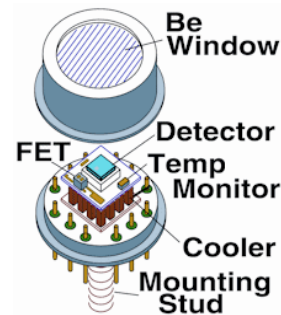
## Jaké kvality

- Úzké svazky podle ISO 4037-1:1996. X and Gamma reference Radiation for Calibrating Dosemeters and Doserate Meters and for Determining Their response as a Function of Photon Energy.
- Spektra podle ČSN EN 61331-1 ed.2, Norma: Ochranné prostředky před lékařským diagnostickým rentgenovým zářením – Část 1: Stanovení vlastností zeslabení materiálů.
- Mamografické svazky a spektra typu RQR, dle International Atomic Energy Agency, 2007. Technical Reports Series, ISSN 0074-1914, No. 457. Dosimetry in Diagnostic Radiology: An Internal Code of Practice, ISBN 92-0-115406-2. p. 70.
- Skiaskopická spektra, skiaskopický mod, proud 10 mA, 300  $\mu\text{m}$  kolimátor, 256 cm od ohniska
  
- info o rtg lampách

## Polovodičové detektory na bázi CdTe (nebo CZT)

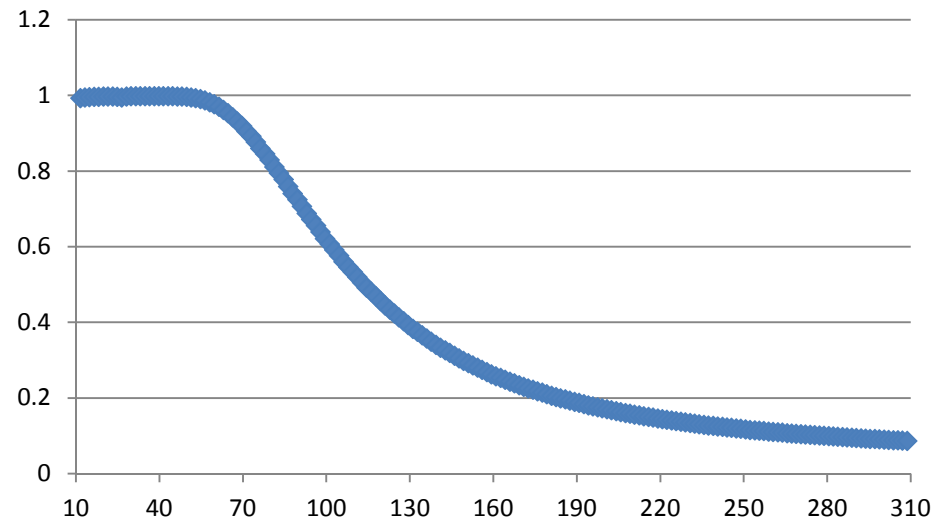
- populární v oblasti gamma a rentgenové spektroskopie
- vysoká detekční účinnost, maximum v oblasti od 10 do 100 keV
- dobré energetické rozlišení
- mohou pracovat při pokojové teplotě
- nevýhodou je spektrální zkreslení, korekce pomocí matice odezvy
- např. detekční účinnost, únikové jevy, Comptonův jev
- neúplný sběr kladného náboje z objemu krystalu

## CdTe detektor (AMPTEK):



- ▶ planární krystal CdTe: 3 mm x 3 mm x 1 mm
- ▶ Peltier chlazení, T: od 210 K to 215 K
- ▶ Be okénko: 0.1 mm
- ▶ bias napětí: 700 V
- ▶ vyroben jako Schottky dioda
- ▶ uspořádání snižuje jev neúplného sběru náboje
- ▶ multikanálový analyzátor, detekční schopnost -  $2 \cdot 10^5$  imp/s

## detekční účinnost



## Korekce pomocí analytické matice odezvy

Kurková, D., Judas, L. „An analytical X-ray CdTe detector response matrix for incomplete charge collection correction for photon energies up to 300 keV.“ *Radiation Physics and Chemistry* 146 (2018) 26–33.

Kurková, D., Judas, L., 2016. X-ray tube spectra measurement and correction using a CdTe detector and an analytic response matrix for photon energies up to 160 keV. *Radiat. Meas.* 85, 64-72.

