

Vývoj, optimalizace a kalibrace aktivního elektromagnetického kalorimetru pro spektrometrii pulzního záření

V. Stránský, V. Istokskaja, R. Versaci,
L. Giuffrida, D. Margarone, V. Olšovcová

8.11.2021, DRO 2021



Pokroky v oblasti laserové techniky

pulzní lasery

vysoká intenzita světla

tvorba plazmatu

generování záření

urychlování částic



Laserem generované ionizující záření je pulzní ($10^{-14} - 10^{-12}$ s)

spektrometrie nabitych častic – využití Lorentzovy síly

spektrometrie záření X a gama – **potřeba nového typu detektoru**

Laserem generované záření

Vzniká při interakci laserového pulsu s terčem

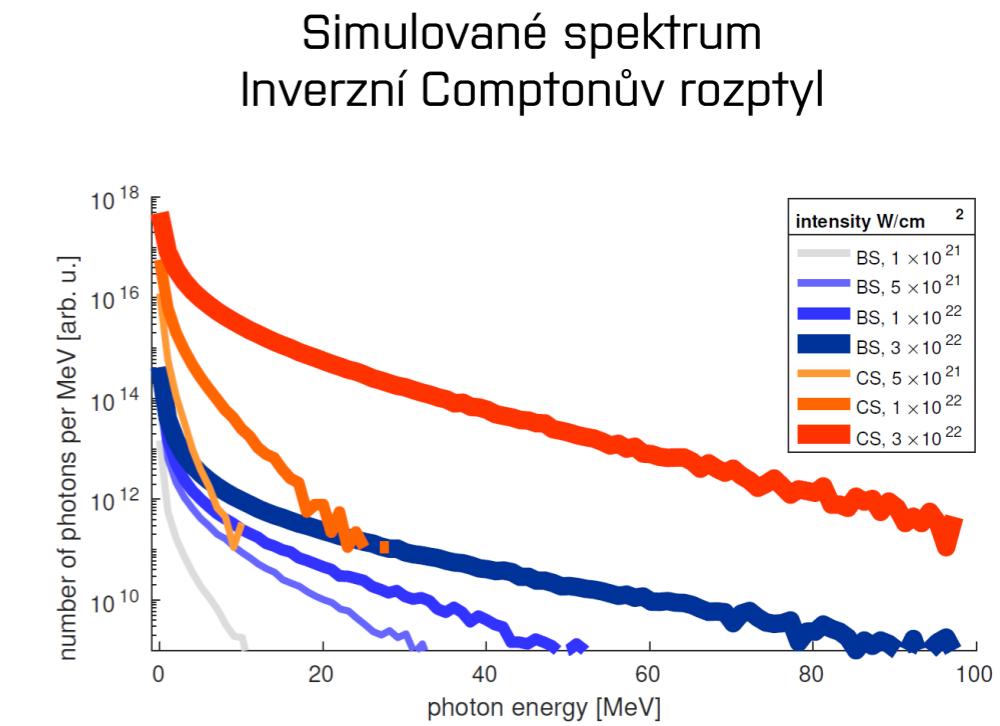
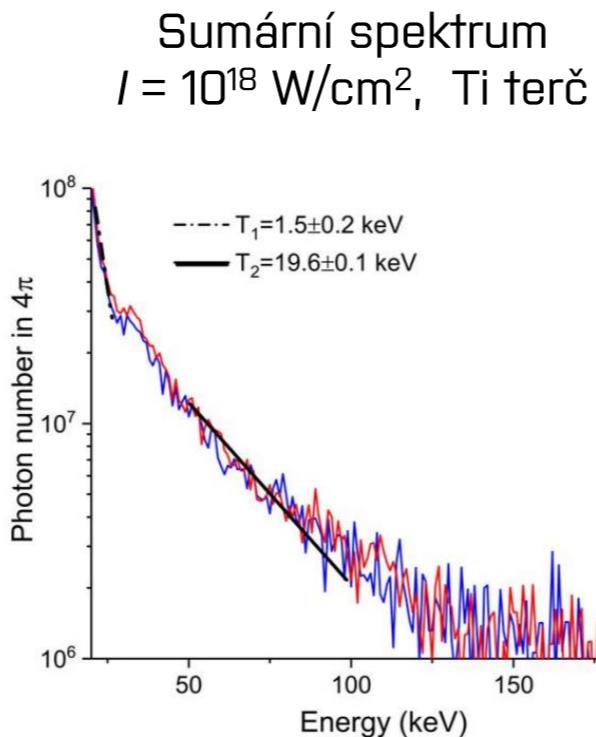
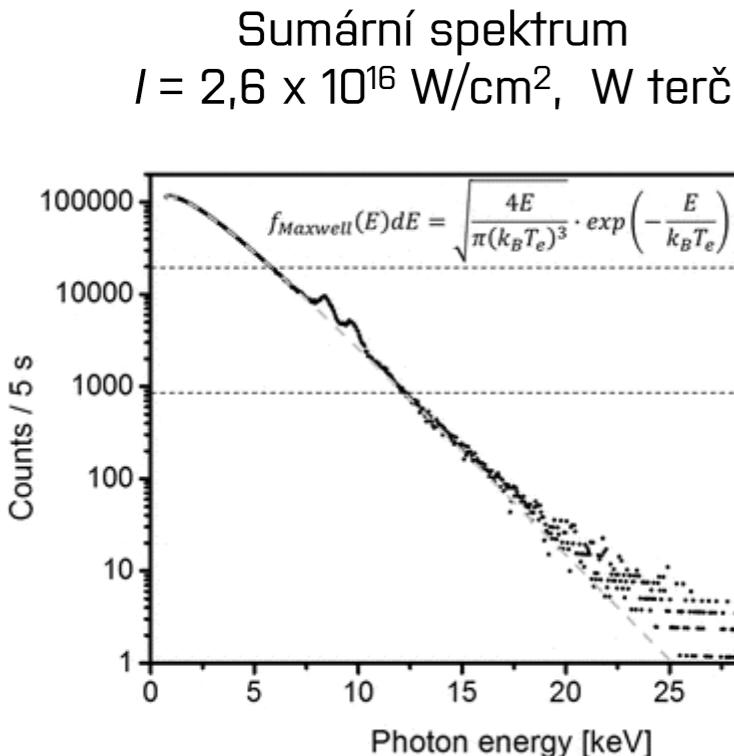
Kvalitu i kvantitu ovlivňuje mnoho parametrů (materiál terče...)

