

Kalibrace a monitorování astročásticových teleskopů

Daniel Staník

SLO

5. května 2022

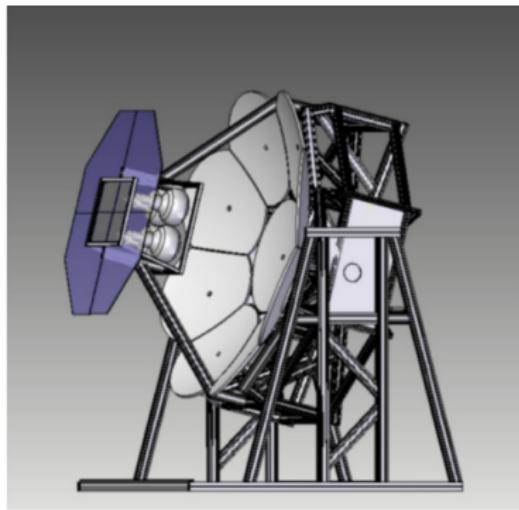
Cíle práce

- Dlouhodobě otestovat stávající světelný UV zdroj pro kalibraci fluorescenčního teleskopu FAST.
- Navrhnut a pokusit se realizovat případná vylepšení stability.
- Provést měření vlastností optoelektronických prvků vhodných pro účely stabilizačního zdroje.
- Analýza kalibračních dat z teleskopu FAST získaných za pomocí osvěcování UV zdrojem.

Teleskop FAST

- Fluorescenční teleskop pro detekci kosmických částic s extrémní energií (UHECR) (10^{18} až 10^{20} eV).
- Fluorescenční technika detekce - detekce deexcitačního slabého UV spektra dusíkových molekul atmosféry.
- Detekční část - čtyři fotonásobiče a superodrazná UV zrcadla.
- Dnes v provozu 4 prototypy.
- Budoucí účel - osazení velké plochy teleskopy tohoto typu a rekonstrukce spršek vyvolaných UHECR částicemi.

Teleskop FAST



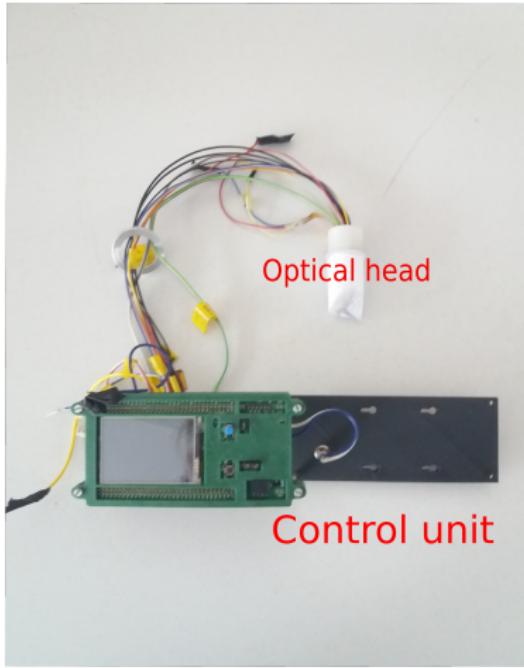
Obrázek: Návrh teleskopu.