## Rentgenové svazky

Intenzity  $10^{2-3}$  násobně převyšují detekční schopnost detektoru

Mamografie :  $10^6 - 10^7$  imp/(mm<sup>2</sup>.s)\*

Diagnostické:  $10^6$  imp/(mm<sup>2</sup>.s) for 100 kV and 25 mA\*\* ,

## Podmínky pro měření bez náhodných koincidencí

- 100 – 1000 impulzů/s (měřením bodového zářiče)
- velká vzdálenost detektor – zdroj záření ( 7m, 1m nebo 1.842 m)
- použití kolimátorů (  $\varnothing$  1 mm a 2 mm tloušťka,  $\varnothing$  300  $\mu$ m a 35 mm délka)
- nízký anodový proud (nejmenší až 0.1 mA)

\*Abbene L. et. al.: X-ray spectroscopy in mammography with a CdTe Spectrometer. Medical Physics, Vol. 37, No.12, December 2010, s. 6147-6156.

\*\* Yaffe, M. et al.: Spectroscopy of diagnostic x rays by a Compton-scatter method. Medical Phasics, Vol. 3, No. 5, Sept./Oct. 1976, 328-334.

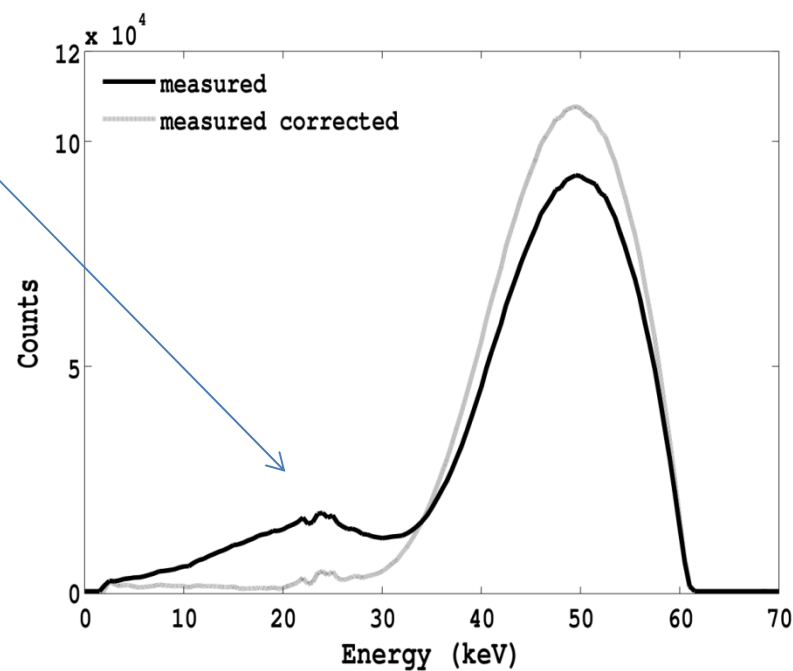
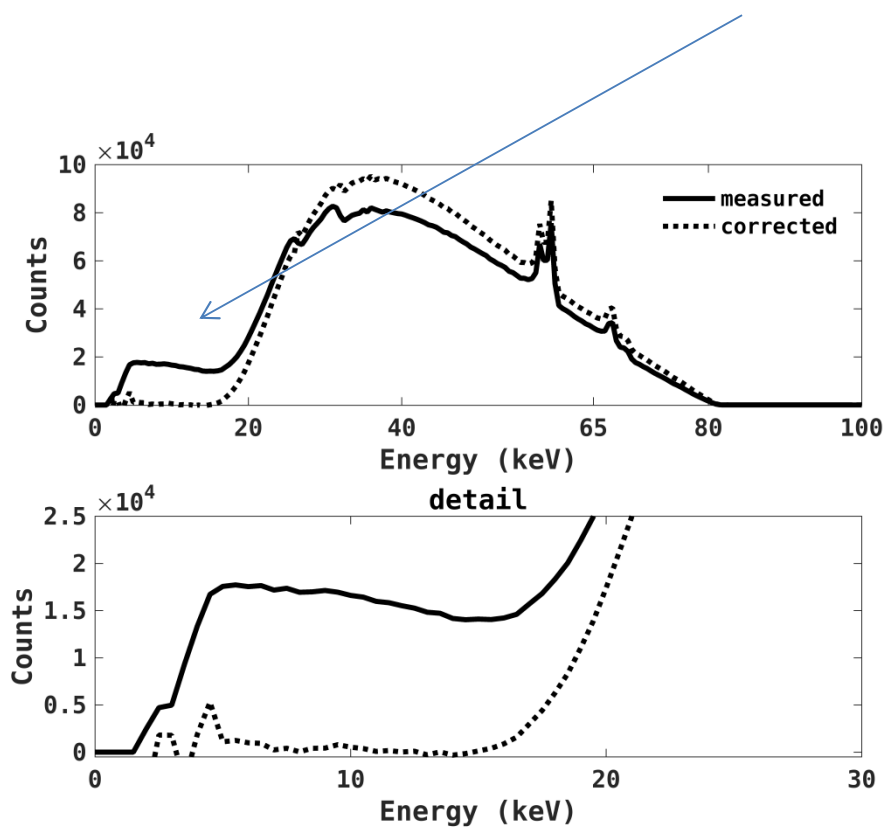