Klíčovým parametrem je intenzita I [W/cm²] na terči

I [W/cm ²]	$> 10^{10}$	$> 10^{14}$	$> 10^{17}$	$> 3 \times 10^{18}$	$> 10^{21}$
Proces	Multifotonová ionizace, ionizace polem	Kolizní zahřívání	Kolektivní absorpcce (rezonanční zahřívání)	Relativistické urychlování	Inverzní Comptonův rozptyl
Přibližná maximální energie fotonů	1 keV	10 keV	100 keV	1 – 10 MeV	100 MeV

Spektrum fotonů

Maxwellovské & charakteristické záření, od $\sim 10^{17} \text{ W/cm}^2$ bi-Maxwellovské



LEGALL, H., Schwanke, C., Pentzien, S. et al. X-ray emission as a potential hazard during ultrashort pulse laser material processing

ROSMEJ, O.N. et al. Generation of keV hot near-solid density plasma states at high contrast laser-matter interaction.

KLIMO, Ondřej, Jan VYSKOČIL. Gamma radiation emission from solid target irradiated by ultra-intense tightly focused laser beams. Poster. SPIE Optics + Optoelectronics 2019, April 3, Prague.

Metody spektrometrie pulzního záření

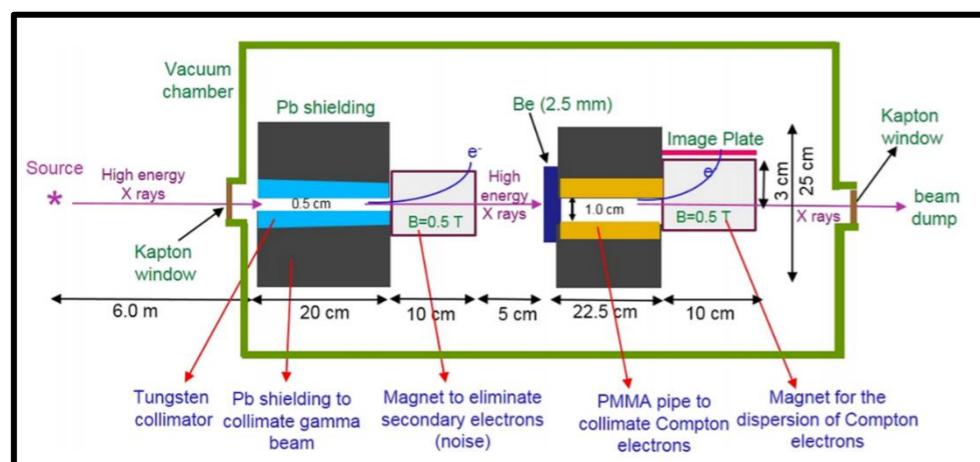
Single photon counting

Maximálně 1 foton/výstřel, jinak sumace

Pouze u vysokofrekvenčních laserů

Pomocí Comptonova rozptylu

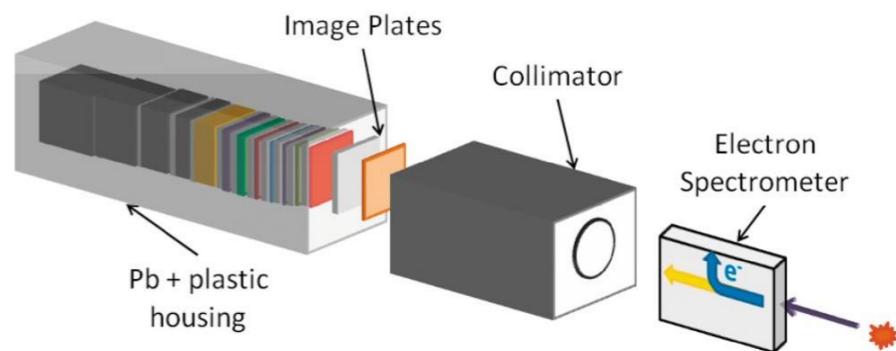
Velmi malá citlivost



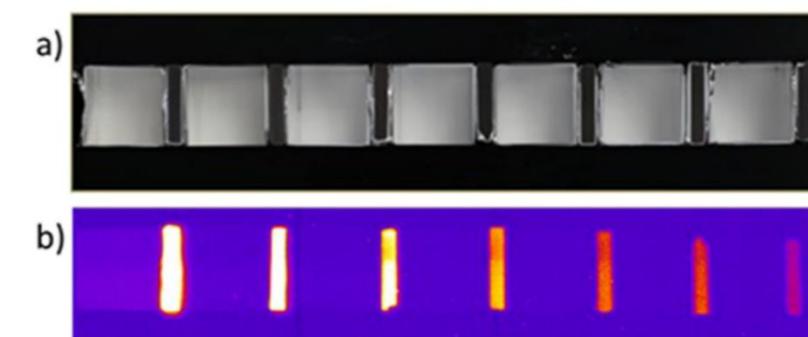
SINGH, Sushil et al. Compact high energy x-ray spectrometer based on forward Compton scattering for high intensity laser plasma experiments. Review of Scientific Instruments. 2018, 89(085118). DOI: 10.1063/1.5040979.

Pomocí profilu depozice energie

Křivka depozice energie v materiálu



CHEN, C.D. et al. A Bremsstrahlung spectrometer using K-edge and differential filters with image plate dosimeters. Review of Scientific Instruments. 2008, 79(10E305). DOI:10.1063/1.2964231.

