

# Charakterizace pasivních detekčních metod v ultrakrátkých pulsních polích

A. Cimmino <sup>1</sup>, D. Horváth <sup>1</sup>, V. Olšovcová <sup>1</sup>, M. Šesták <sup>1</sup>, R. Truneček <sup>1</sup>, I. Ambrožová <sup>2</sup>

<sup>1</sup> ELI Beamlines, Fyzikální ústav, AV ČR

<sup>2</sup> Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

## Úvod

Při provozu laserů ve výzkumném centru ELI Beamlines vznikají ultrakrátká pulsní směšná pole ionizujícího záření s vysokou fluencí v pulsu. Na detekční systémy zajišťující radiační ochranu jsou tak kladeny vysoké nároky: musí mít výbornou časovou rozlišovací schopnost a zároveň musí být schopné měřit velmi vysoké dávkové příkony. Zdá se, že pasivní detektory jako TLD a OSLD tyto nároky splňují, avšak jejich chování v takových podmínkách není plně známo.

Zde popsán experiment proběhl v rámci projektu 18HLT04 UHDPulse [3], který se zaměřuje na metrologii pulsních svazků pro účely radioterapie.

Sada OSL a TL detektorů byla ozářena pulsním svazkem elektronů o max. energii 13 MeV na experimentální stanici ALFA. Dále byly provedeny Monte Carlo simulace pomocí kódu FLUKA [1, 2] pro ověření použitelnosti metody v těchto situacích a případném ověření naměřených výsledků.

## UHDpulse projekt

- UHDpulse - Metrology for advanced radiotherapy using particle beams with ultra-high pulse dose rates je evropský projekt zaměřený na vývoj a zdokonalování dozimetrických standardů pro FLASH-RT, VHEE radioterapii a laserem řízené urychlovače. Projekt spadá pod EMPIR (European Metrology Programme for Innovation and Research) a běží od září 2019 do února 2023.
- ELI Beamlines studuje měřicí metody sekundárního záření za využití pasivních detektorů, které oproti aktivním detektorům zvládají měřit v ultrakrátkých pulsních polích a nejsou ovlivněny elektromagnetickým pulsem.

## ELI Beamlines

ELI (*Extreme Light Infrastructure*) je evropská výzkumná infrastruktura zaměřená na uživatelský výzkum využívající lasery. Zahrnuje tři centra s různým zaměřením:

- ELI Beamlines (Czech Republic)
- ELI Attosecond (Hungary)
- ELI Nuclear Physics (Romania)

V roce 2021 bylo Evropskou komisí založeno konsorcium ELI ERIC (*European Research Infrastructure Consortium*).