# Příklad korekce únikových jevů v rentgenových spektrech pomocí matice odezvy

RQR 6 (60kV, 2.89 mm Al)

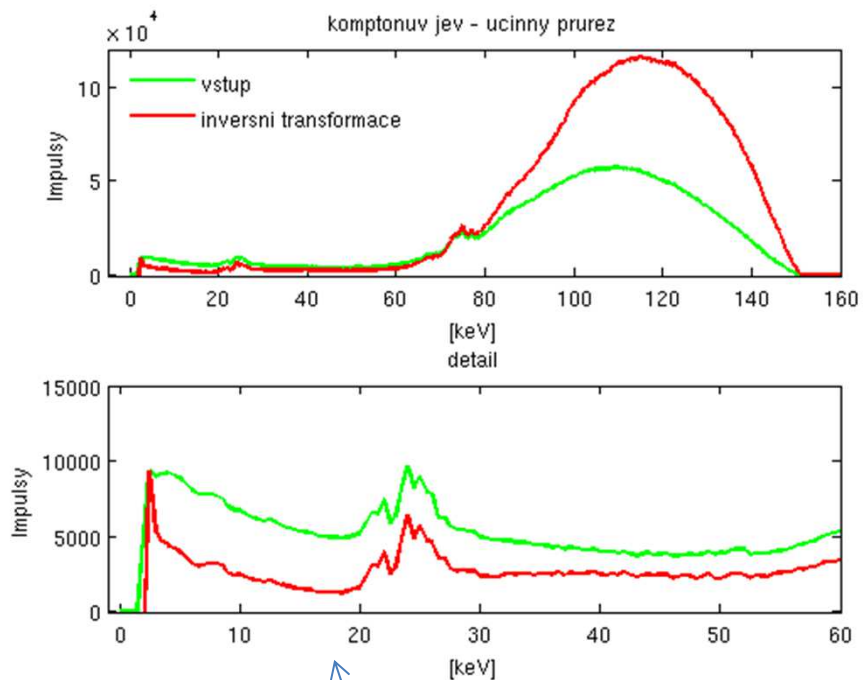
N60 (60 kV, 0.6 mm Cu, 4 mm Al)

únikové jevy



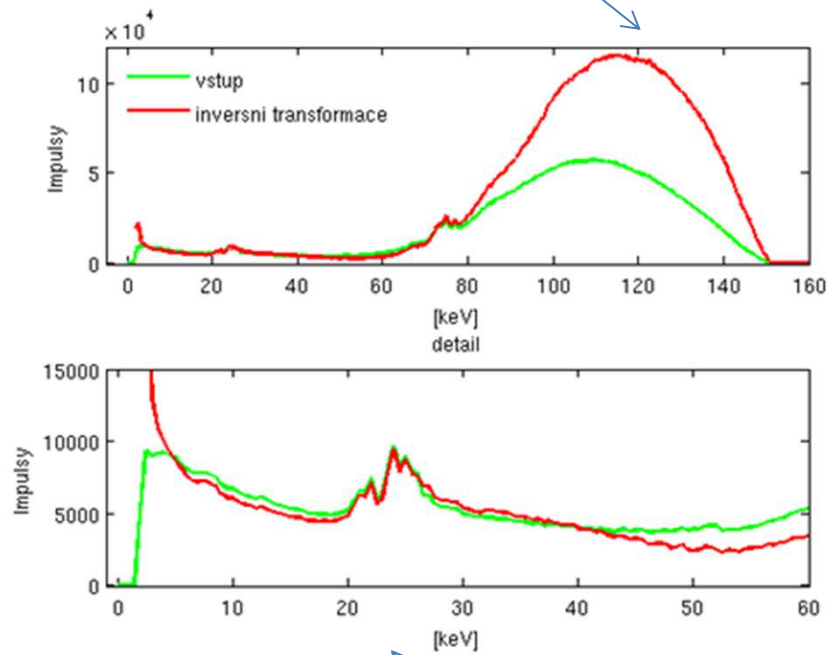
# Příklad korekce detekční účinnosti a Comptonova jevu v rentgenových spektrech