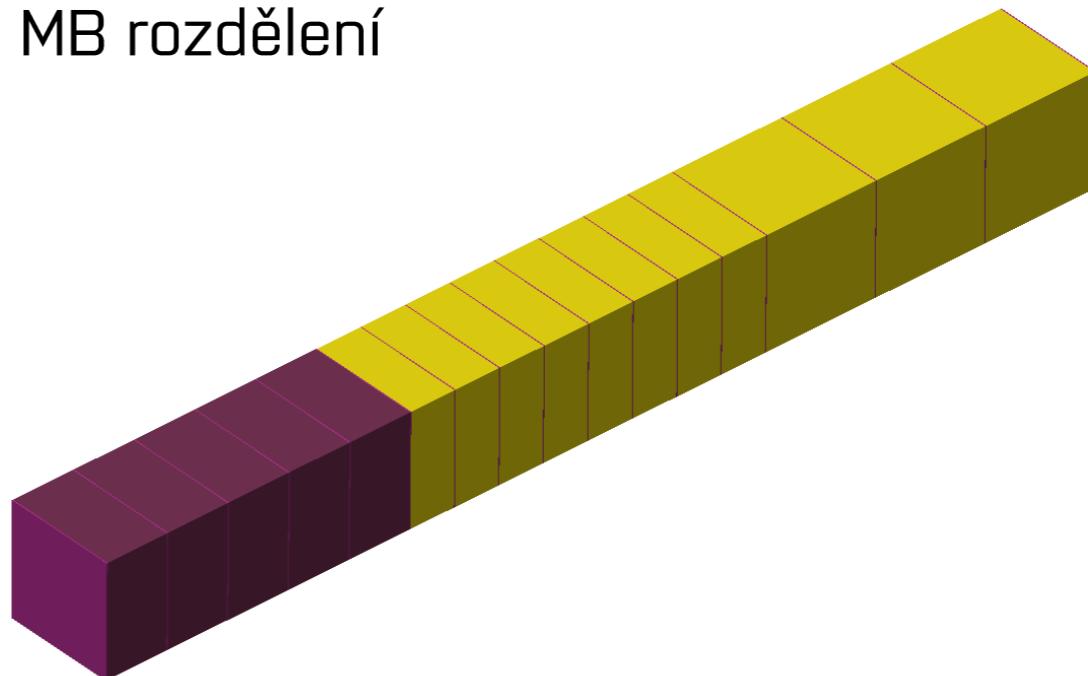


RUSBY, D. R. Novel scintillator-based x-ray spectrometer for use on high repetition laser plasma interaction experiments. Review of Scientific Instruments 89, 073502 (2018); doi: 10.1063/1.5019213

Požadavky na vyvíjený detektor

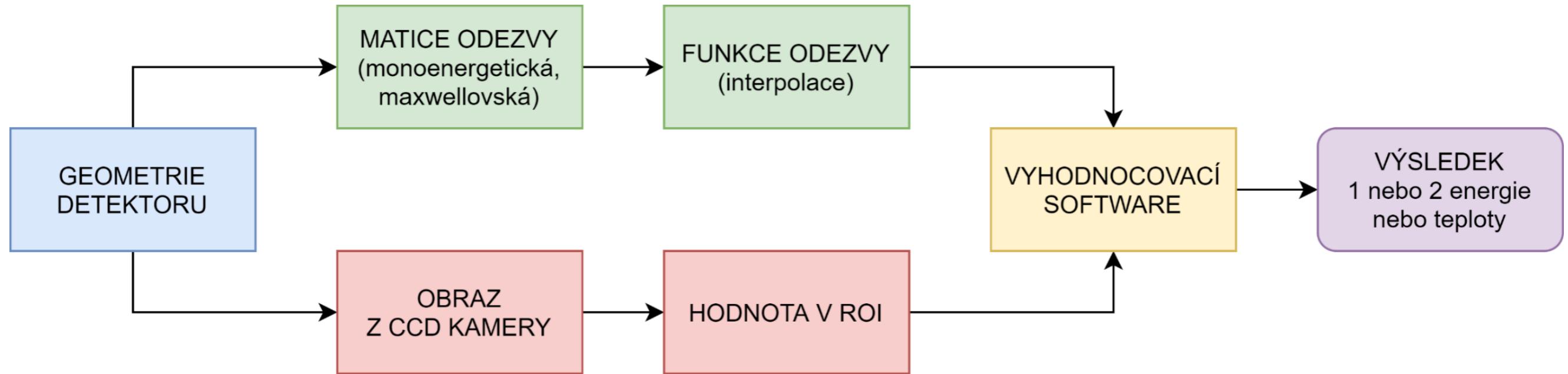
Fotonový „spektrometr“ pro pulzní pole

není nutné měřit spektrum, ale určit teploty MB rozdělení
aktivní, rychlý, 10 Hz
kompaktní
široký energetický rozsah
EMP odolný
cenově dostupný



Koncept

sada scintilátorů – 2 různé druhy
vyčítání pomocí CCD/CMOS kamery
analýza křivky deponované energie
porovnání s maticí odezvy (generovanou pomocí kódu FLUKA)



Matice odezvy – předpokládané spektrum zdroje

Dostatečně vzorkovaná, s minimální nejistotou

V ideálním případě určení dvou (i více) energií nebo teplot

Výběr scintilátorů

Kvádry, čelní stěna 2x2 cm, různá tloušťka, celková délka cca 20 cm

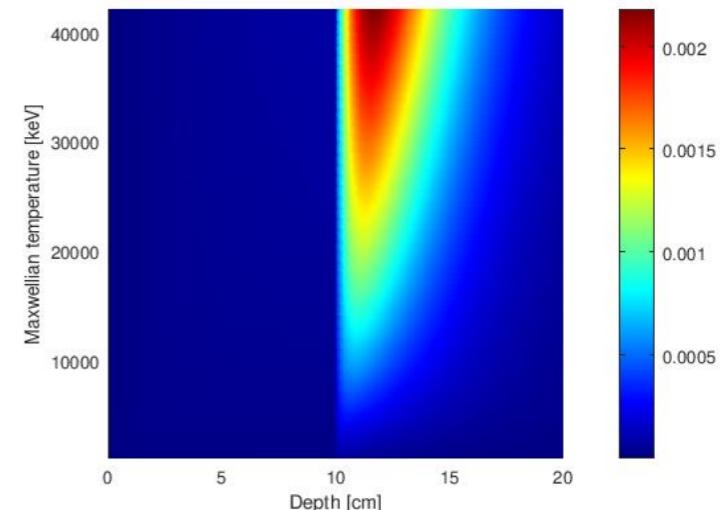
Materiály – EJ-200 a BGO

Scintilátor	ρ [g/cm ³]	LY [Ph/MeV]	λ [nm]	τ [ns]
EJ-200	1,03	10 000	425	2,1
BGO	7,13	8 200	480	300