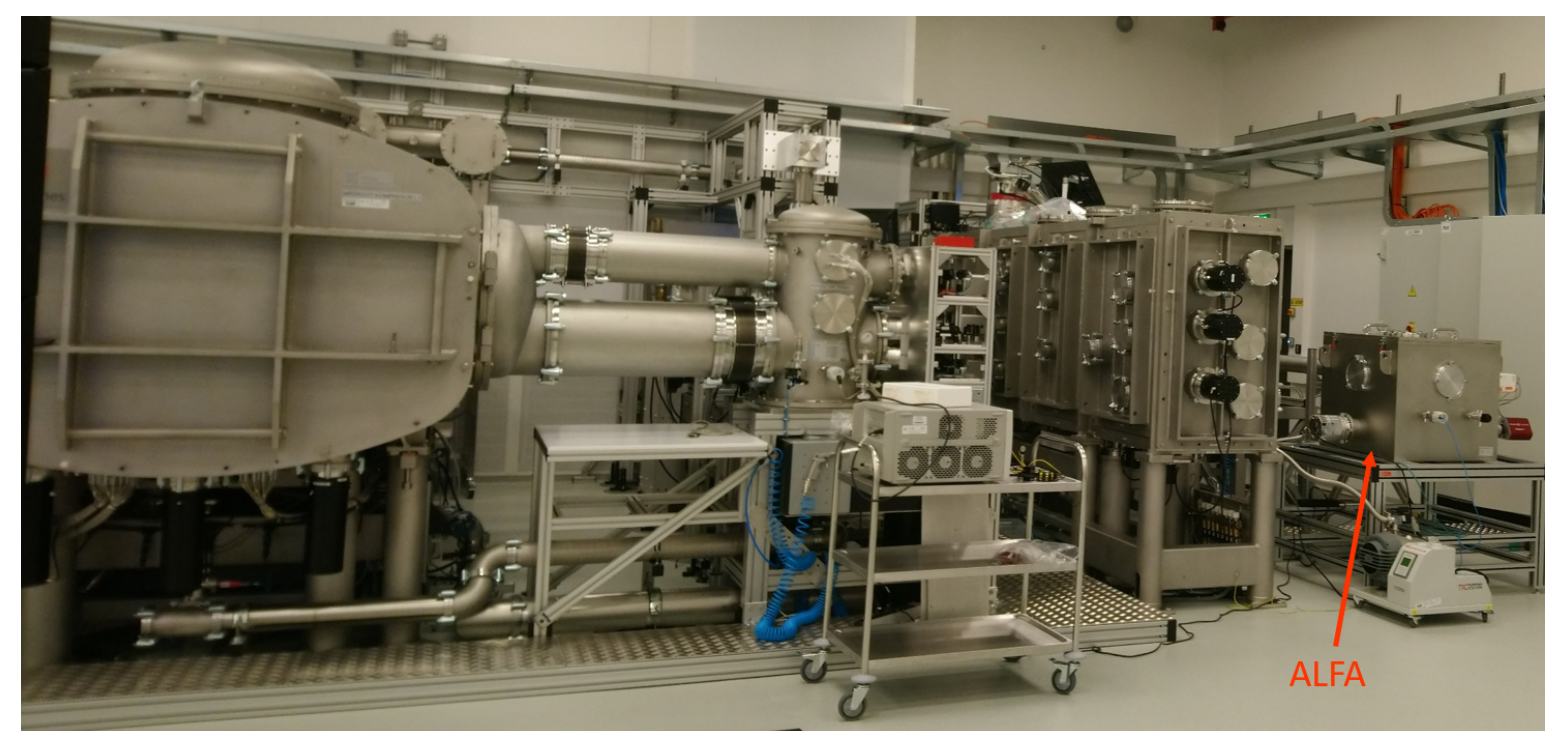
- Zakládající členové: CZ, HU, IT, LT
- Zakládající pozorovatelé: DE, BG
- Země se zájmem se připojit: CH, ES, PL, PT

Tab. 1: Hlavní laserové systémy ELI Beamlines.  $f$  značí opakovací frekvenci.