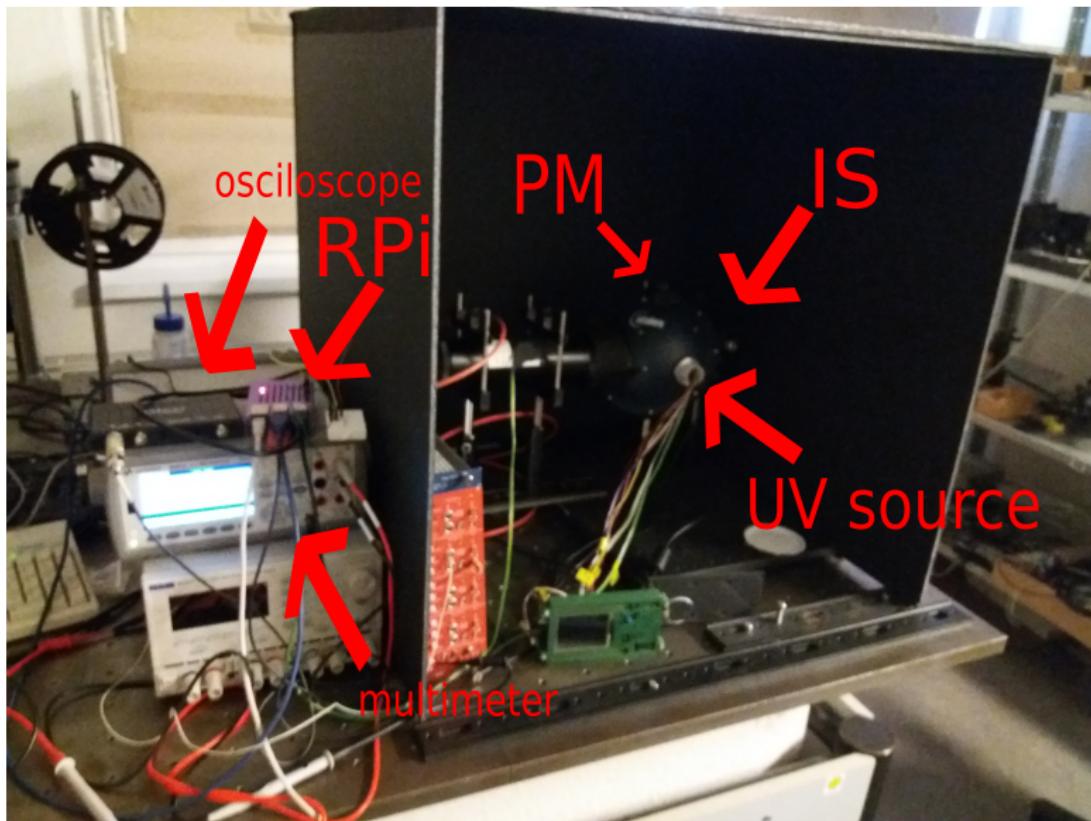
Obrázek: Teleskop FAST.

Vývoj a testování kalibračního UV zdroje

- Nutnost kalibrace teleskopu jako optické soustavy. Detekční části díky různým vlivům podléhají degradaci.
- K tomu účelu - pulzní kalibrační UV zdroj založen na diodách. Netestován, nutnost ověření jeho funkčnosti a návrh případných úprav či jiných konceptů. Proto sestavena aparatura pro dlouhodobé měření stability zdroje.
- Nutno ověřit dva parametry - stabilita výkonu a stabilita geometrie pulzů. Měření prováděno v intervalu dvou týdnů. K měření výkonu užit PM16 měřicí přístroj optického výkonu a k měření pulzní geometrie - fotonásobič + osciloskop.

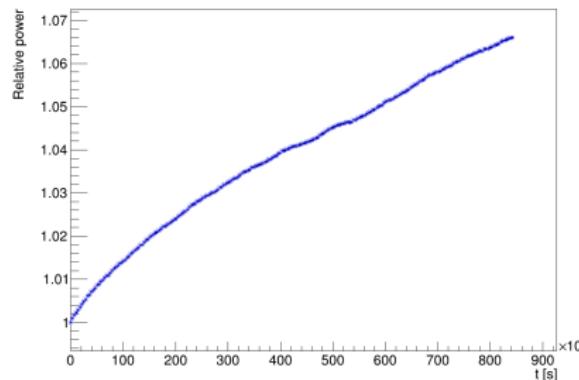


Obrázek: Prototyp kalibračního zdroje.

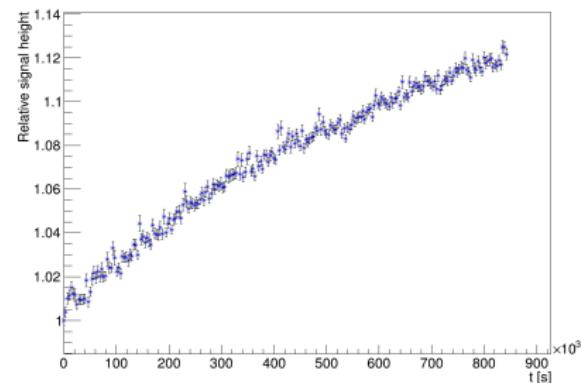


Obrázek: Testovací aparatura.