Optimalizace segmentování

Tvorba matice odezvy pro různé konfigurace

Příklad matice odezvy, 10 cm EJ-200, 10 cm BGO



Vyhodnocovací algoritmus

Optimalizace segmentování

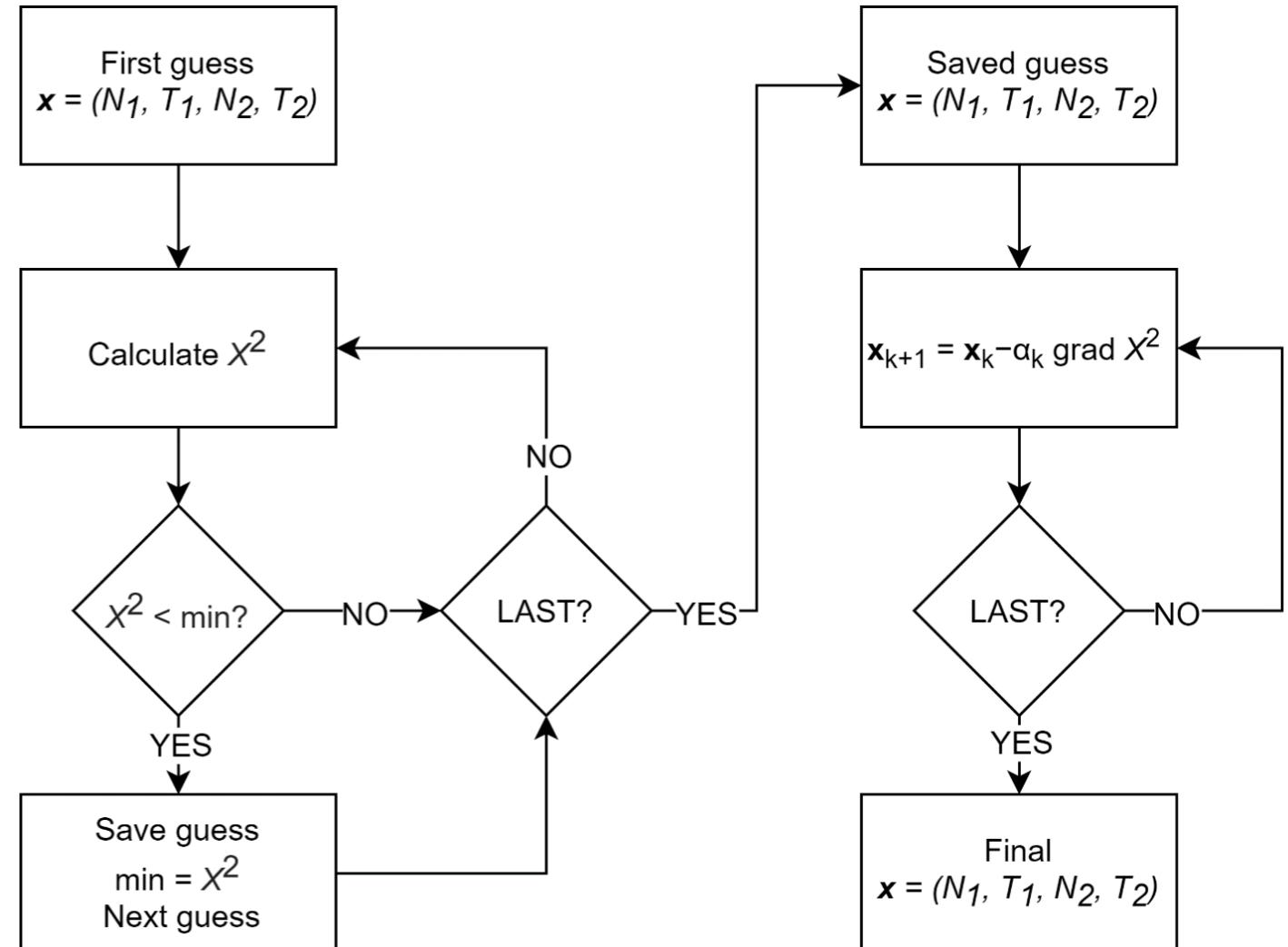
Zkoumání odezvy na vybrané bimaxwellovské spektrum