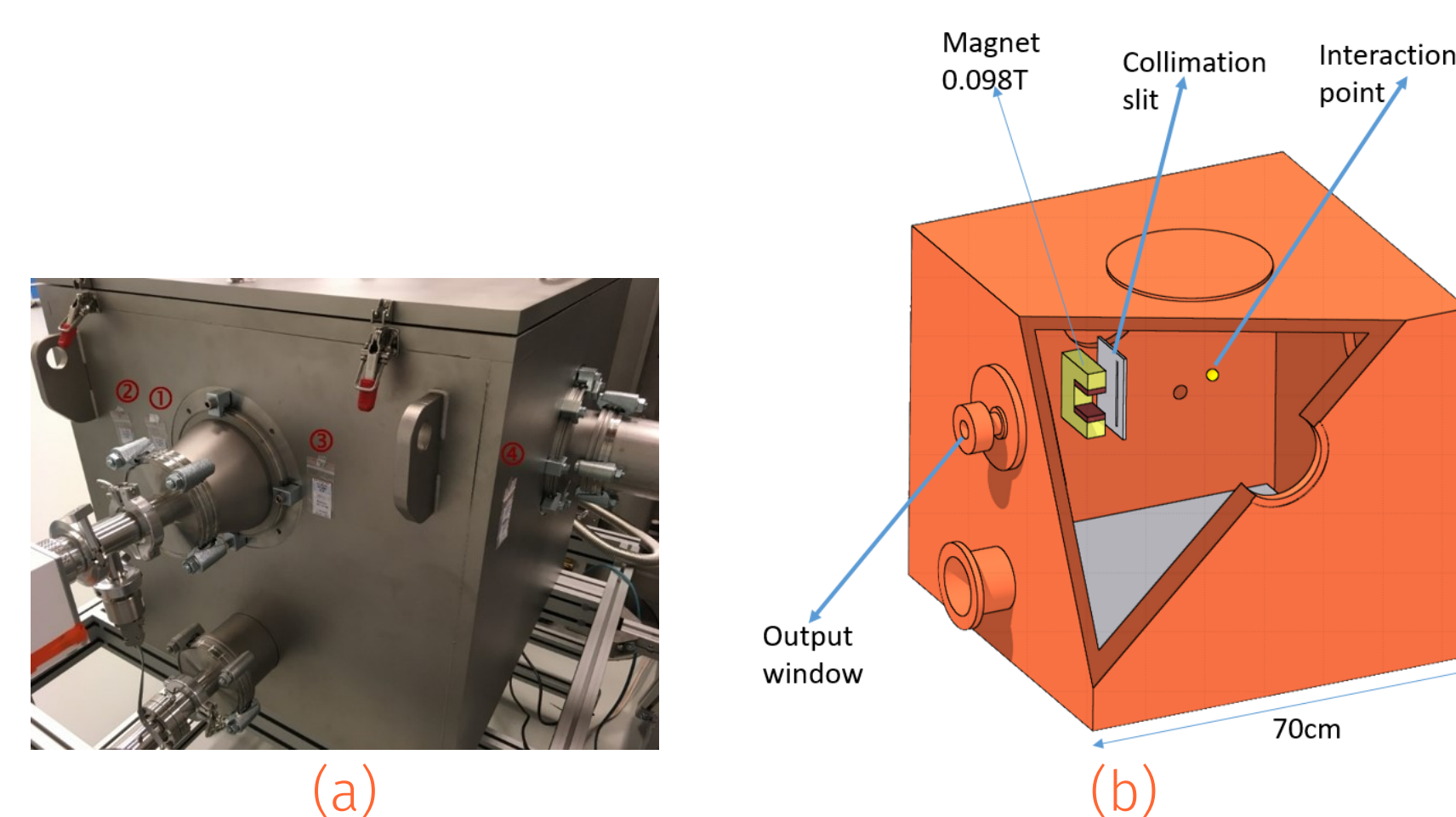
laser	$E$ [J]	výkon [TW]	$f$ [Hz]
L1 (ALLEGRA)	0,1	10	$10^3$
L2 (AMOS)	2	100	50
L3 (HAPLS)	30	$10^3$	10
L4 (ATON)	2000	$10^4$	0,1

## Stanice ALFA

- ALFA - *Allegra Laser For Acceleration*
- Využívá L1 laseru
- Uvnitř stanice je během provozu vakuum
- Vytváří svazek elektronů o energii až 50 MeV