Výsledky měření

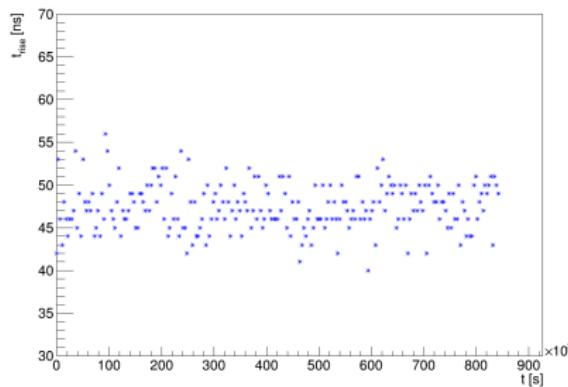


Obrázek: Vývoj výkonu.

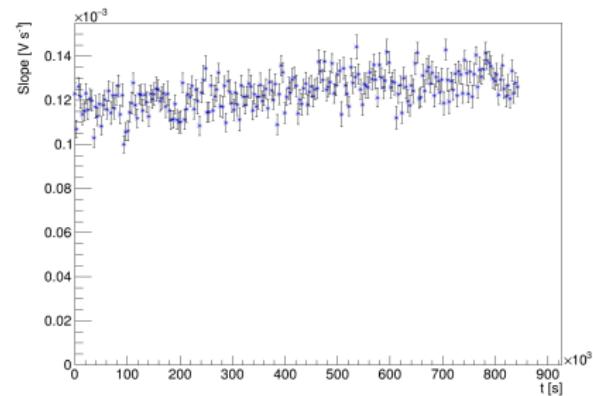


Obrázek: Vývoj výšky pulzu.

Výsledky měření



Obrázek: Vývoj doby náběhu.

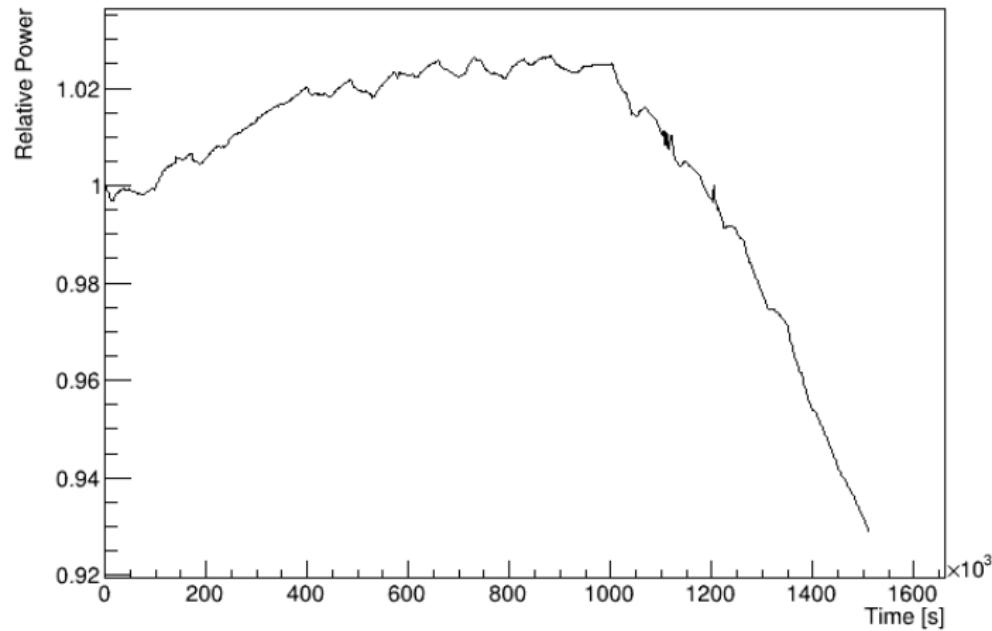


Obrázek: Vývoj sklonu náběžné hrany.

Výsledky měření

- Nalezen zásadní problém - výrazný rostoucí trend ve výkonu. Potvrzeno fotonásobičem i PM16. Pulzní geometrie - doba náběhu a sklon nemají dlouhodobý trend.
- Hlavní příčinou jsou degradační procesy v samotných diodách. Viz další stránka se samotným chováním diody.
- Možná oprava - přidaní zpětnovazební UV detekční diody, podle které se bude upravovat proud LEDkou.

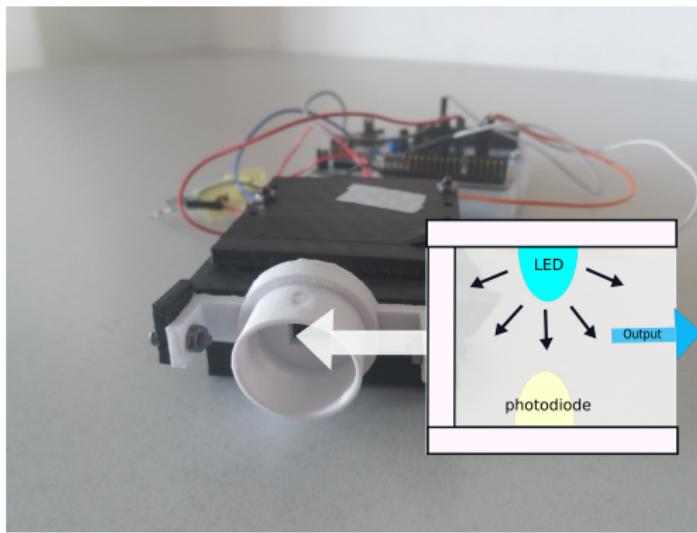
Degradace osamocené LED diody.



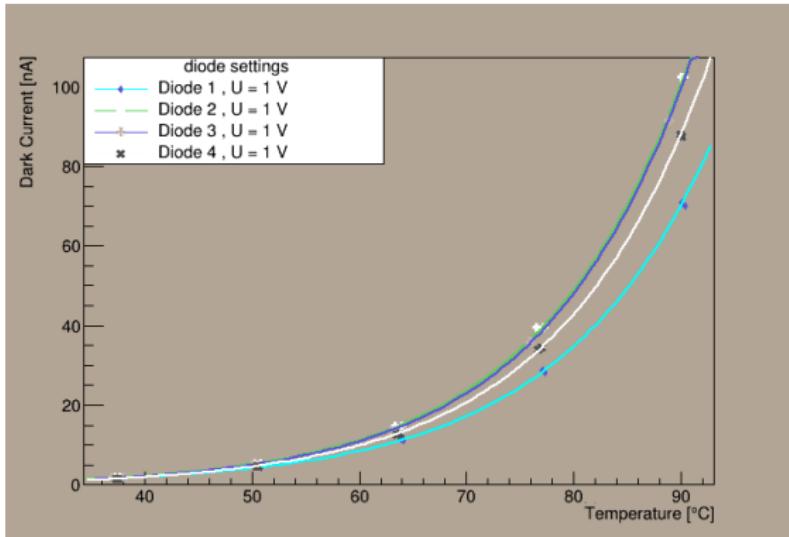
Obrázek: Degradace osamocené LED diody.

Optická zpětná vazba

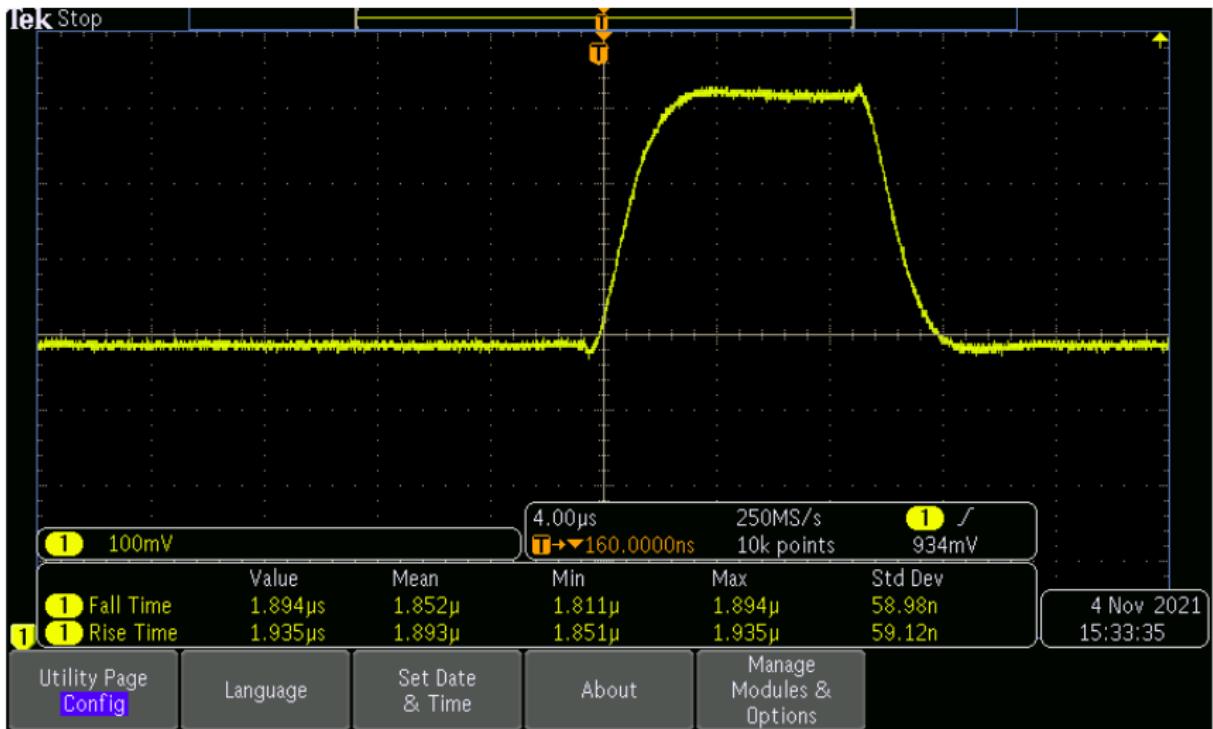
- Nastavování výkonu podle detekované hodnoty - detekce výšky pulzů za pomoci fotodiody.
- Nutnost změření fotodiody - závislosti chování na teplotě, odezvy na pulzy a dlouhodobé stability.



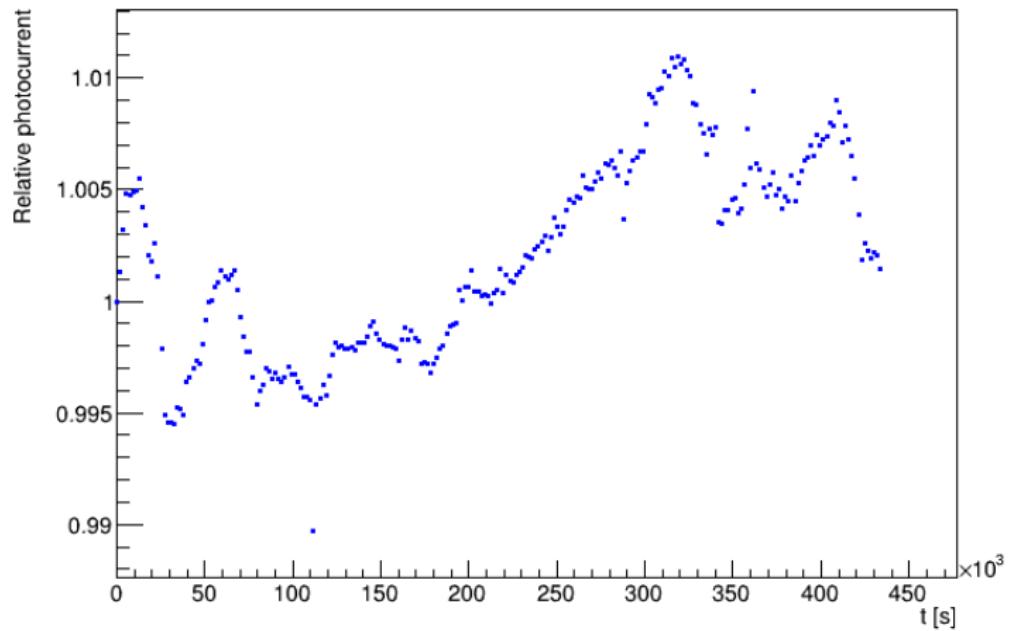
Obrázek: Zpětnovazební optomechanika.