Vyhodnocovací algoritmus

Metoda nejménších čtverců

1) Metoda konjugovaných gradientů

2) Nelineární modelování



Výsledky optimalizace

Nejlepší výsledky

~5 cm scintilátory EJ-200, 2x2x1 cm

~15 cm scintilátory BGO, rostoucí tloušťka

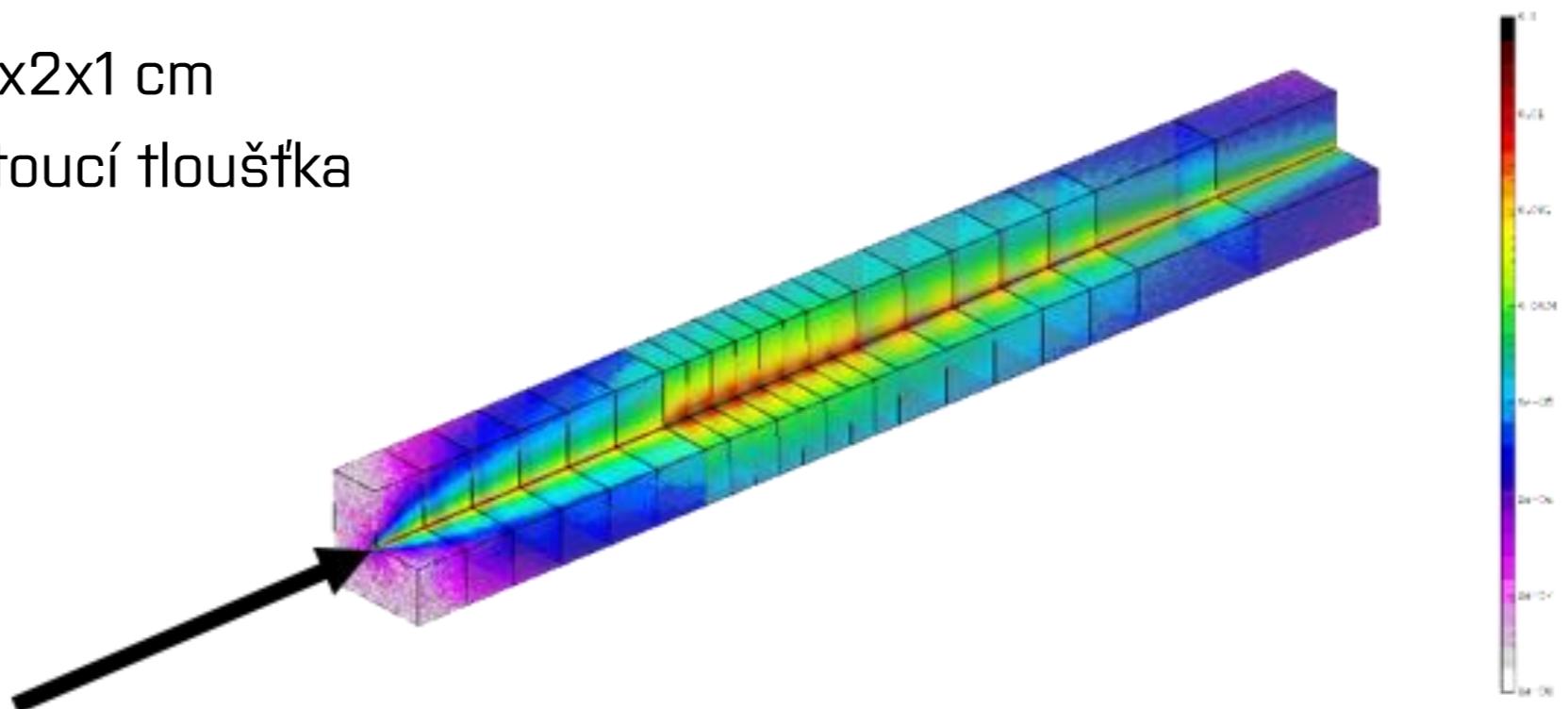
Optimalizace časově náročná

mnoho parametrů

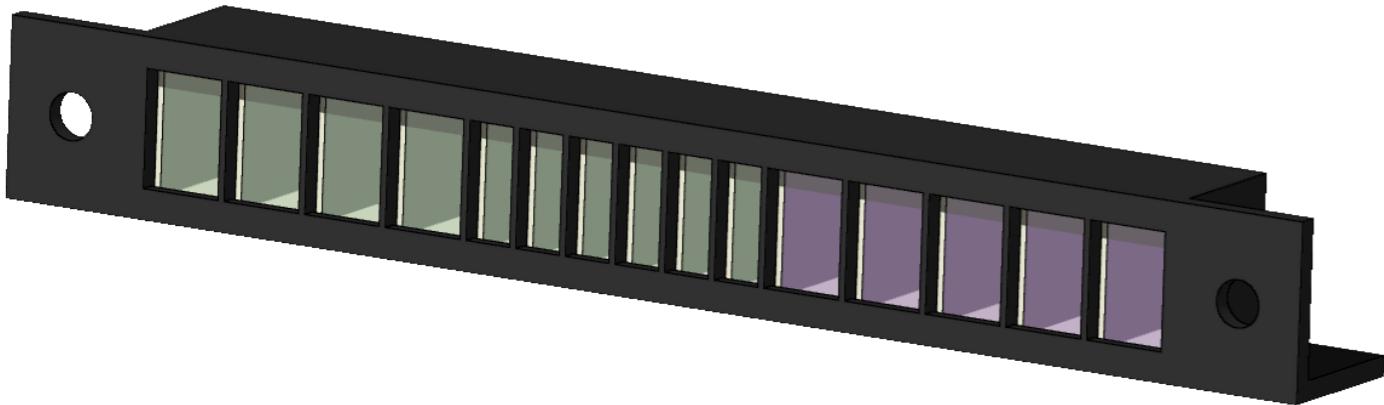