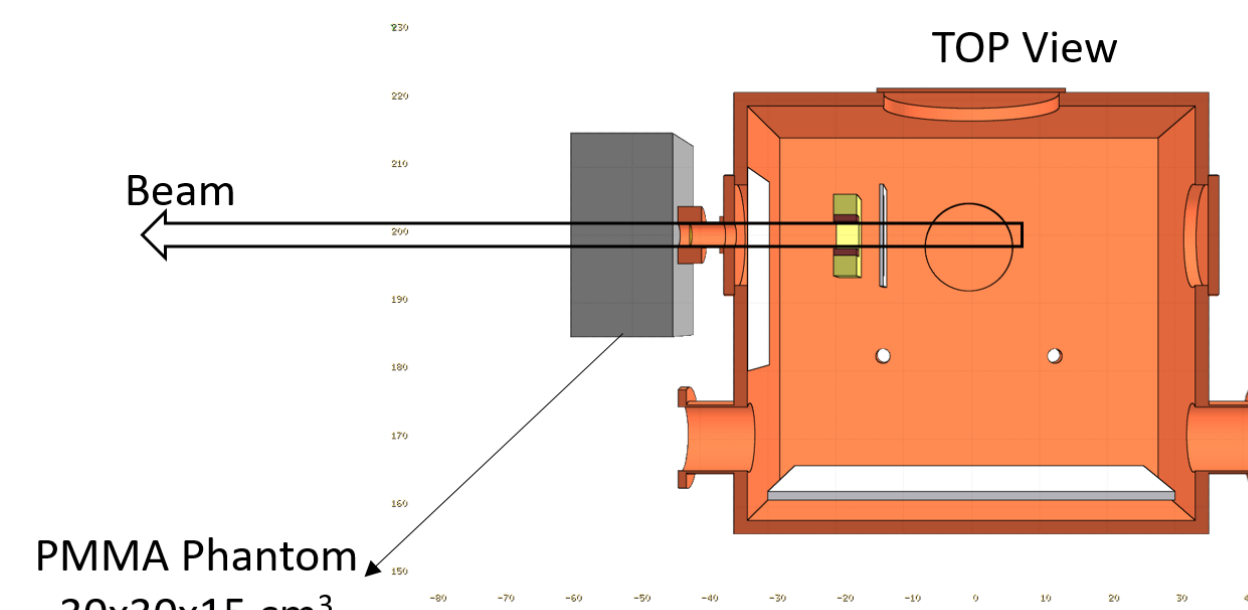
Obr. 1: Kompresor laseru L1 a stanice ALFA.



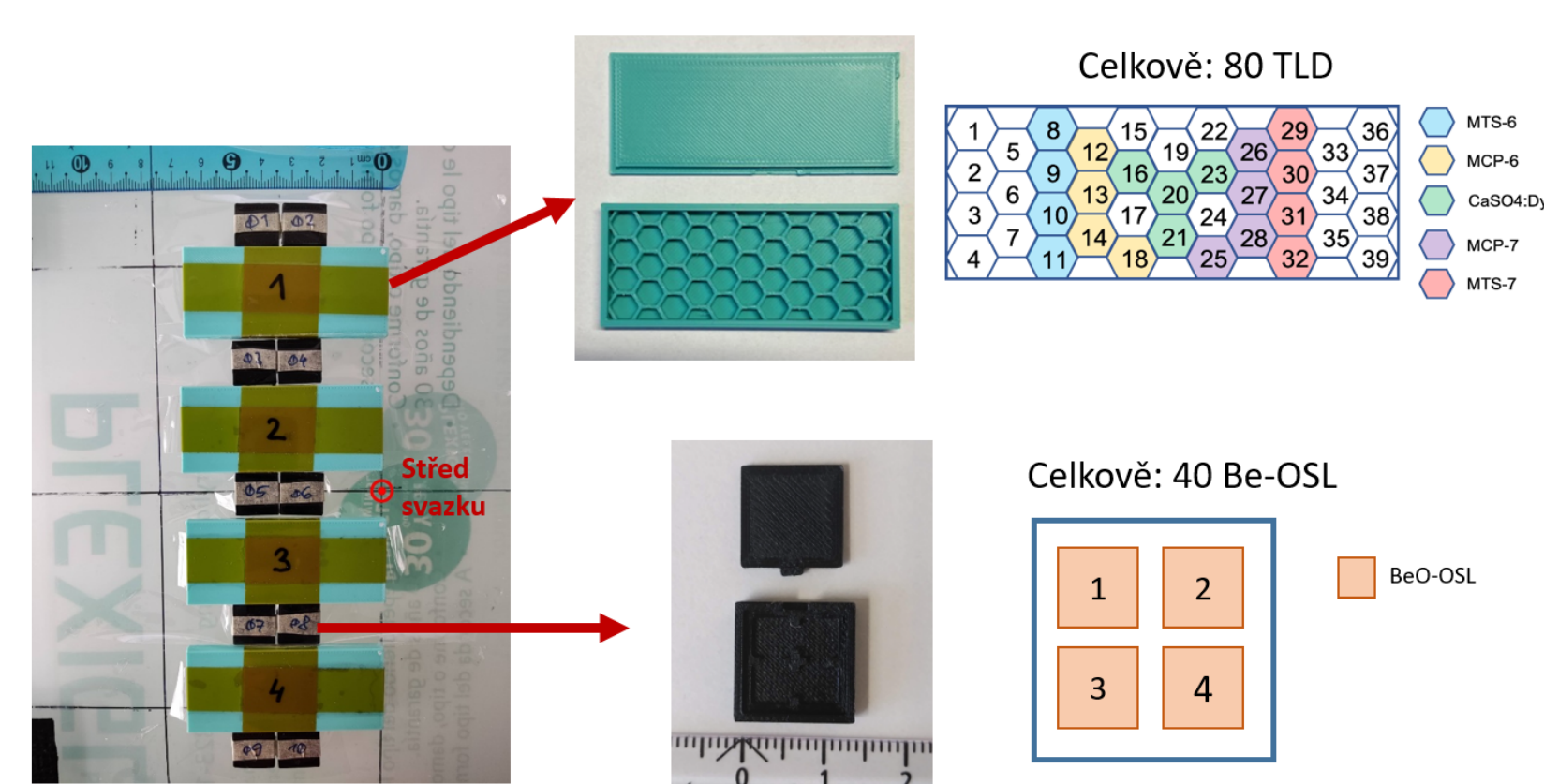
Obr. 2: (a) Vnější pohled na stanici ALFA. (b) Monte Carlo model stanice ALFA zobrazující mimo jiné vnitřní uspořádání stanice.