Obrázek: Závislost temných proudů na teplotě.



Obrázek: Detekovaný pulz přes I/U převodník.

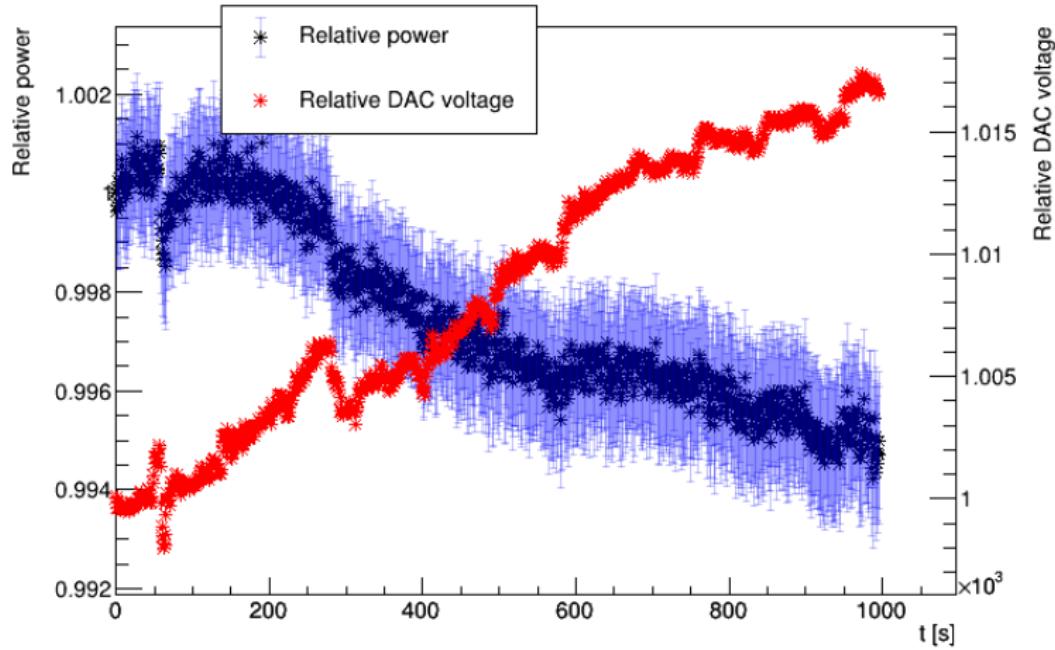


Obrázek: Stárnutí detekční fotodiody.

- Použití desky Nucleo F446RE. Nastavení synchronního vzorkování za pomocí provázání interních časovačů.
- Navzorkování pulzů, a vyvození výšky pulzu - získání hodnoty aktuálního výkonu. Tato hodnota následně použita do PID regulátoru.



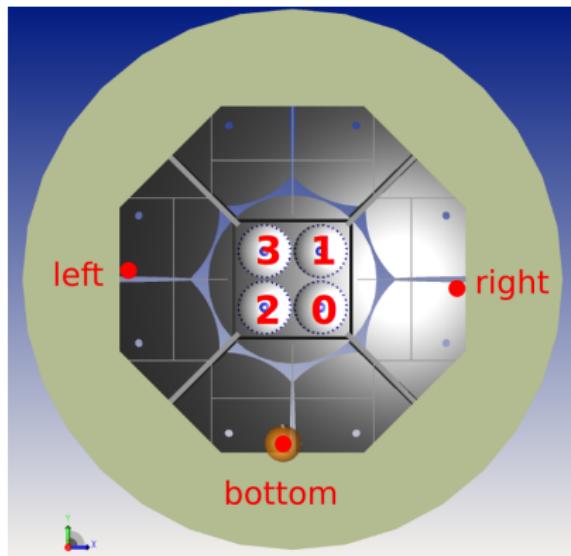
Obrázek: Synchronizované vzorkování.