## N150 (150 kV, 25 mm Sn, 4 mm Al)



**Korekce Comptonova jevu , hrana  $E_c=55.5$  keV  
(model Klein-Nishina\*)**

**korekce detekční účinnosti**

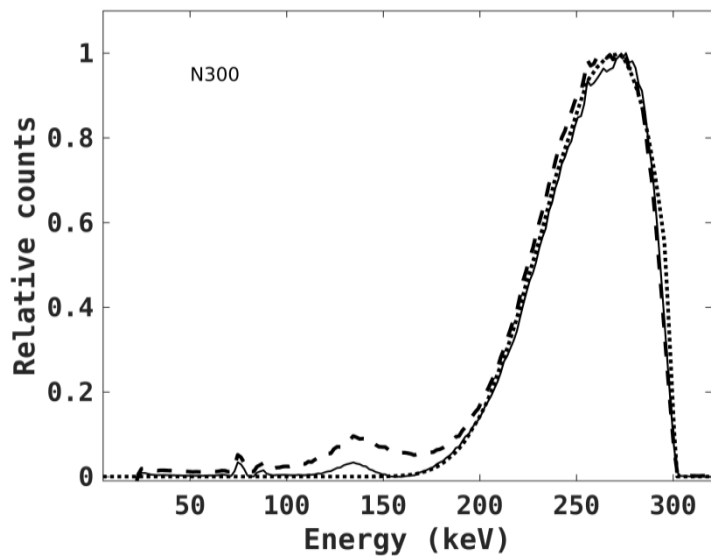
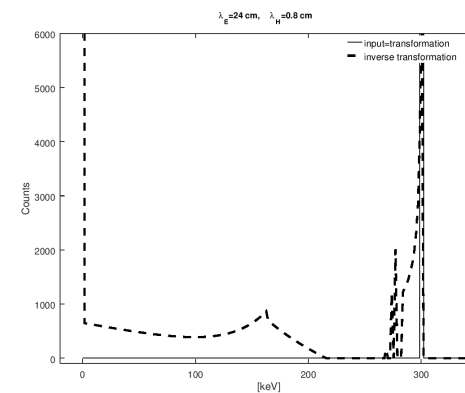
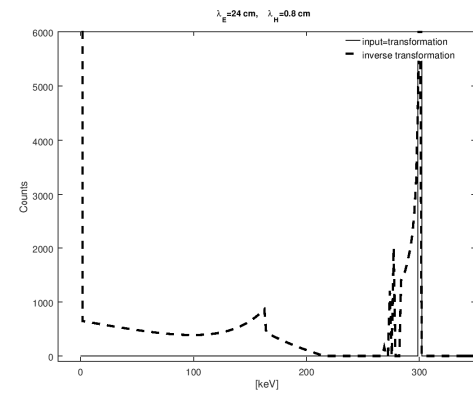
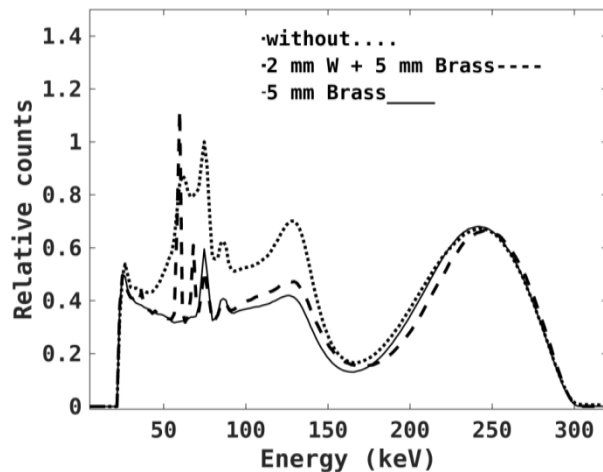
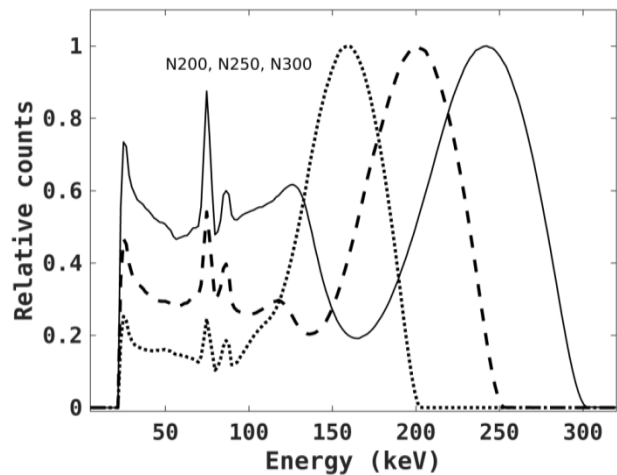


**Comptonův jevu nebyl korigován**

\*H.E. Johns, J.R. Cunningham, The Physics of Radiology

# Příklad korekce Comptonova jevu v rentgenových spektrech N200, N250, N300

(300 kV, 5 mm Pb, 3 mm Sn, 4 mm Al)



## Comptonův rozptyl

A) model Klein-Nishina

B) lineární funkce:

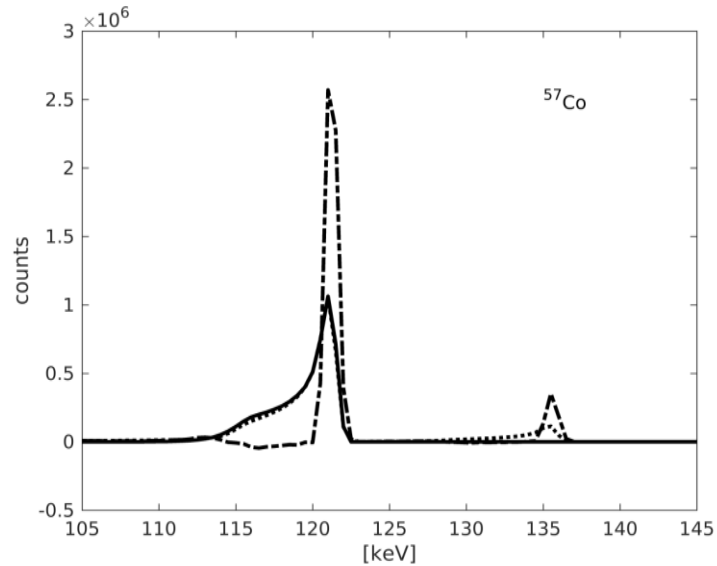
model vícenásobného rozptylu

trojúhelník v oblasti energií nad Comptonovou

hranou  $E_c$ , pro  $E$  v intervalu  $E_c \leq E \leq 4E_c/3$

Seelentag, W.W. Panzer, W.: Stripping of X-ray Bremsstrahlung Spectra up to 300 kVp on a Desk type Computer. Phys. Med. Biol., 1979, Vol. 24., No.4, 767-780.

## Příklad korekce neúplného sběru náboje u čarových spekter



$^{57}\text{Co}$

plná čára: model

tečkovaná čára: měřené spektrum

čárkovaná čára: korigované spektrum

šířka kanálu = 0.5 keV

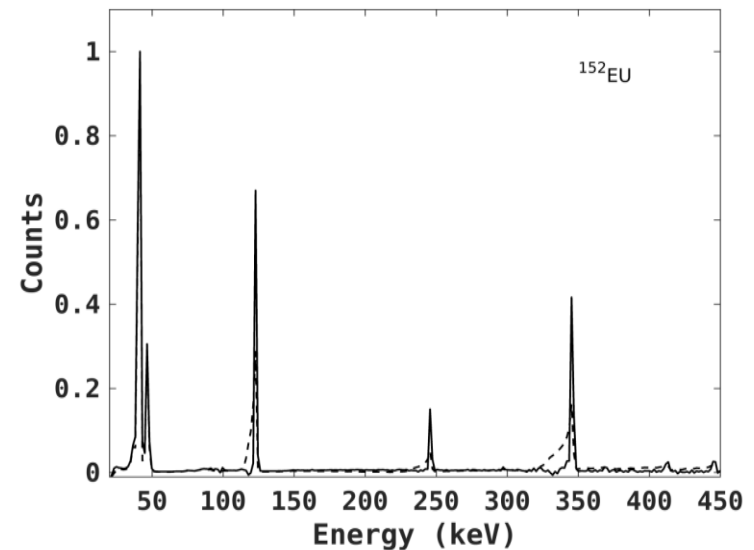
$^{152}\text{Eu}$

tečkovaná čára: měřené spektrum

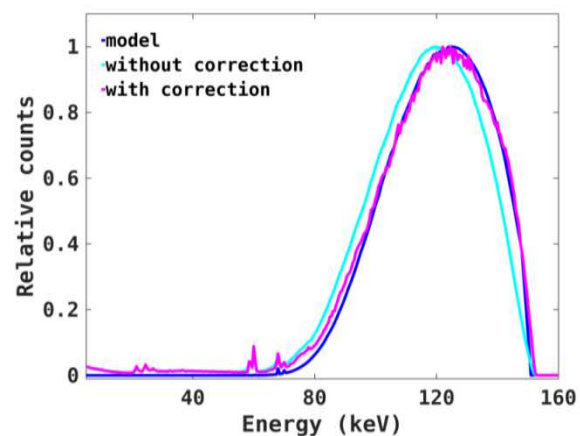
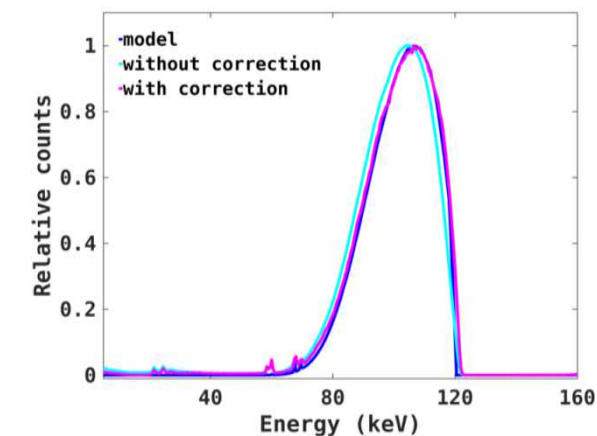
plná čára: korigované spektrum

šířka kanálu = 1.66 keV

čára 344.3 keV, R: 2.4%  $\rightarrow$  0.96 % ( $\pm 0.28\%$ )

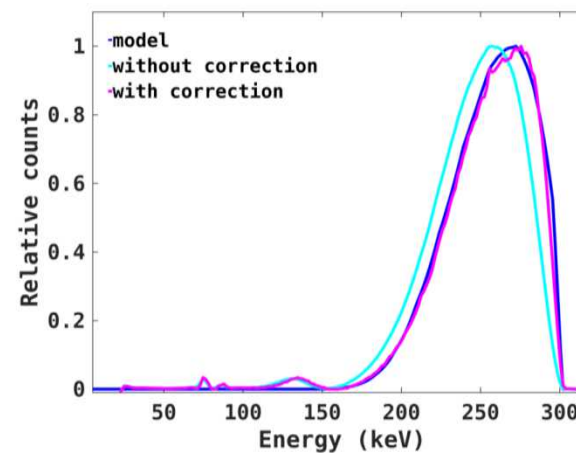
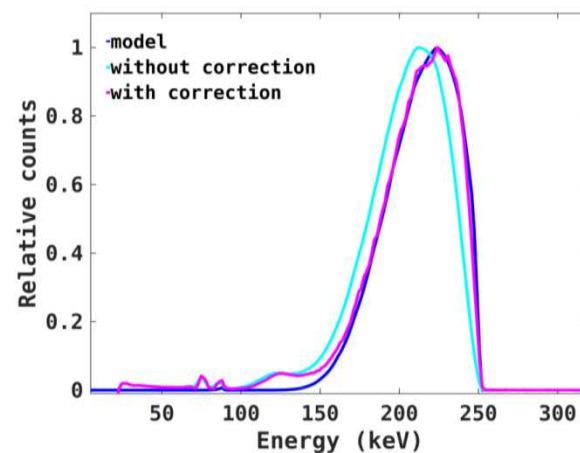
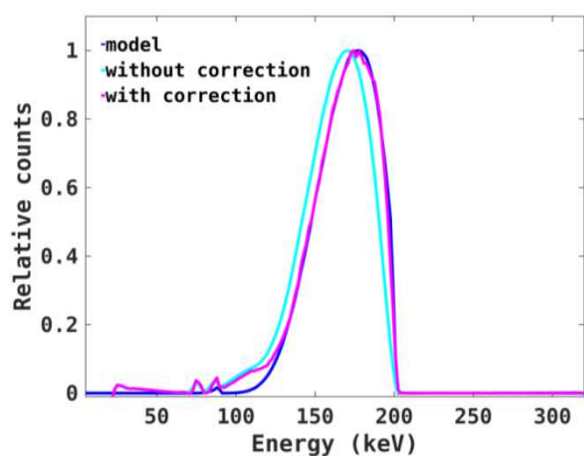


## Příklad korekce neúplného sběru náboje u rentgenových spekter typu N



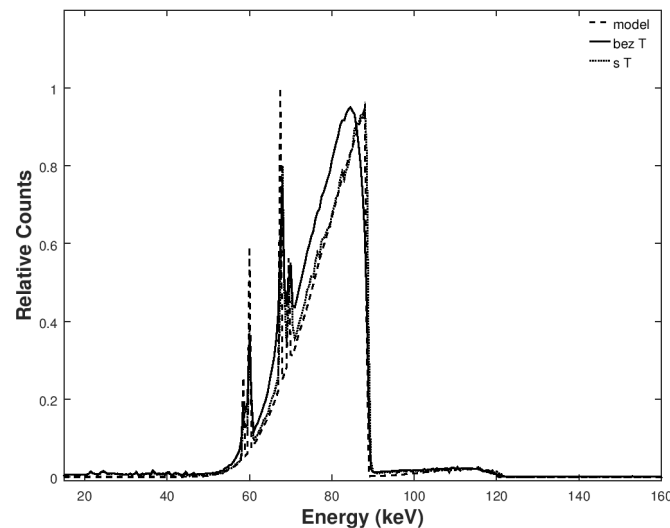
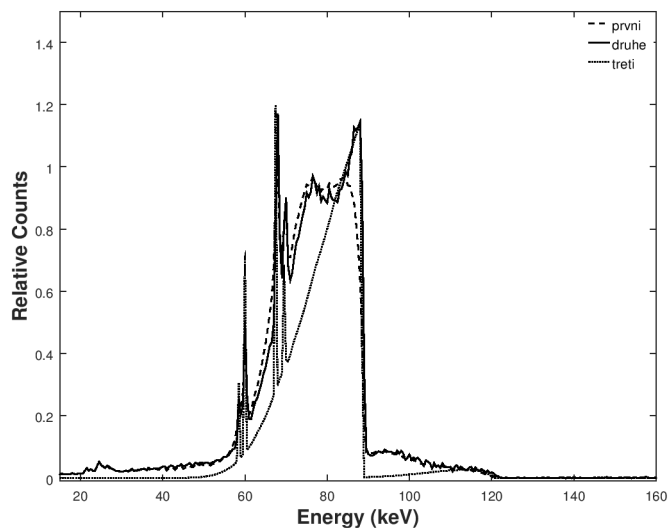
model: SpekCalc \*

\* Poludniowski, G., Landry, G., DeBlois, F., Evans, P.M., Verhaegen, F., 2009. SpekCalc: a program to calculate photon spectra from tungsten anode x-ray tubes. Phys. Med. Biol. 54 N433-N438

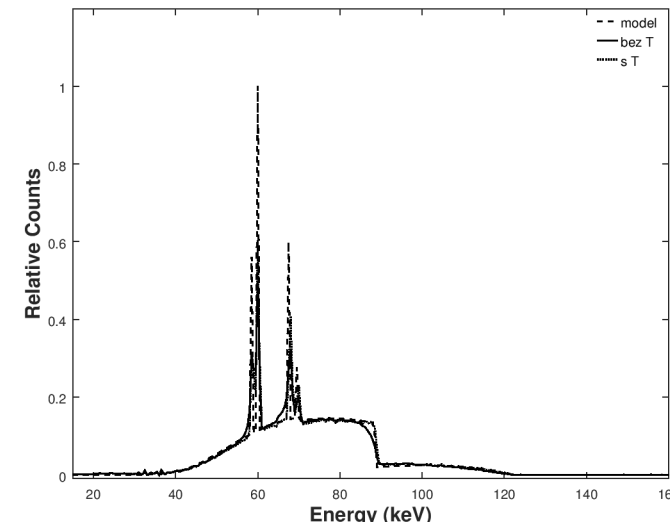
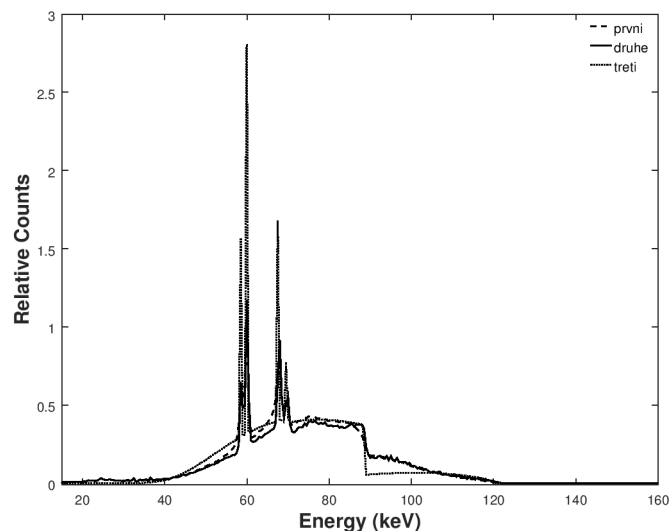


**N120, N150, N200, N250, N300 (norma ISO 4037-1:1-1996)**

## Příklady přítomnosti sumačních signálů ve spektrech.

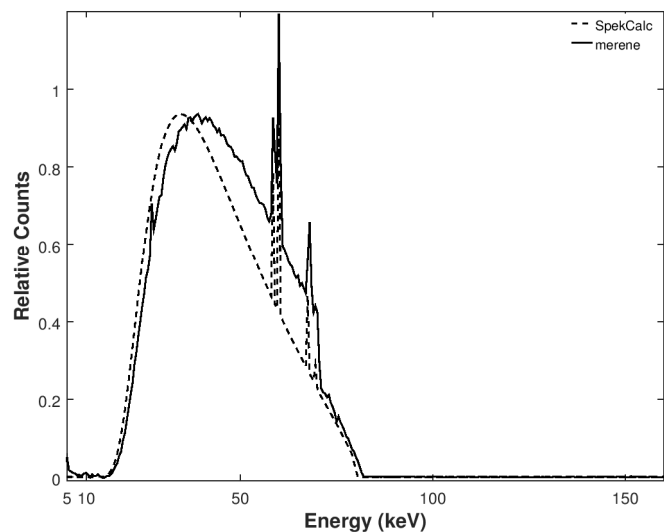


120 kV, filtrace: 2.5 mm Al, 1.0 mm Pb ( anodový proud vlevo 6 mA a vpravo 0.1 mA)  
(input rate vlevo 610 count/s a vpravo 230 count/s)