## Konfigurace měření

- Nastavení parametrů elektronového svazku:
  - doba ozařování = 400 s
  - počet pulzů = 220 000
  - max energie = 13 MeV
  - divergence svazku = 12 mrad při 5 MeV
  - průměrná energie = 3-4 MeV
- Testovány pasivní detektory:
  - OSLD: BeO
  - TLD: MCP-6/MCP-7 (LiF:Mg,Cu,P), MTS-6/MTS-7 (LiF:Mg,Ti), CaSO<sub>4</sub>:Dy
  - Gafchromický film pro změření dávkového profilu
  - Detektory byly kalibrovány v konvenčních radionuklidových polích
- Detektory umístěny na přední stranu PMMA fantomu (ISO 4037-3:2019).

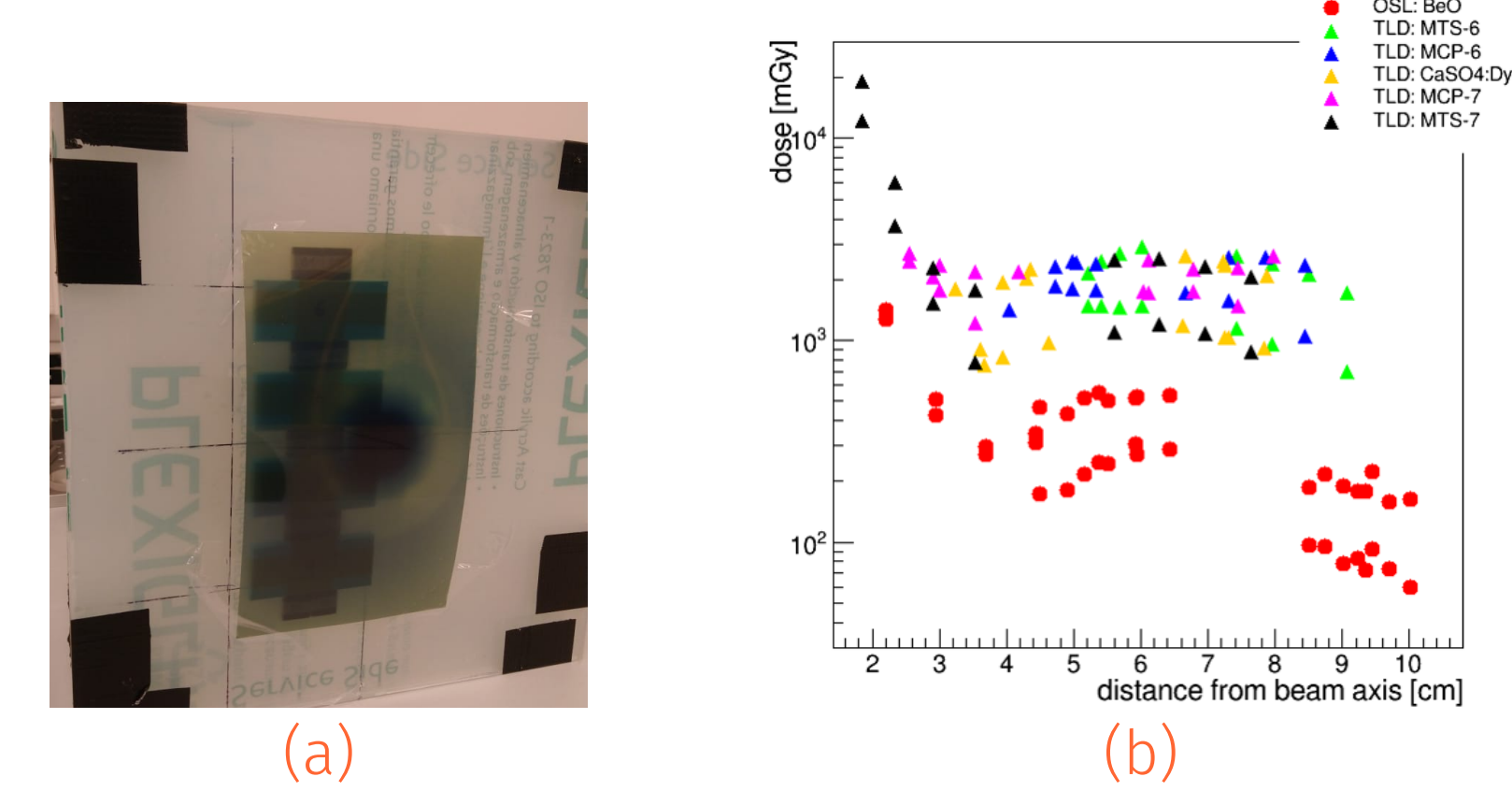


Obr. 3: Konfigurace měření.