Obrázek: Test upraveného zdroje.

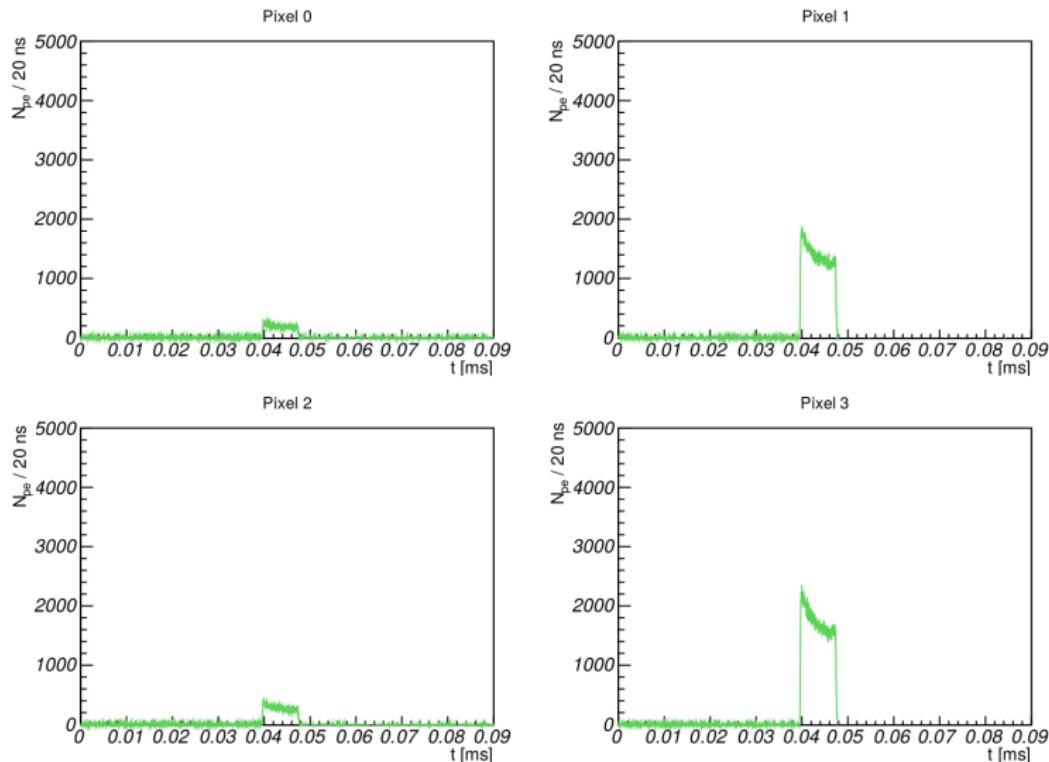
Analýza kalibračních dat

- Hlavní účel analýzy - získání relativních odezvových konstant pro 4 fotonásobiče.



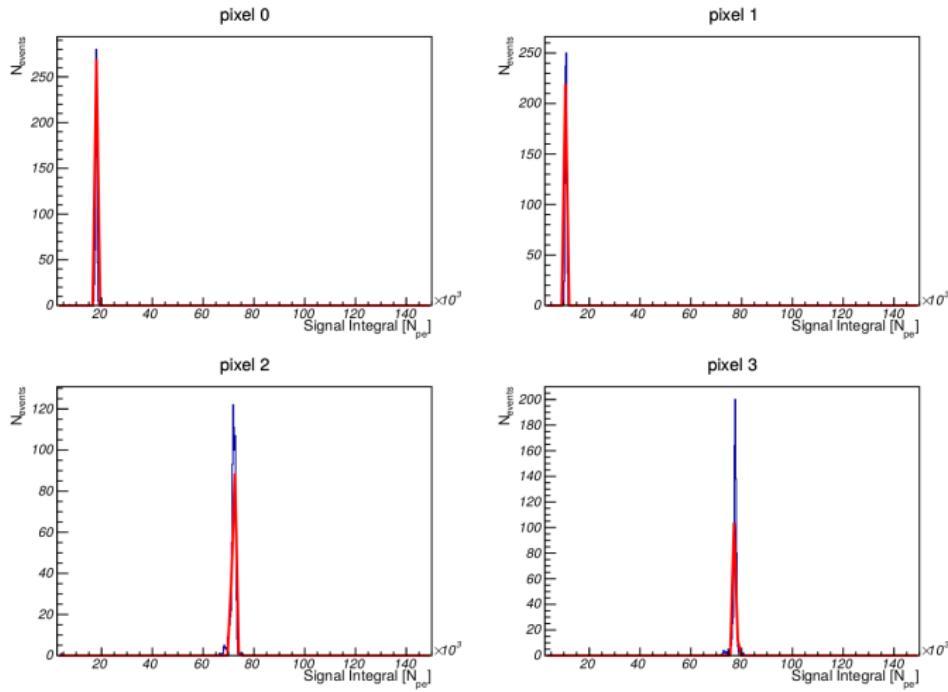
Obrázek: Umístění zdroje.