běh MC FLUKA

běh vyhodnocovacího SW

nutný kompromis

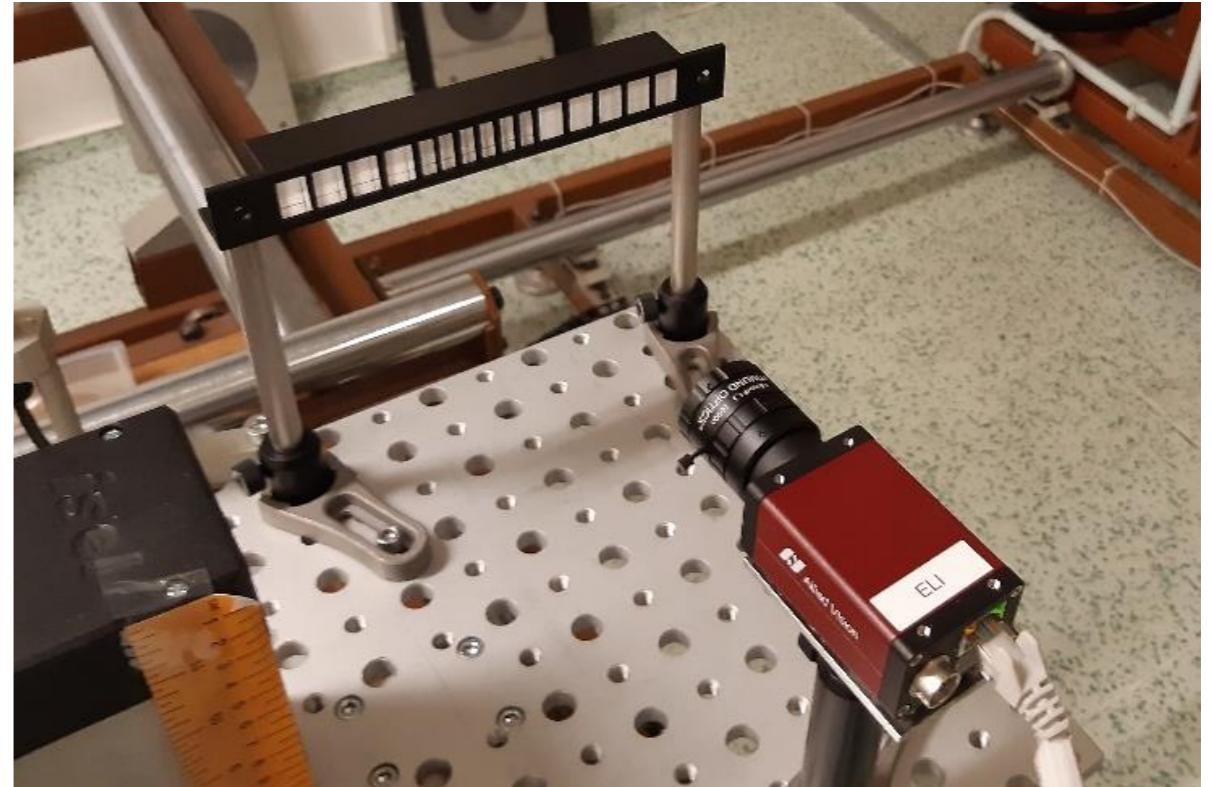


Výsledná podoba detektoru



Geometrie detektoru vykreslená pomocí Flair

FLUKA geometrie obsahuje optické vlastnosti scintilátorů
a reflektivní PTFE obal

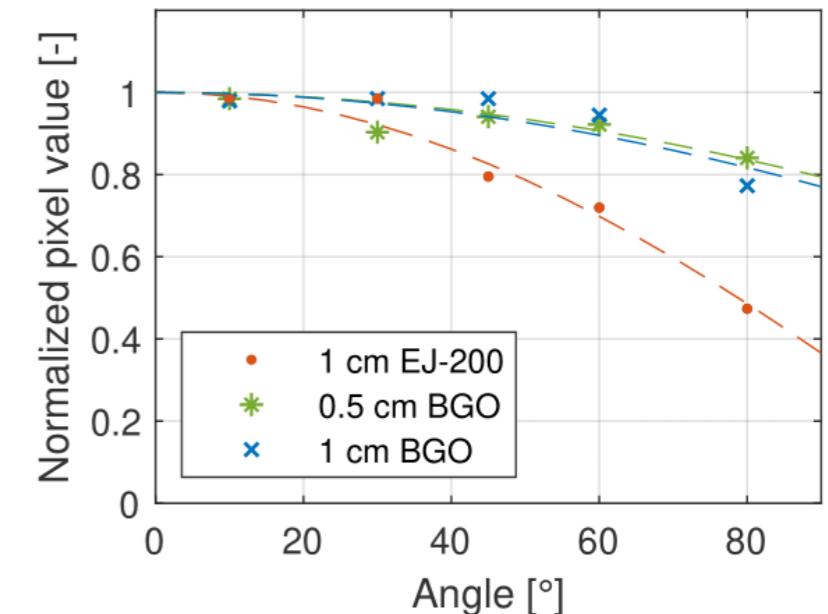
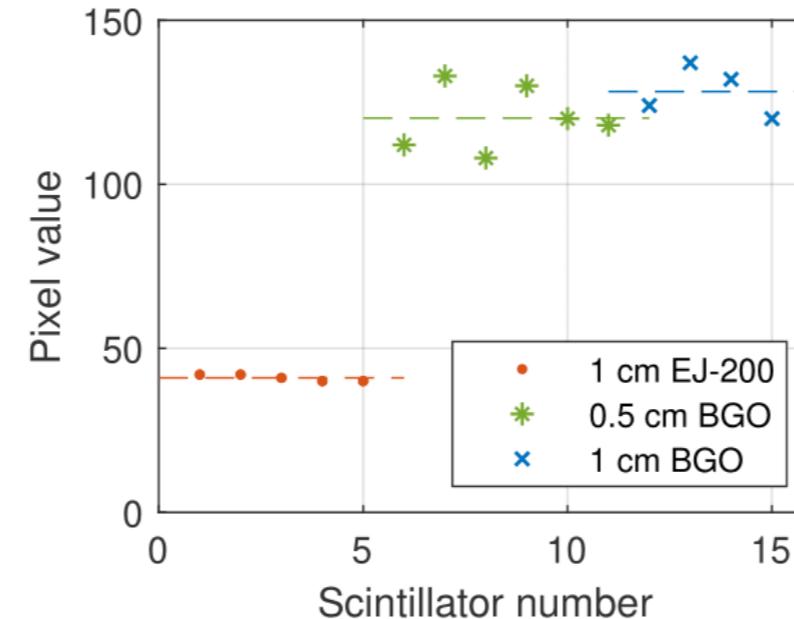
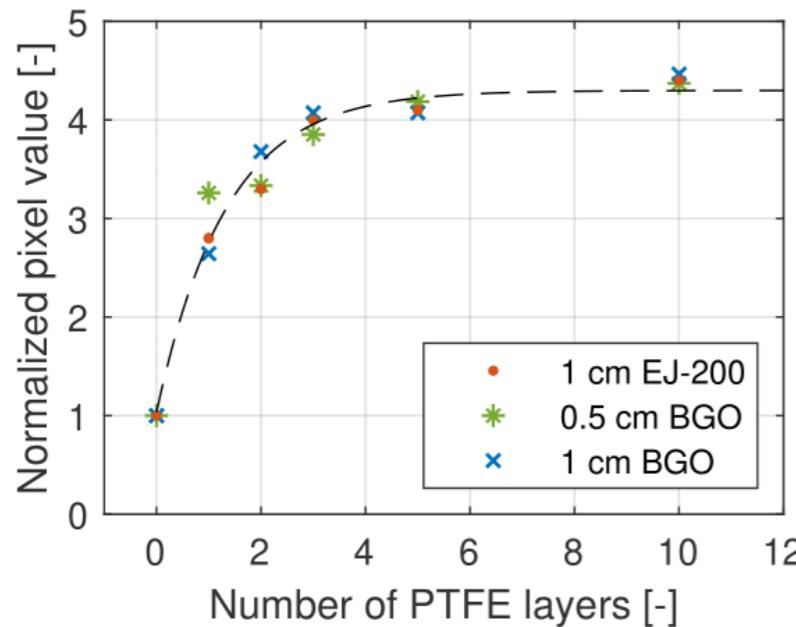


Kalibrace scintilátorů a kamery pomocí Cs-137

Optimálních 5 vrstev PTFE

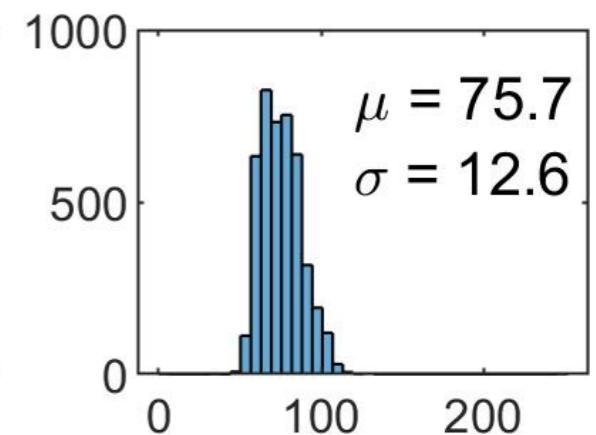
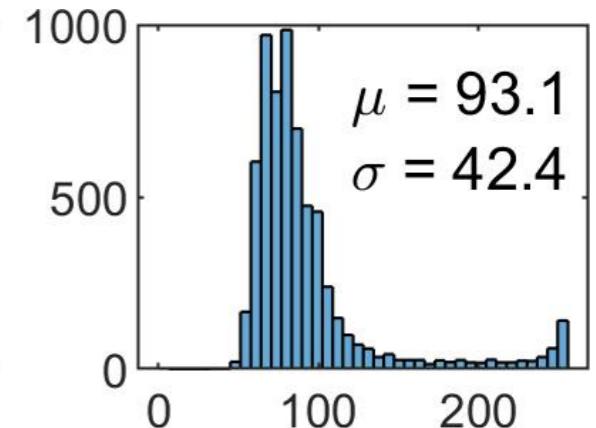
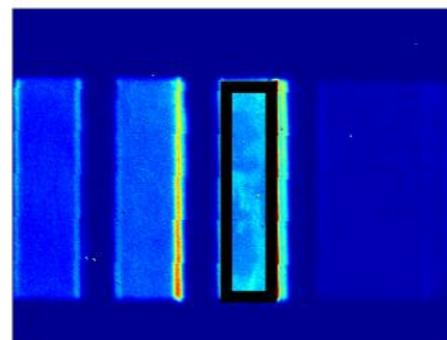
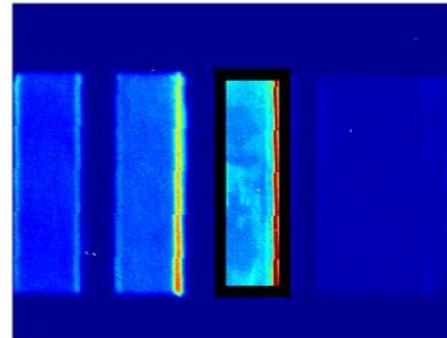
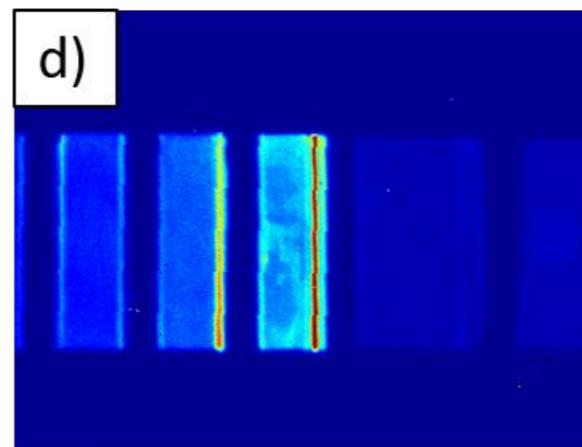
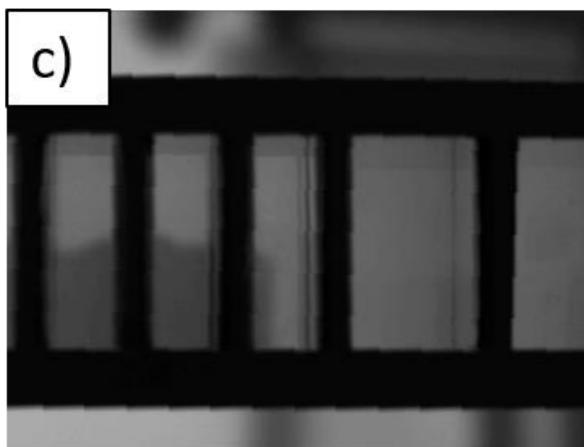
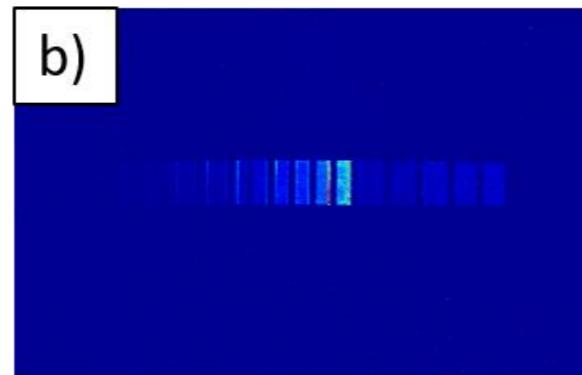
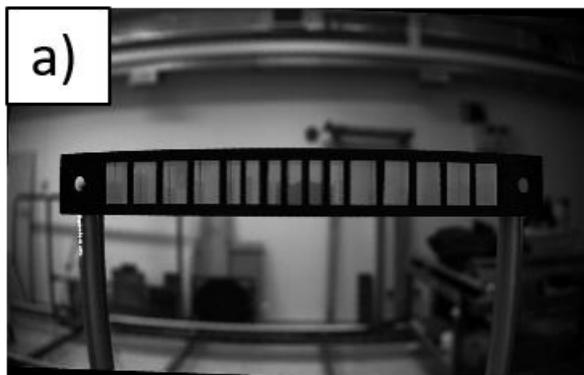
Kalibrace jednotlivých scintilátorů

Oprava na úhel, pod kterým kamera vidí scintilátory, a na kvantovou účinnost



Optické efekty ve scintilátorech

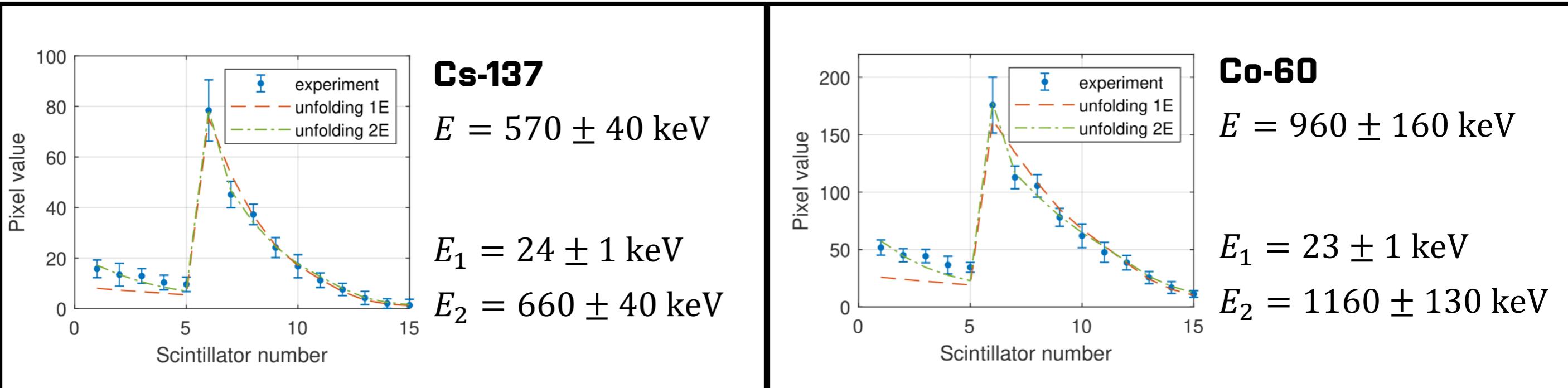
Odrاز od rohu scintilátoru → nutný výběr ROI



Energetická kalibrace pomocí Cs-137 a Co-60

Algoritmus nastavený na hledání 1 nebo 2 monochromatických energií fotonů

Odchylka ~10 %, pro MB rozdělení lze očekávat ~15 %



Spektrometr pulzního fotonového záření

Sada scintilátorů vyčítaná CCD kamerou

Měření křivky deponované energie

Porovnání s maticí odezvy (FLUKA)

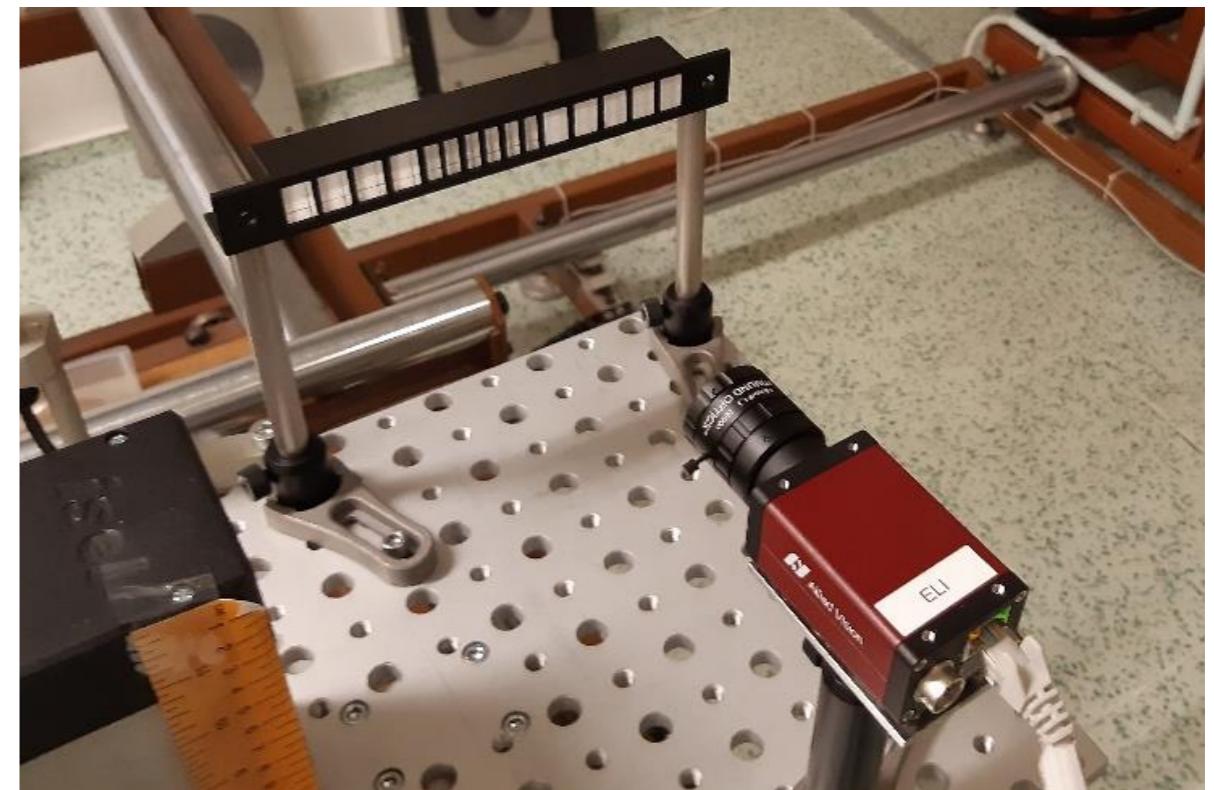
Vyhodnocení pomocí algoritmu

Určení parametrů spektra

Online vyhodnocení s frekvencí 10 Hz

Odchylka Maxwellovské teploty ~15 %

V současnosti je detektor instalován na beamline ELIMAIA v ELI Beamlines



Děkuji Vám za pozornost!

DRO 2021

Vojtěch Stránský