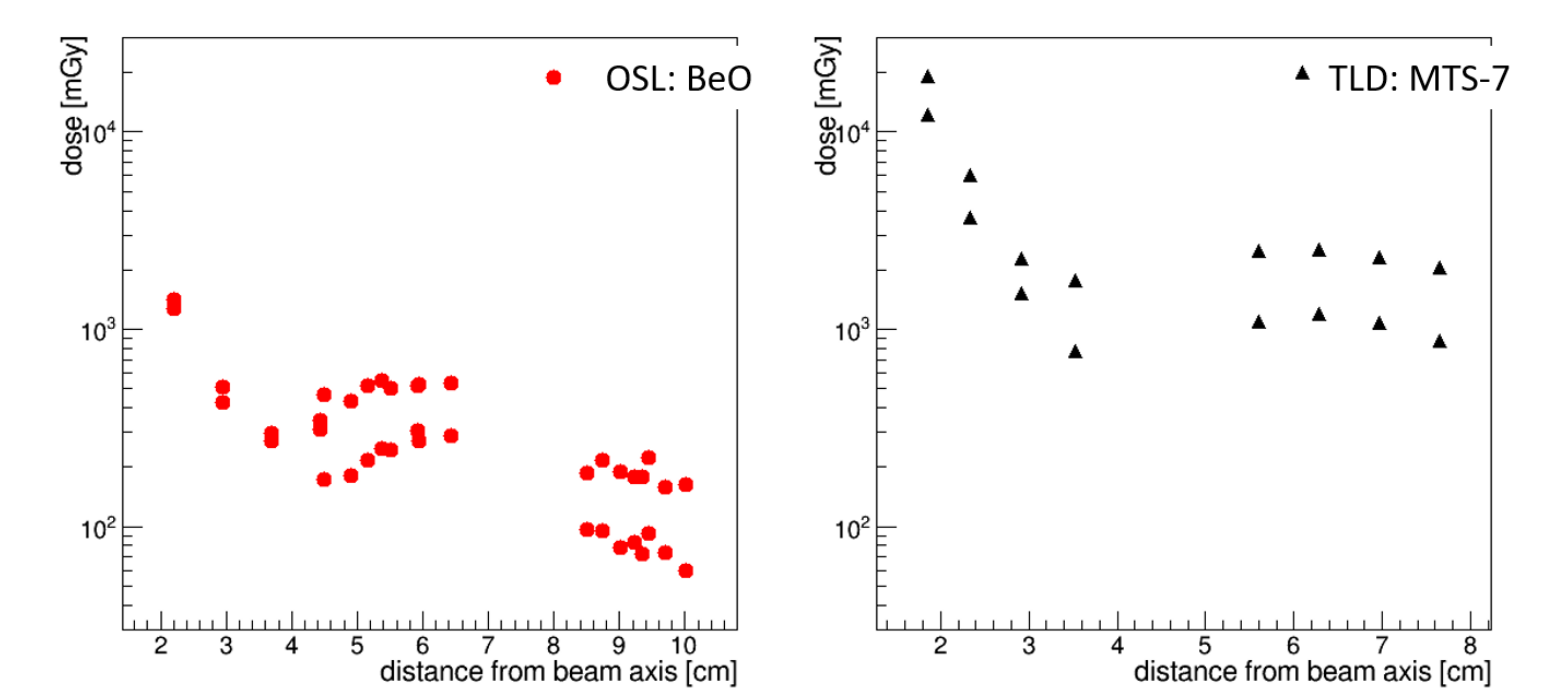
Obr. 4: Umístění detektorů. Gafchromický film (není na obrázku) byl umístěn na vrchní stranu OSLD a TLD.