Nasvícení fotonásobičů



Obrázek: Signál viděný fotonásobiči.

Ukázka distribuce



Obrázek: Ukázka fitování distribucí maximální výšky kalibračních pulzů a srovnání pro 4 fotonásobiče.

Porovnání výsledků se simulacemi

	pravá	levá	spodek
c_0	0.2314 ± 0.0002	1	0.1070 ± 0.0002
c_1	0.1397 ± 0.0002	0.7485 ± 0.0003	0.8061 ± 0.0003
c_2	0.9304 ± 0.0004	0.2138 ± 0.0002	0.1631 ± 0.0002
c_3	1	0.2462 ± 0.0002	1

Tabulka: Naměřené odezvové konstanty.

	pravá	levá	spodek
c_0	0.48	0.95	0.44
c_1	0.41	1	0.98
c_2	1	0.41	0.46
c_3	0.95	0.46	1

Tabulka: Konstanty ze simulace.

Zhodnocení

- Podařilo se otestovat stávající koncept UV zdroje. Byla zjištěna dlouhodobá změna výkonu, s největší pravděpodobností způsobena procesy v LED diodě.
- Jako řešení otestována optická vazba využívající synchronizovaného vzorkování s regulátorem na bázi PID. Bylo dosaženo lepší stability.
- Z kalibračních dat se podařilo vyvodit odezvové konstanty pro fotonásobiče, ale neshodují se s teoretickými.

Děkuji za pozornost.

Otázky k práci

1. Proč byla zvolená právě integrační koule jako kalibrační zdroj?
2. Můžete rozebrat pojem mirror inhomogeneity (v diskuzi práce) a jaký vliv má tato homogenita na výsledek měření.
3. Na obrázku 7.4 -7.6 je v některých případech fit neodpovídá distribuci naměřených dat. Neovlivně tato nepřesnost výsledné extrahované kalibrační konstanty?

1. Proč byla zvolená právě integrační koule jako kalibrační zdroj?

Integrační koule poskytuje na výstupním portu prostorově homogenní intenzitu bez ohledu na vlastnosti užitého zdroje. U většiny světelných zdrojů není homogenita nijak zaručena, což by do kalibračních měření zaneslo další chybu.

2. Můžete rozebrat pojem mirror inhomogeneity (v diskuzi práce) a jaký vliv má tato homogenita na výsledek měření.

Mirror inhomogeneity - nehomogenita zrcadel. Nehomogenitou zrcadel jsou myšleny rozdíly v reflektivitě povrchu zrcadel, které mohou ovlivňovat fokusování světla do fotonásobičů, což ve výsledku může ovlivnit získané kalibrační konstanty.

3. Na obrázku 7.4 -7.6 je v některých případech fit neodpovídá distribuci naměřených dat. Neovlivní tato nepřesnost výsledné extrahované kalibrační konstanty?

V rámci fitů se zajímáme pouze o střední hodnotu, kterou fit určil správně. Výška gaussovskeho peaku, která není správně určena z daného fitu, nemá pro analýzu žádný význam a nijak se s ní nepracuje.