120 kV, filtrace: 2.5 mm Al, 0.3 mm Pb (anodový proud vlevo 0.5 mA a vpravo 0.1 mA)  
(input rate vlevo 610 count/s a vpravo 230 count/s)

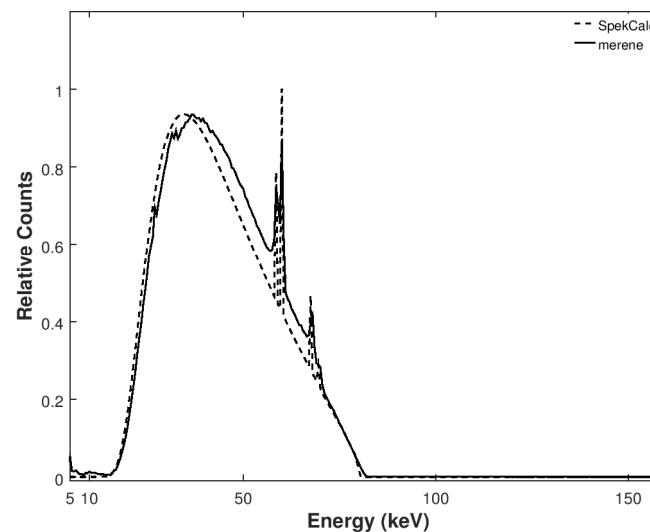
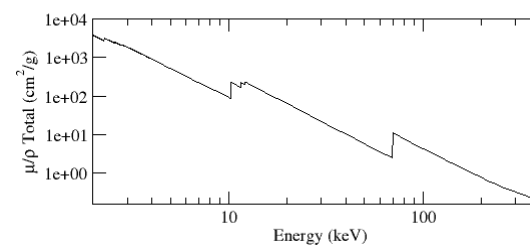
## Příklad přítomnosti dodatečné filtrace kolimátorem (wolfram) ve spektrech.



RQR6

Vzdálenost detektoru od  
ohniska rentgenky: 100 cm  
kolimátor: 300  $\mu\text{m}$   
Laserový paprsek v ose kolimátoru

Z = 74, E = 2 - 433 keV



RQR6

Vzdálenost detektoru od  
ohniska rentgenky: 184,2 cm  
kolimátor: 300  $\mu\text{m}$  a 1 mm  
Laserový paprsek v ose kolimátoru  
Laserová vodorovina

$E_{(stř)}$ , 1HVL, FWHM a R odvozené z teoreticky vypočtených spekter a přejaté z ISO normy

svazek	$E_{(stř)}$ (keV)		1 <sup>st</sup> HVL (mm Cu)		R (%)		FWHM (keV)
	teoretické	ISO	teoretické	ISO	teoretické	ISO	teoretické
N120	101	100	1.73	1.71	28	27	28
N150	119	118	2.39	2.36	39	37	46
N200	167	164	3.90	3.99	31	30	51
N250	212	208	5.09	5.19	28	28	58
N300	254	250	5.90	6.12	27	27	70

Tolerance hodnot dle ISO:  $E_{stř} \pm 5\%$  , rozlišení  $R \pm 15\%$



E(stř), 1HVL, měřené a vypočtené z měřených a korigovaných rentgenových spekter

svazek	vypočtené ze spekter		
	měřené	$E_{(\text{mean})}$ (keV)	1 <sup>st</sup> HVL (mm Cu)
N120	1.76	101.0	1.72
N150	2.40	118.6	2.37
N200	4.06	165.0	3.83
N250	5.29	208.6	5.02
N300	6.24	255.8	5.97

## Výpočet HVL z rentgenových spekter

Vstupní povrchová kerma  $K$  na povrchu detektoru pro monoenergetické fotony :

$$K = 0.00869 \times 1.83 \times 10^{-6} \phi(E) \times E \times (\mu_{en}/\rho)_{air},$$

$\phi(E)$  ... fluence fotonů (fotony/mm<sup>2</sup>) s energií  $E$ (keV) ,

$(\mu_{en}/\rho)_{air}$  ... hmotnostní součinitel absorpce energie pro vzduch (cm<sup>2</sup>/g).

Kerma  $K$  pro několik tlouštěk měděných filtrů.

Interpolace dvou bodů obklopujících HVL tloušťku

$$d_{1/2} = \frac{t_b \cdot \ln(2K_a / K_0) - t_a \cdot \ln(2K_b / K_0)}{\ln(K_a / K_b)}$$

## Měření HVL

geometrie úzkého svazku, ionizační komora (Exradin A4) a elektrometr (Keithley 6517A).

Projekt byl řešen za podpory Ministerstva vnitra ČR v rámci programu MV-163433-4/OBVV-2016.