## Výsledky

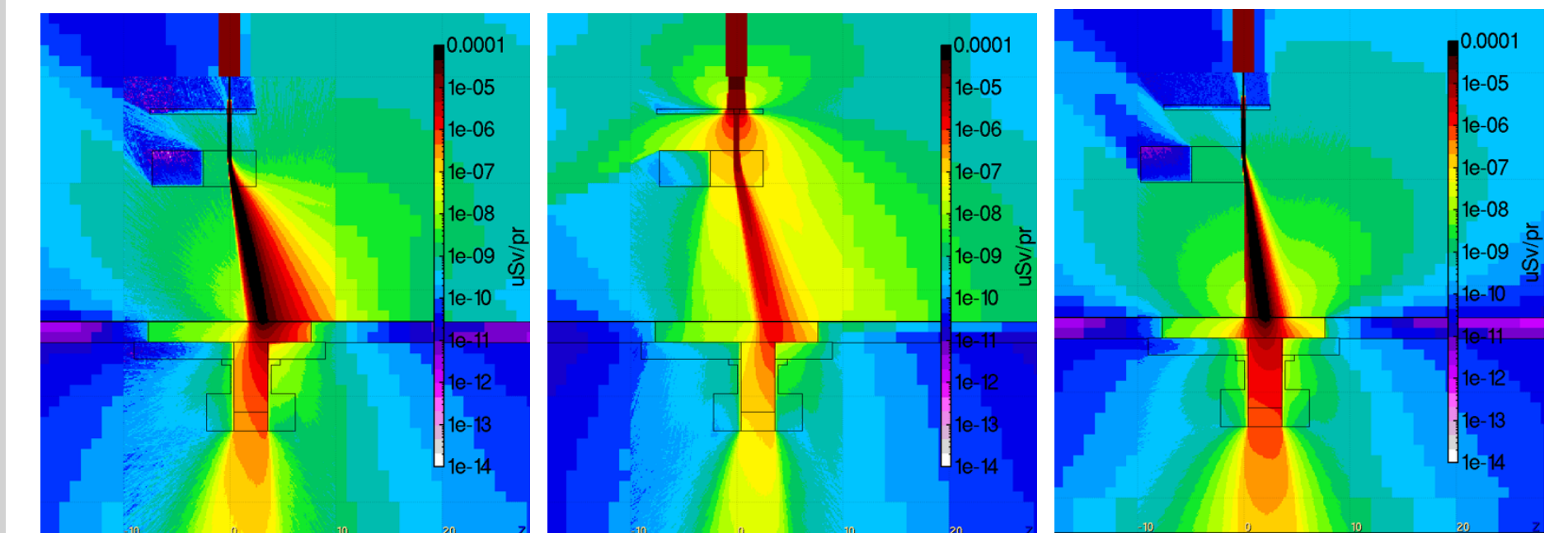


Obr. 5:

- (a) Gafchromický film po ukončení ozařování. Dávku nebylo z filmu možné stanovit kvůli překročení horní detekční meze filmu.  
(b) Naměřené hodnoty OSL a TL detektorů.



Obr. 6: Rozdílné odezvy BeO a MTS-7 detektorů.



Obr. 7: Profily obdržených dávek vypočítaných Flukou pro tři různá nastavení parametrů.

## Závěr

Pasivní detektory v pevné fázi byly ozářeny na experimentální stanici ALFA v ELI Beamlines za účelem studia jejich chování v pulsním poli záření, které bylo generováno laserem řízeným urychlovačem. Naměřené dávky se zdají být v souladu s předpokládanou hodnotou, která plyne z nastavení parametrů svazku. Komplexnější porovnání však nebylo možné provést kvůli překročení detekční meze detektorů umístěných ve středu svazku i u gafchromického filmu. Hodnoty z některých OSL detektorů jsou ve srovnání s TL detektory menší přibližně o jeden řád.

Experiment byl také simulován v Monte Carlo kódu FLUKA. Z výsledků plyne, že používání Monte Carlo metody v TW až PW laserových experimentech není přímočaré a jednoduché. Nejistoty v parametrech laseru, vyprodukovaného svazku a konfigurace experimentu mají veliký dopad na výsledky simulací.

## Reference

- AHDIDA, C., D. BOZZATO, D. CALZOLARI, et al. New Capabilities of the FLUKA Multi-Purpose Code. *Frontiers in Physics* [online]. 2022, 9 [cit. 2022-09-16]. ISSN 2296-424X. Dostupné z doi: 10.3389/fphy.2021.788253
- BATTISTONI, G., T. BOEHLEN, F. CERUTTI, et al. Overview of the FLUKA code. *Annals of Nuclear Energy* [online]. 2015, 82, 10-18 [cit. 2022-09-16]. ISSN 03064549. Dostupné z doi: 10.1016/j.anucene.2014.11.007
- SCHÜLLER, A. et al. The European Joint Research Project UHDPulse - Metrology for advanced radiotherapy using particle beams with ultra-high pulse dose rates. *Physica Medica* [online]. 2020, 80, 134-150 [cit. 2022-09-16]. ISSN 11201797. Dostupné z doi: 10.1016/j.ejmp.2020.09.020

Acknowledgements: This project 18HLT04 UHDPulse has received funding from the EMPIR programme co-financed by the Participating States and from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme.