

Simulace a analýza dat teleskopů FAST

Přehled stavu, aktuální práce, kroky do budoucna

Petr Hamal,

Jakub Kmec, Vlastimil Jílek, Zuzana Svozilíková, Jiří Kvita, Michal Koutný,

Dušan Mandát, Ladislav Chytka

Obsah prezentace

- aktuální stav v simulaci, analýze dat a správě dat
- probíhající práce
- plány do budoucna

Aktuální stav

FAST teleskopy - TA a PAO

FAST @ TA

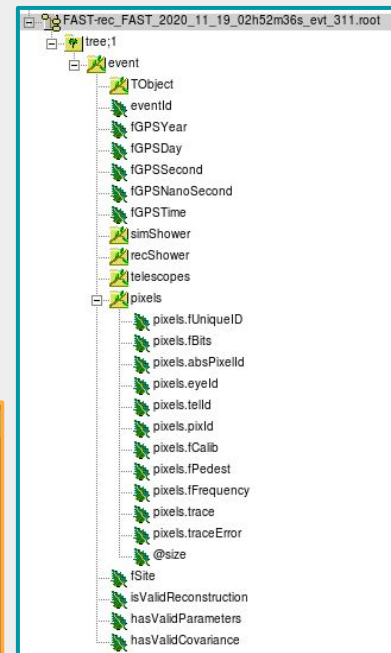
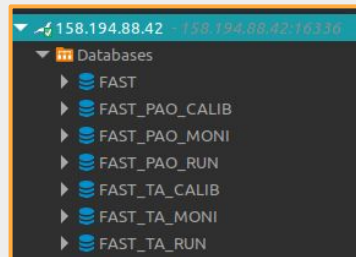
- 3 teleskopy v provozu
- **externí trigger**
- bez GPS informace (pouze NTP server a informace o odchylce mezi DAQ a NTP)
- YAP zdroje signálu fixně na některých PMT
- data od 2016 do 2019
 - COVID-19 pauza
 - od listopadu 2022 připraven k provozu
 - zatím bude operován kolegy z Japonska
 - česká skupina provádí UV LED měření k potenciální kalibraci kamery
- přenos dat omezen kvůli horší konektivitě
 - nutno zkopírovat na externí disk, přenést mimo TA síť, pak možno kopírovat do Olomouce, proto delší čekací doba na naměřená data

FAST @ PAO

- 1 teleskop v provozu
- období duben 2019 - prosinec 2020:
 - **interní trigger**, GPS signál
 - YAP kalibrace 2x (duben a 2019)
 - UV LED měření možná (využití ke kalibraci?)
 - mimo provoz 2021 - červen 2022 (COVID-19, DAQ)
- období červen 2022 - současnost (únor 2023)
 - **externí trigger**, ztráta signálu GPS (listopad 2022; od leden 2023 přechod na podobný stav jak pro TA)
 - UV LED kalibrace během měření
 - YAP kalibrace 1x (červen 2022)
- DAQ - postupné problémy se startem
 - pokus o opravu, funguje, ale nesmí se vypnout

Datové úložiště

- data z měření jsou mimo jiné zálohována i na server do Olomouce
- zatím jsou uložena v originálním formátu
 - horší práce s daty při jejich zpracování a analýze
 - v brzké době budou převedena do ROOT formátu (<https://root.cern/>), zlepší to správu práce s daty
 - konverze RAW->ROOT je součástí FASTFramework (bude popsáno později)
- FAST databáze pro různá data
 - informace ze senzorů, kalibrací (HV, YAP, UV LED)
- výpočetní výkon - dedikovaný počítač



FAST Framework

- autoři: Justin Albury, John Farmer
- **soubor nástrojů ke zpracování dat a simulacím**
 - FAST-sim ... provádí simulaci odezvy PMT na spršku; možnosti definovat pole teleskopů
 - FAST-rec ... slouží k rekonstrukci vstupních dat; využívá metody TopDownRec
 - FASTTopDownRec ... implementace rekonstrukční metody TopDownRec; série simulací a porovnání se vstupními daty; maximalizace věrohodnosti dat se simulací metodou likelihood
 - FASTEventIO ... implementace IO formátu dat
 - programs -> AirFly2FASTEventFile (konvertor FAST dat RAW -> ROOT), Read, Write, a další
- **založen na Auger Offline sadě nástrojů**
 - implementuje starou verzi Auger Offline, kterou prakticky lze instalovat už jen v CentOS 7 (rok 2014+)
 - instalace CentOS 7 virtualizovaně (VBox apod.)
 - ztráta výkonu fyzického stroje, nutnost alokovat daný výkon předem
 - instalace CentOS 7 a FASTFramework s využitím pokročilých technologií (docker, LXC/LXD, apod.)
 - složitější správa a nastavení, sdílení fyzického výkonu s hostujícím OS
- **vyžívá ROOT 5 (součást Auger Offline) jehož podpora skončila v roce 2016 (2018)**

FAST Framework

- **potřeba aktualizace na novější Auger Offline**
 - umožní instalaci pod novějším OS
 - umožní využití novějšího ROOT 6
 - provede se pročištění kódu, zpracuje se dokumentace
- části kódu a nastavení jsou psány pro potřeby FAST@TA
 - v případě FAST@PAO je potřeba si dát pozor na některé specifická nastavení
- **potřeba implementace jednoduššího načítání dat** (např. z DB; rozpracováno)
- **indexace mezi daty a simulací je rozdílná**
- indexace mezi FAST-sim a FAST-rec může způsobovat nekonzistenci v rekonstrukci
 - řešení rozpracováno
- **optimalizace a pročištění kódu**, následné uložení na dostupném místě
 - **FAST Collaboration github repozitář** (správce L. Chytka): <https://github.com/FASTCollaboration>
 - neveřejný, ale pod aktivní správou a neomezeném počtu členů kolaborace
 - do teď FAST-sim a FAST-Framework uloženy v soukromých repozitářích autorů (kteří už nejsou členy FAST kolaborace), špatně přístupné

Zpracování dat - absolutní kalibrace

- měření závislosti zesílení (Gain) fotonásobiče (PMT) na napětí (HV) provedena skupinou z Chicago University
 - body proloženy polynomem 3. řádu
 - hodnoty vstupují do výpočtu kalibrační konstanty pro přepočítání počtu PMT signálu na fotoelektrony ($N_{p.e.}$)
 - kalibrační hodnoty uloženy do DB
- HV hodnoty PMTs laděny na stejný zisk ($5e4$)
 - u některých PMTs bylo HV dodatečně upraveno, proto nutnost znát nové kalibrační konstanty

FAST@TA

| timestamp | chanid | value |
|---------------|--------|--------|
| 1 475 466 439 | 4 | 8,3 |
| 1 475 466 439 | 5 | 8,262 |
| 1 475 466 439 | 6 | 8,223 |
| 1 475 466 439 | 7 | 8,328 |
| 1 506 406 530 | 0 | 6,443 |
| 1 506 406 530 | 1 | 8,026 |
| 1 506 406 530 | 2 | 7,965 |
| 1 506 406 530 | 3 | 6,174 |
| 1 538 809 169 | 8 | 11,451 |
| 1 538 809 169 | 9 | 8,05 |
| 1 538 809 169 | 10 | 7,832 |
| 1 538 809 169 | 11 | 7,962 |

FAST@PAO

| timestamp | chanid | value |
|---------------|--------|--------|
| 1 555 027 013 | 0 | 7,909 |
| 1 555 027 013 | 1 | 8,122 |
| 1 555 027 013 | 2 | 8,212 |
| 1 555 027 013 | 3 | 8,018 |
| 1 555 407 312 | 0 | 5,728 |
| 1 555 407 312 | 2 | 4,427 |
| 1 555 407 312 | 3 | 21,815 |

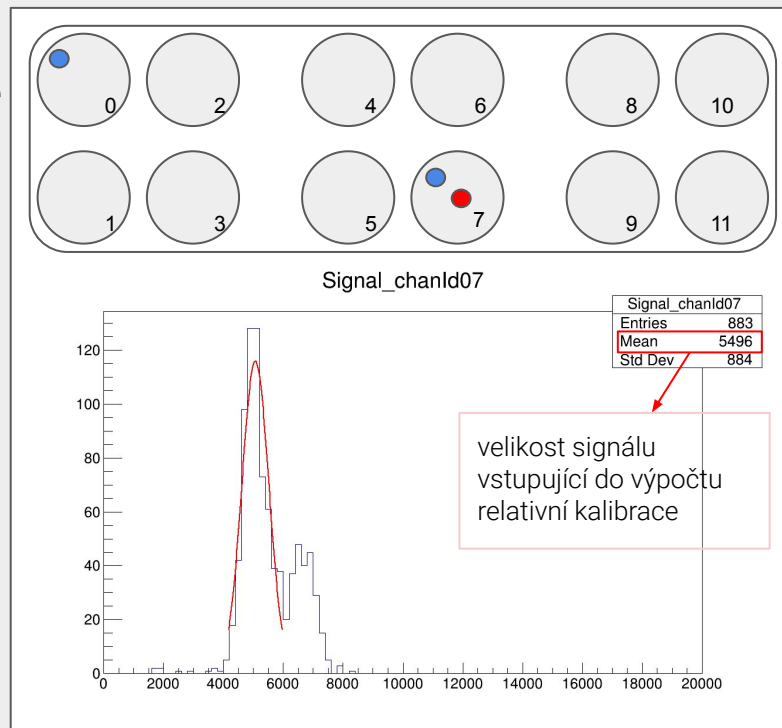
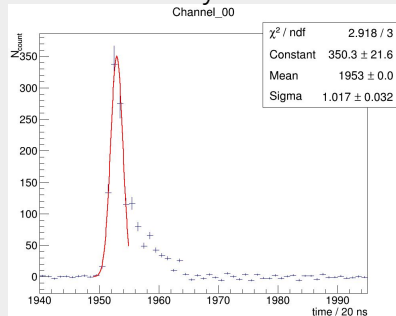


Zpracování dat - relativní kalibrace - YAP zdroj

- $\text{YAlO}_3:\text{Ce}$ (**Y**ttrium **A**luminum **P**erovskite) scintilátor
- excitovaný zdrojem α částic - ^{241}Am , 50 Bq
- měření při nichž byl jeden YAP zdroj postupně přemístěn na všechny fotonásobiče
- sada měření pro jednu konfiguraci

pozn.: některá PMT@TA mají fixní YAP

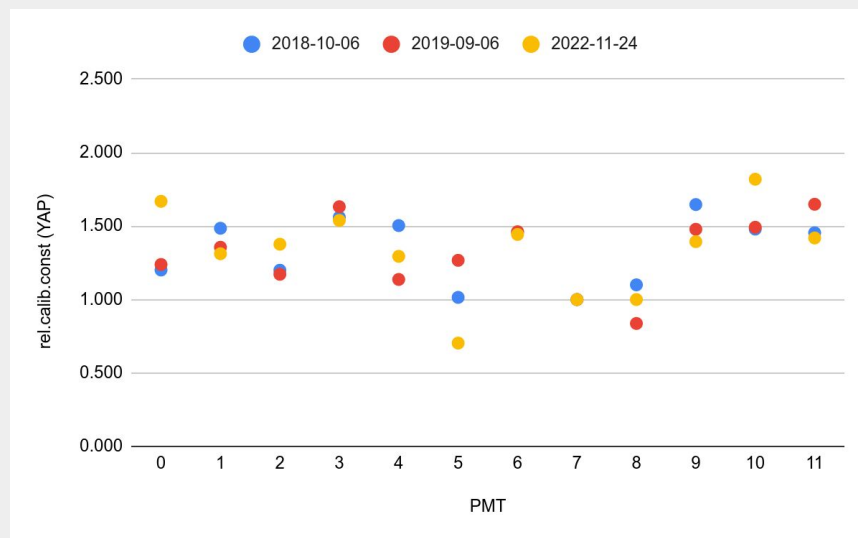
ukázka odezvy PMT na YAP



Zpracování dat - relativní kalibrace - YAP zdroj

- YAP **kalibrace pro FAST@TA** s předběžnými výsledky pro listopad 2022
- k měření z 2022 **použit jiný YAP zdroj**, ten byl umístěn na držáku v blízkosti středu povrchu PMT
- **předchozí měření** používala YAP, který byl **převezen na FAST@PAO**

| PMTID | YAP_CALIB | | |
|-------|------------|------------|------------|
| | 2018-10-06 | 2019-09-06 | 2022-11-24 |
| 0 | 1.201 | 1.239 | 1.669 |
| 1 | 1.485 | 1.356 | 1.312 |
| 2 | 1.200 | 1.172 | 1.377 |
| 3 | 1.560 | 1.632 | 1.539 |
| 4 | 1.504 | 1.137 | 1.294 |
| 5 | 1.015 | 1.267 | 0.704 |
| 6 | 1.458 | 1.462 | 1.443 |
| 7 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 8 | 1.100 | 0.837 | 1.000 |
| 9 | 1.647 | 1.478 | 1.394 |
| 10 | 1.480 | 1.492 | 1.819 |
| 11 | 1.454 | 1.649 | 1.419 |

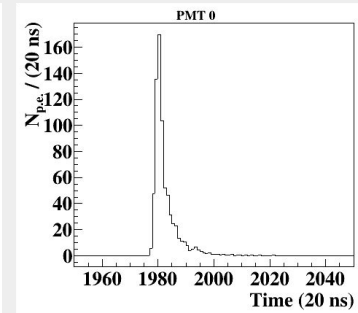
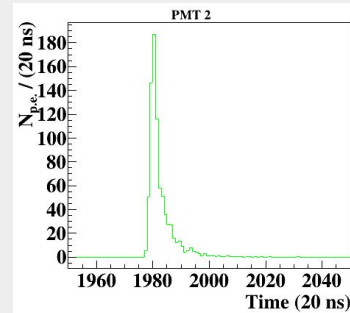
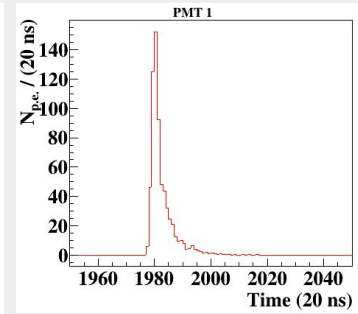
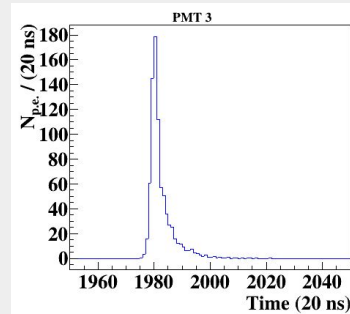
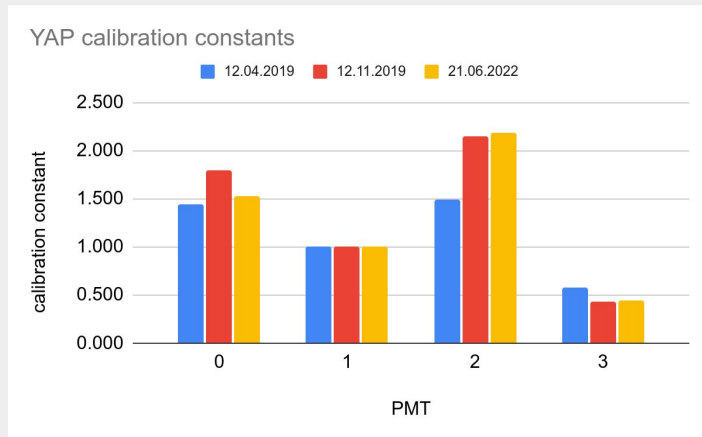


- PMT 7 jako reference (CLF v zorném poli)

Zpracování dat - relativní kalibrace - YAP zdroj

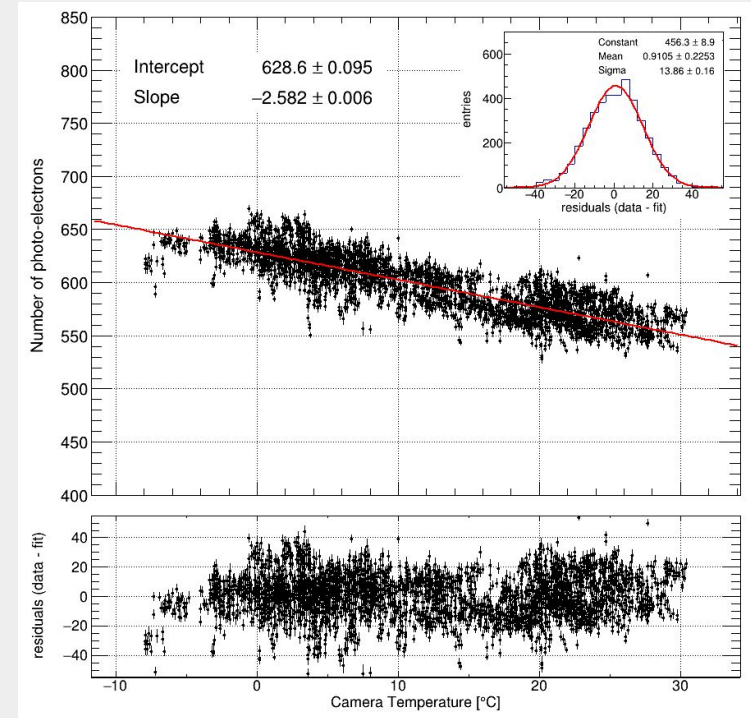
- YAP kalibrace pro **FAST@PAO**
- PMT 1 jako referenční (CLF v zorném poli)

| date / PMT | 0 | 1 | 2 | 3 |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| 12.04.2019 | 1.441 | 1.000 | 1.498 | 0.580 |
| 12.11.2019 | 1.791 | 1.000 | 2.144 | 0.432 |
| 21.06.2022 | 1.530 | 1.000 | 2.187 | 0.448 |



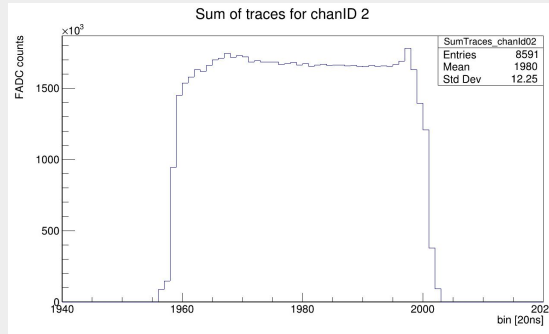
Zpracování dat - fixní YAP zdroj - teplotní závislost PMT

- studie proveditelná (zatím) jen pro FAST@TA
- **fixní YAP zdrojem pravidelného signálu**
- **porovnání s teplotou z observatoře**
 - data do 2023 pouze s venkovní teplotou z observatoře, teplotní závislost nemusí být přesná
 - od listopadu 2022 instalovány teplotní senzory jako na FAST@PA, mohou zpřesnit výpočet teplotní závislosti
- cca -0,4% Np.e. na +1°C

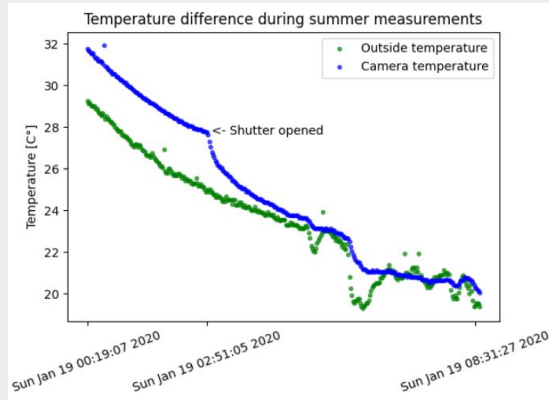


Zpracování dat - UV LED zdroj

- cílem je využití UV LED zdroje k relativní kalibraci velikosti signálu, případně k teplotní kalibraci signálu

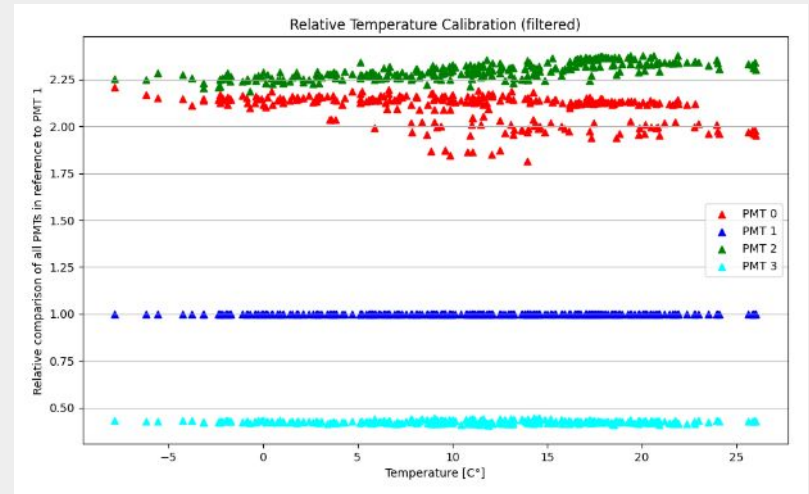


- UV LED signál detekovaný PMT



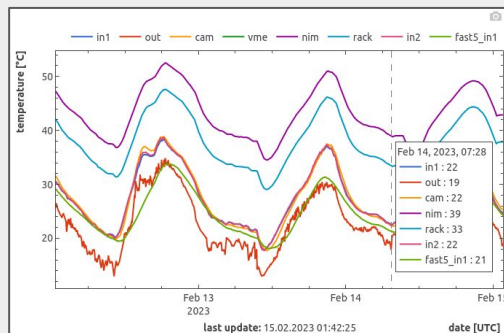
- porovnání venkovní teploty s teplotou kamery
- vliv otevření FAST boudy

- porovnání závislosti relativních hodnot UV LED signálu na teplotě
- použita data z období do konce roku 2020



Nabírání dat

- DAQ systémy na FAST@TA i FAST@PAO
- logování průběhu nočního měření - ELOG systém (<https://elogs.psi.ch/elogs/>)
 - prvně použit pro FAST@PAO - tato měření jsou v gesci olomoucké skupiny
 - od listopadu 2022 instalováno i pro FAST@TA
- sběr dat z environmentálních čidel
 - data ukládána do DB



FAST@PAO logbook, Page 1 of 1

Logged in as "FAST Collaboration"

New | Find | Select | Import | Config | Logout | Last day | Help

Full | Summary | Threaded

-- All entries -- -- Type -- 17 Entries

| ID | Date | Shifter | Type | Shift start date (ART) | Text |
|-------|--------------------------|-----------------------------|-------------|------------------------|---|
| Draft | Wed Feb 15 00:21:57 2023 | Petr Hamal | Shift | 2023-02-14 | 00:23 NIM, SQM ON 00:25 HV ON |
| 18 | Fri Feb 10 06:37:29 2023 | Michal Koutny | Calibration | 2023-02-10 | Fri Feb 10 06:37:18 2023 NIM, SQM on Fri Feb 10 06:39:24 2023 HV on Fri Feb 10 07:19:37 2023 Pedestal |
| 17 | Mon Feb 6 06:46:14 2023 | Michal Koutny | Calibration | 2023-02-06 | Mon Feb 6 06:46:02 2023 NIM, SQM on Mon Feb 6 06:49:00 2023 HV on Mon Feb 6 07:25:14 2023 Pedestal |
| 16 | Mon Jan 30 03:01:26 2023 | Vlastimil Jilek | Shift | 2023-01-29 | 02:57 NIM, SQM ON 02:58 HV ON 03:00 Failsafe -endtime 08 30 |
| 15 | Sun Jan 29 02:21:02 2023 | Vlastimil Jilek | Shift | 2023-01-28 | 02:15 NIM, SQM ON 02:18 HV ON 02:20 Failsafe -endtime 08 30 |
| 13 | Sat Jan 28 01:09:11 2023 | Martin Vacula | Shift | 2023-01-27 | 01:30 NIM, SQM ON 01:33 HV ON 01:33 Failsafe -endtime 08 30 |
| 12 | Fri Jan 27 00:28:44 2023 | Vlastimil Jilek | Shift | 2023-01-26 | 00:26 NIM, SQM ON 00:28 HV ON 00:30 Failsafe -endtime 08 30 |
| 11 | Thu Jan 26 00:37:06 2023 | Vlastimil Jilek | Shift | 2023-01-25 | 00:24 NIM, SQM ON 00:26 HV ON 00:28 Failsafe -endtime 08 30 |
| 10 | Wed Jan 25 00:32:00 2023 | Martin Vacula | Shift | 2023-01-24 | 00:35 NIM, SQM ON 00:37 HV ON 00:38 Failsafe -endtime 08 30 |
| 9 | Tue Jan 24 00:56:17 2023 | Martin Vacula | Shift | 2023-01-23 | 00:52 NIM, SQM ON 00:57 HV ON 00:57 Failsafe -endtime 08 30 |
| 7 | Mon Jan 23 00:50:27 2023 | Martin Vacula | Shift | 2023-01-22 | 00:54 NIM, SQM ON 00:58 HV ON 00:59 Failsafe -endtime 08 30 |
| 6 | Sun Jan 22 00:01:53 2023 | Fraser Bradfield | Shift | 21/01/2023 | 00:11 NIM, SQM ON 00:51 HV ON 00:55 Failsafe -endtime 08 30 |
| 5 | Sat Jan 21 00:53:57 2023 | Petr Hamal | Shift | 2023-01-20 | 00:54 NIM, SQM ON 00:59 HV ON Failsafe -endtime 08 30 |
| 4 | Fri Jan 20 01:05:16 2023 | Dusan Mandat, Michal Koutny | Shift | 2023-01-19 | Fri Jan 20 01:05:21 2023 NIM, SM ON Fri Jan 20 01:08:45 2023 HV ON Fri Jan 20 01:38:44 2023 Calibration |
| | | Dusan Mandat | | | Thu Jan 19 01:12:29 2023 NIM, SQM ON |

Probíhající práce

Rekonstrukce

- proces založen na tzv. Top-Down Likelihood rekonstrukci
- **data jsou porovnávána se sadou simulací**, je hledána nejlepší shoda
- funkce likelihood - obecně

$$\mathcal{L}(\vec{x}|\vec{a}) = \prod_i^N P(x_i|\vec{a}) \longrightarrow \ln \mathcal{L}(\vec{x}|\vec{a}) = \sum_i^N \ln P(x_i|\vec{a})$$

- funkce likelihood - pro FAST rekonstrukci
(pro jeden fotonásobič)

$$-2 \ln \mathcal{L}(\vec{x}|\vec{a}) = \sum_i^N \frac{(x_i - \mu_i)^2}{[\sigma^2 + \mu_i(1 + V_g)]} + \ln [\sigma^2 + \mu_i(1 + V_g)] + \ln 2\pi$$

Diagrammatic annotations for the equation above:

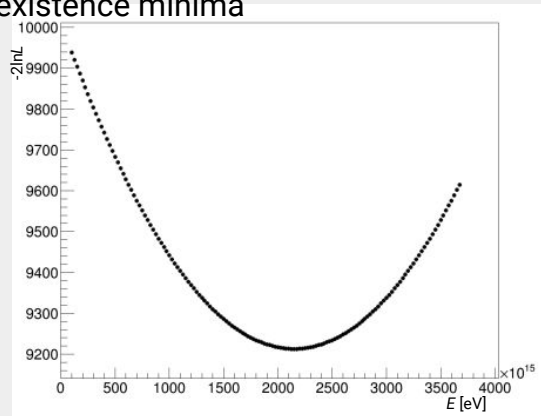
- Blue arrow from x_i to "data"
- Orange arrow from μ_i to "model/simulace"
- Blue arrow from σ^2 to "pozadí v datech"
- Orange arrow from $\mu_i(1 + V_g)$ to "model/simulace: odhad chyby"

- pro zjednodušené použití : $-2 \ln L$

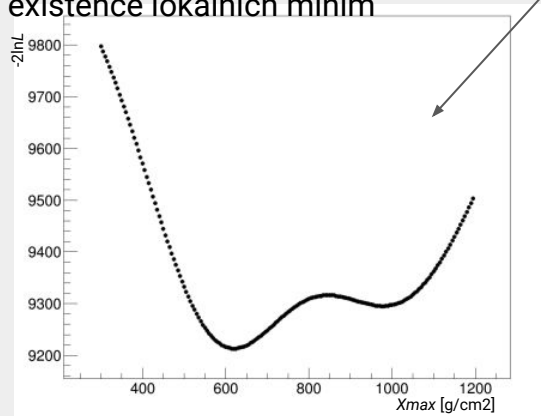
Likelihood funkce pro ideální stav

- provedena sada simulací pro E a X_{\max}
 - E v rozsahu od 0,4 do 3,5 EeV ; X_{\max} v rozsahu od 350 do 1250 g/cm²
 - jako data použita událost o $E = 2,1$ EeV a $X_{\max} = 610$ g/cm²
 - použita funkce likelihood ze simulačního software
 - zkoumána její funkčnost (mimo rekonstrukční software)
 - pro ideální případ by funkce L měla být funkční

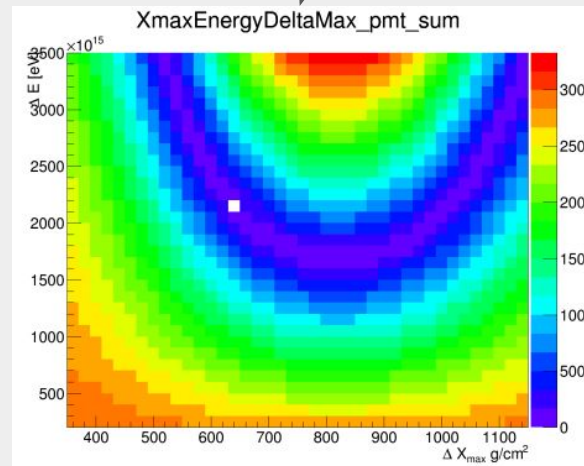
vývoj hodnoty $-2\ln L$ pro různé E ,
ale s fixním X_{\max}
existence minima



vývoj hodnoty $-2\ln L$ pro různé X_{\max} ,
ale s fixním E
existence lokálních minim



ukázka nutnosti
znát přibližné
počáteční hodnoty



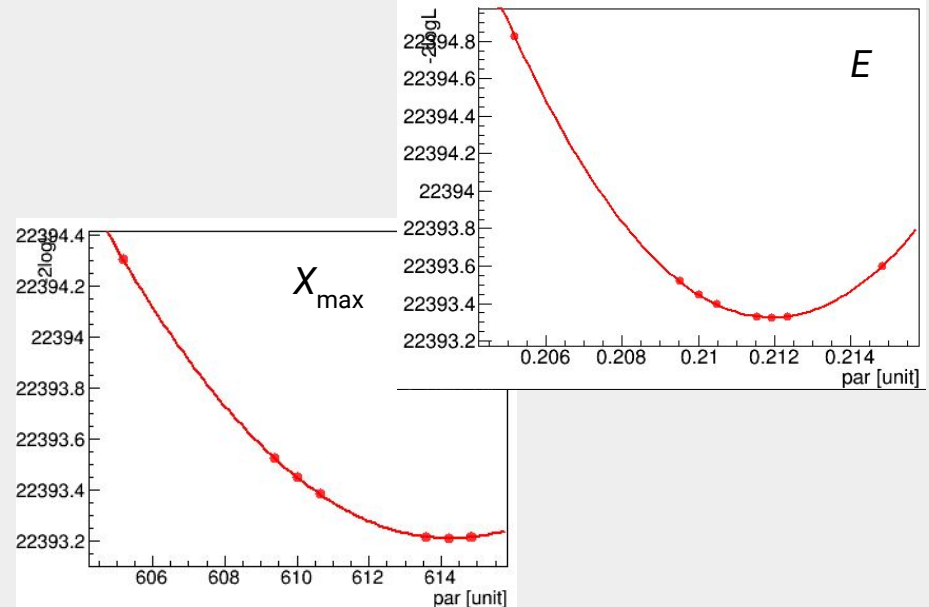
Rekonstrukce - ideální signál

- vstupní data do rekonstrukce ze simulace - ideální odezva PMTs
 - částečně jsou některé parametry převzaty z reálné spršky
- simulace: $X_{\max} = 610 \text{ g/cm}^2$ $E = 2.10 \text{ EeV}$
- rekonstrukce: $X_{\max} = 612 \pm 15 \text{ g/cm}^2$ $E = 2.11 \pm 0.09 \text{ EeV}$

fixní parametry

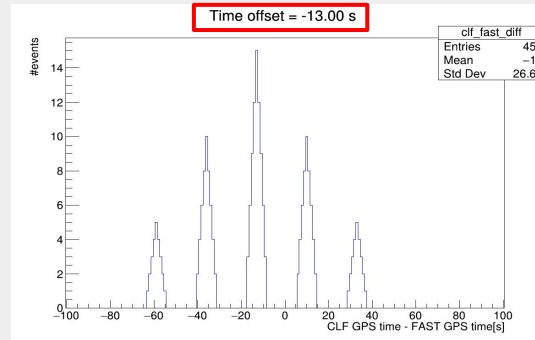
zenith = 12,75 deg
azimuth = 16,05 deg
core X = -16,85 km
core Y = -24,45 km

- v případě ideálního signálu se rekonstrukce blíží generované spršce
 - aktuální verze FASTFramework je schopna rekonstrukce
 - je potřeba však její pochopení a vyladění vstupních parametrů pro reálný případ (min. pro PAO)
 - minimalizační proces ($-2\ln L$) konverguje po očekávatelné křivce
 - E a X_{\max} byly rekonstruovány samostatně



Zpracování dat - FAST@PAO - koincidence s LL bay4 - I

- data od dubna 2019 do konce roku 2020 obsahují **GPS** informaci
- data nabírána interním triggerem, proto byla **nutnost synchronizovat čas** s PAO
- CLF (Central Laser Facility) signál ve směru zorného pole FAST (horizontální CLF)
 - pravidelný vzorec výstřelů
 - zjištění minimální odchylky časů mezi FAST a CLF
 - byla nutná **dodatečná oprava o +1s** (chyba v CLF časech)



| Date (UTC) | GPS | GPSns |
|---------------------|------------|-----------|
| 2019-05-07 06:23:44 | 1241245442 | 500000186 |
| 2019-05-07 06:23:43 | 1241245441 | 500000179 |
| 2019-05-07 06:23:42 | 1241245440 | 500000185 |
| 2019-05-07 06:23:41 | 1241245439 | 500000190 |
| 2019-05-07 06:23:40 | 1241245438 | 500000189 |
| 2019-05-07 06:23:21 | 1241245419 | 500000172 |
| 2019-05-07 06:23:20 | 1241245418 | 500000174 |
| 2019-05-07 06:23:19 | 1241245417 | 500000202 |
| 2019-05-07 06:23:18 | 1241245416 | 500000178 |
| 2019-05-07 06:23:17 | 1241245415 | 500000205 |
| 2019-05-07 06:22:58 | 1241245396 | 500000191 |
| 2019-05-07 06:22:57 | 1241245395 | 500000200 |
| 2019-05-07 06:22:56 | 1241245394 | 500000185 |
| 2019-05-07 06:22:55 | 1241245393 | 500000206 |
| 2019-05-07 06:22:54 | 1241245392 | 500000193 |

run 7570, event 3561

time stamp: 1253332995 s 500171196 ns

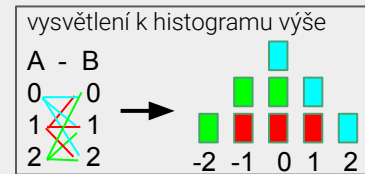
Trigger: 'Physics - Inir L/R trigger', 'Shower Candidate' in Los Leones mirror 4 (in DAQ: 1 2 3 4 5 6)

Laser Shots vs T3 FD Events

Laser Scale Type t0 [sec] t1 [sec]

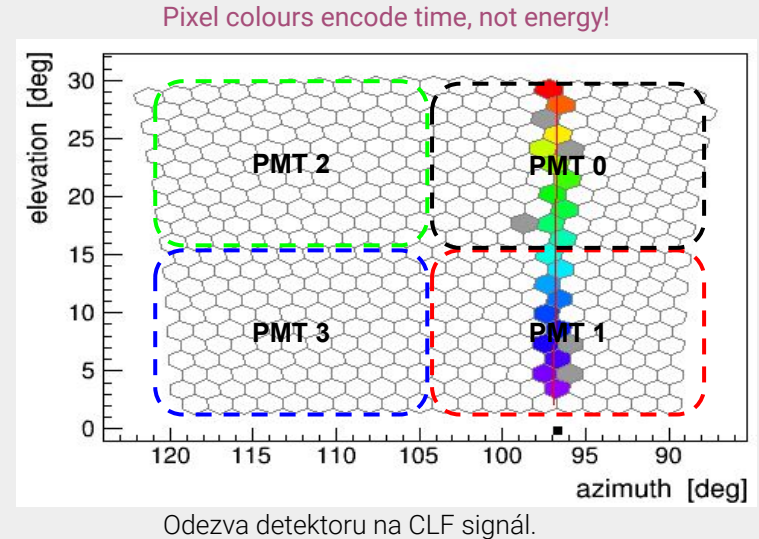
CLF GPS UTC 1253332990 12533330

| Date (UTC) | GPS | PSns | Energy 1 | Energy 2 | Azimuth | Zenith | LL | LM | LA | CO |
|---------------------|------------|-----------|----------|----------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 2019-09-24 04:02:56 | 1253332994 | 500000208 | 0.000364 | 0 | 0 | 90 | no fd | no fd | no fd | no fd |



Zpracování dat - FAST@PAO - koincidence s LL bay4 - II

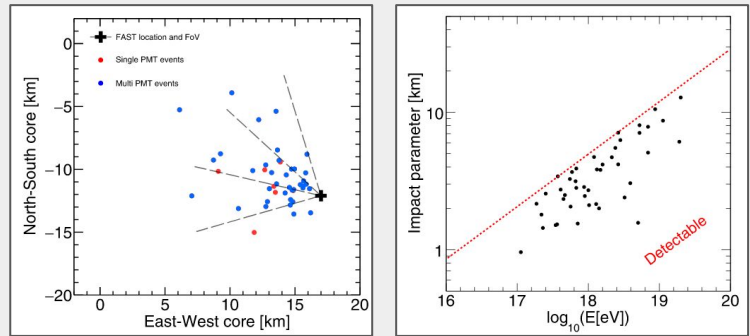
- data od dubna 2019 do konce 2022
- na základě časové značky **nalezeno minimálně 40 událostí** s kandidátem v PAO
 - soubor s PAO daty (pro LL) již nemusel obsahovat většinu detekovaného signálu
 - FAST data vykazují signální události bez nalezení kandidáta v PAO
- **časová shoda** s posunem $\sim 72\mu\text{s}$
 - tento posun je viditelný i pro signál z CLF, pravděpodobně značí nekorigovaný systematický posun



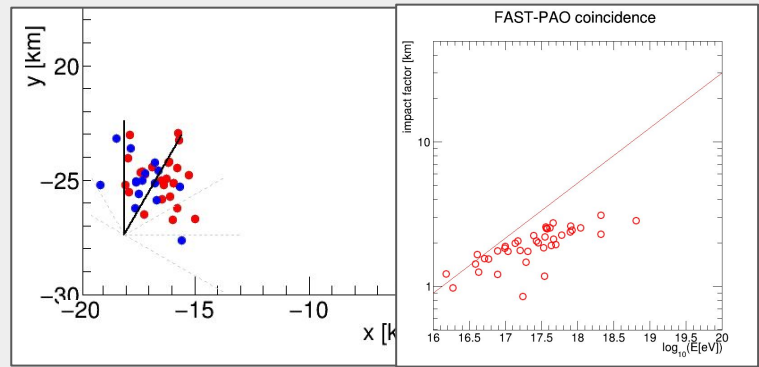
Zpracování dat - FAST@PAO - koincidence s LL bay4 - III

- porovnání vybraných kandidátů z TA a PAO
 - pozice spršky, energie spršky v závislosti na vzdálenosti od detektoru

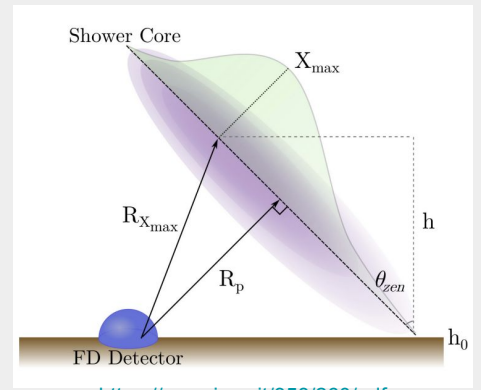
FAST @ TA



FAST @ PAO



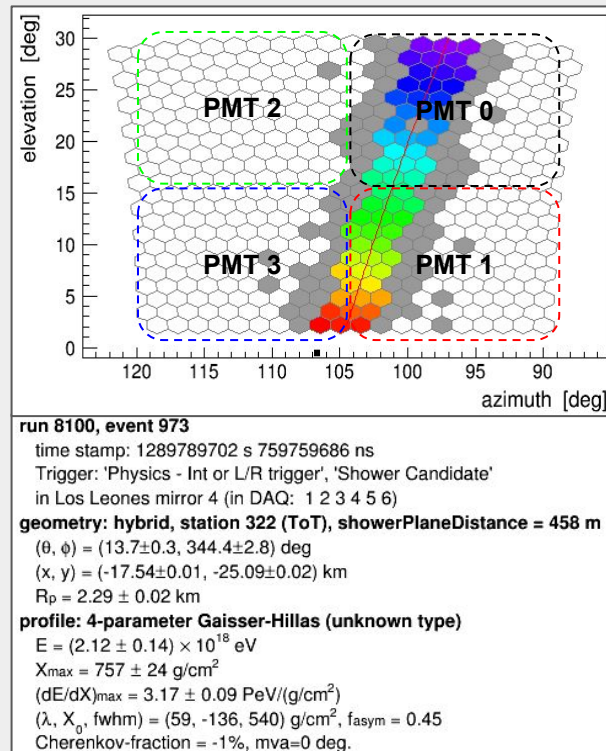
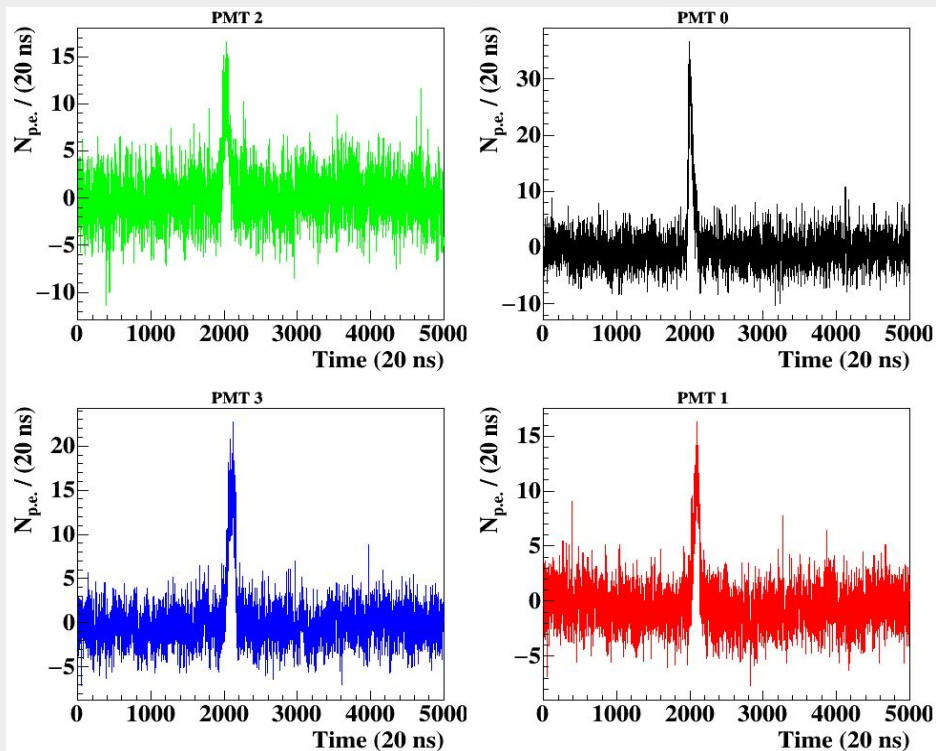
ilustrace geometrie spršky



<https://pos.sissa.it/358/260/pdf>

Zpracování dat - FAST@PAO - koincidence s LL bay4 - IV

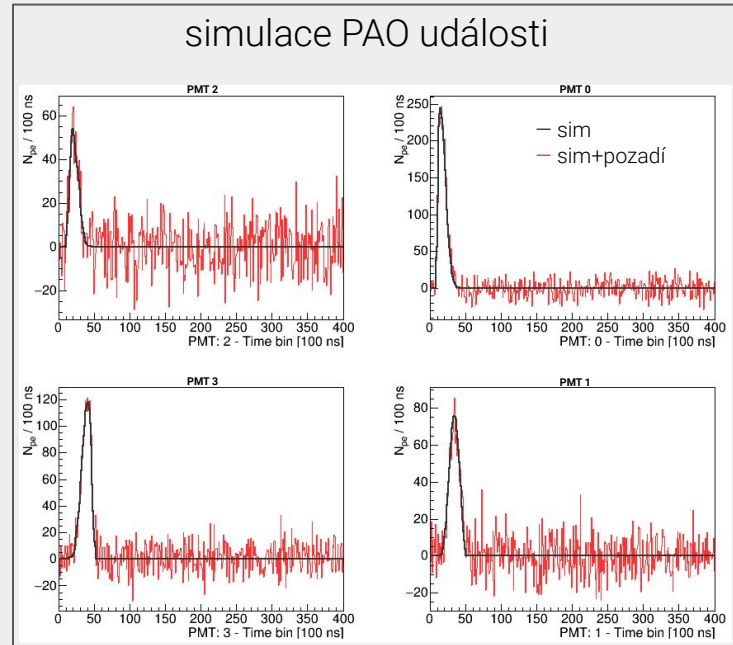
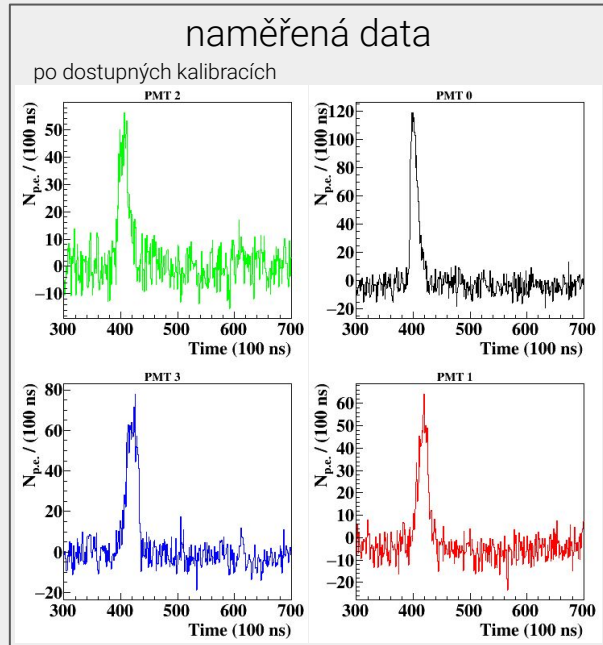
- událost z 19. 11. 2020 02:54:44 UTC, **logE = 18.32**



Zpracování dat - FAST@PAO - koincidence s LL bay4 - IV

- událost z 19. 11. 2020 02:54:44 UTC, **logE = 18.32**
- PAO: $X_{\max} = 757 \pm 24 \text{ g/cm}^2$ $E = 2.12 \pm 0.14 \text{ EeV}$
- FAST: $X_{\max} = 925 \pm 23 \text{ g/cm}^2$ $E = 1.41 \pm 0.07 \text{ EeV}$

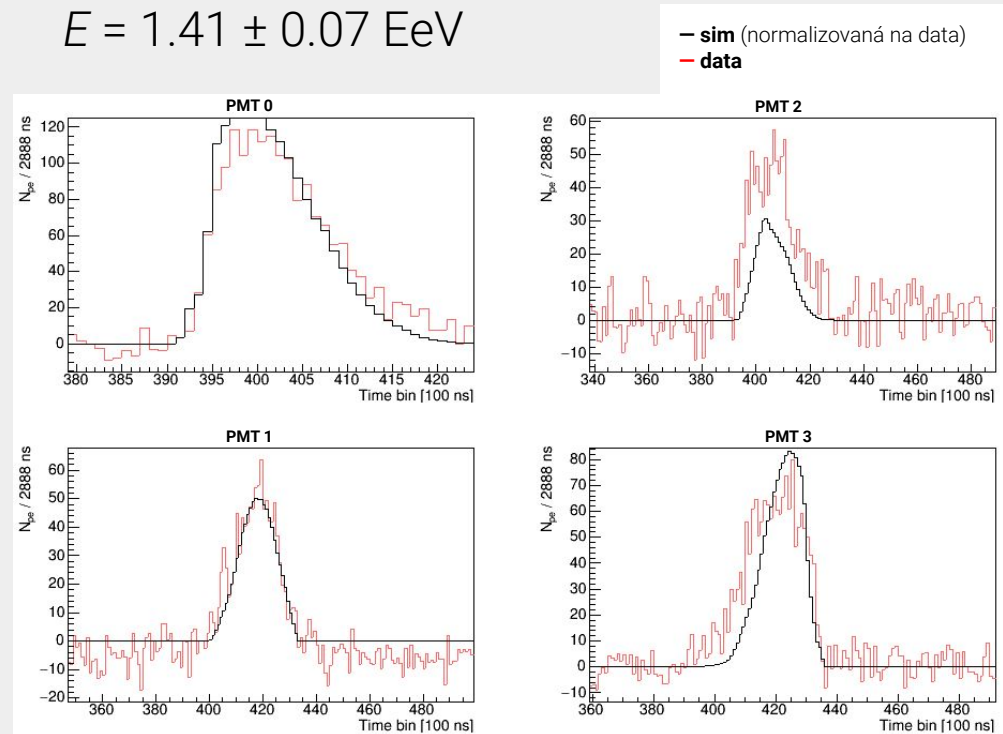
fixní parametry
zenith = 13.7 deg
azimuth = 344.4 deg
core X = -17.54 km
core Y = -25.09 km



Zpracování dat - FAST@PAO - koincidence s LL bay4 - IV

- událost z 19. 11. 2020 02:54:44 UTC, **logE = 18.32**
- PAO: $X_{\max} = 757 \pm 24 \text{ g/cm}^2$ $E = 2.12 \pm 0.14 \text{ EeV}$
- FAST: $X_{\max} = 925 \pm 23 \text{ g/cm}^2$ $E = 1.41 \pm 0.07 \text{ EeV}$

- simulace (zatím) nedokáže popsat parazitní nebo dodatečně odražený signál, který je vidět v naměřených datech (zde PMT 2 a PMT 3)
- tato skutečnost může stát za nepřesností rekonstrukce dat
- výsledky jsou řádově správné
- konečné chyby exceptovatelné



- cílem je vyhledat signál vhodný pro fyzikální analýzu
- analýze pomůže porozumět různým druhům signálu a jejich zdrojům
- dává nahlédnout rozdílům v nabírání dat
 - interní trigrování - vlastní výběr událostí
 - externí trigrování - používá se trigrovací signál z LosLeones bay 4
- hodnoty ukazují významný posun statistiky událostí mezi kategoriemi pro různé způsoby trigrování

| category | 0 | 1 | 2 | 3A | 3B | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------------|-------|-------|------|------|------|------|-------|--------|--------|----------|
| internal trigger [%] | 3.00 | 82.76 | 0.15 | 0.17 | 0.26 | 0.51 | 12.35 | 0.70 | 0.08 | 3.59E-03 |
| external trigger [%] | 78.03 | 20.78 | 0.06 | 0.39 | 0.03 | 0.44 | 0.26 | 0.0016 | 0.0005 | 0 |

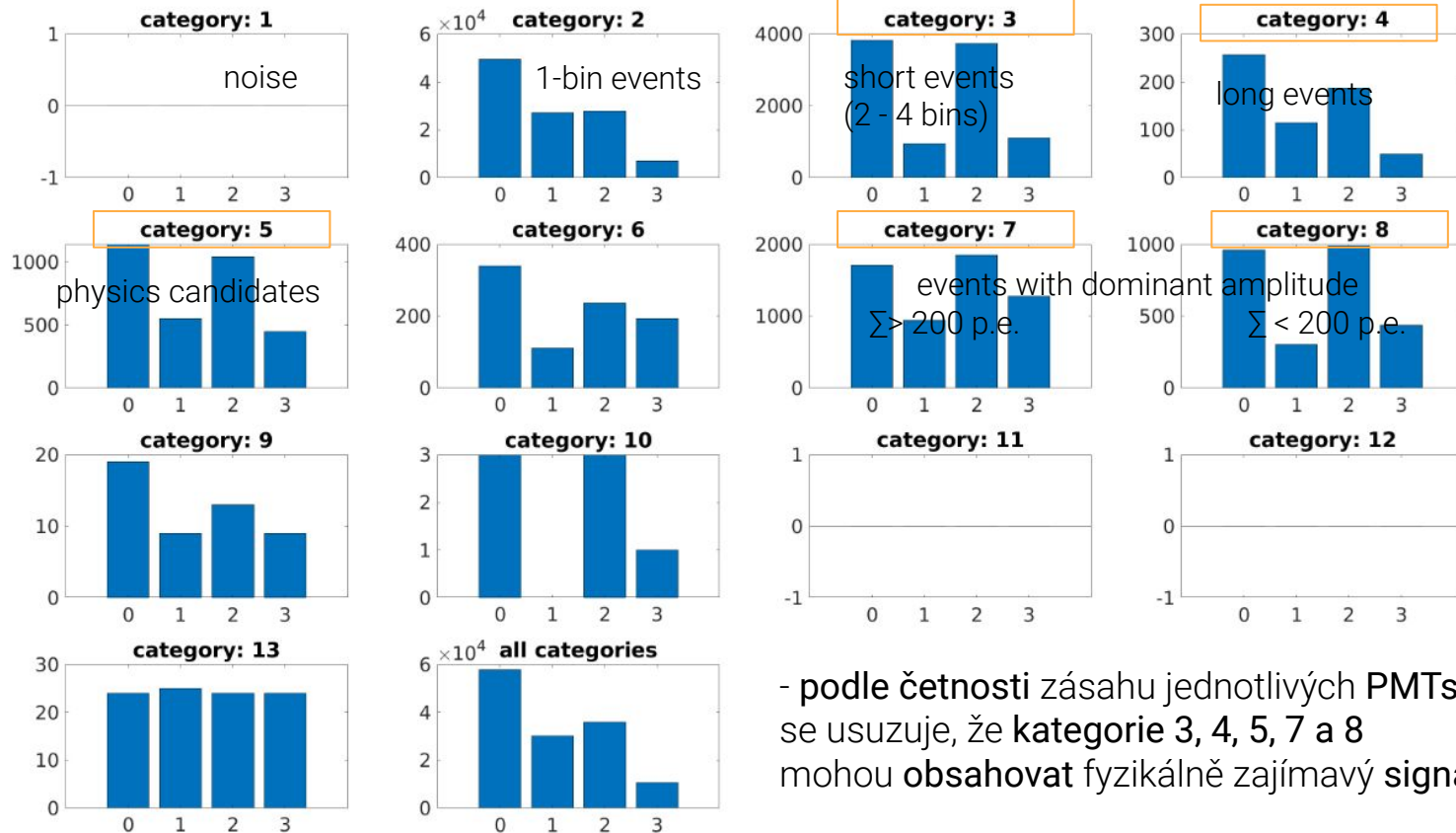
šum

jednobinové
události

fyzikální kandidáti

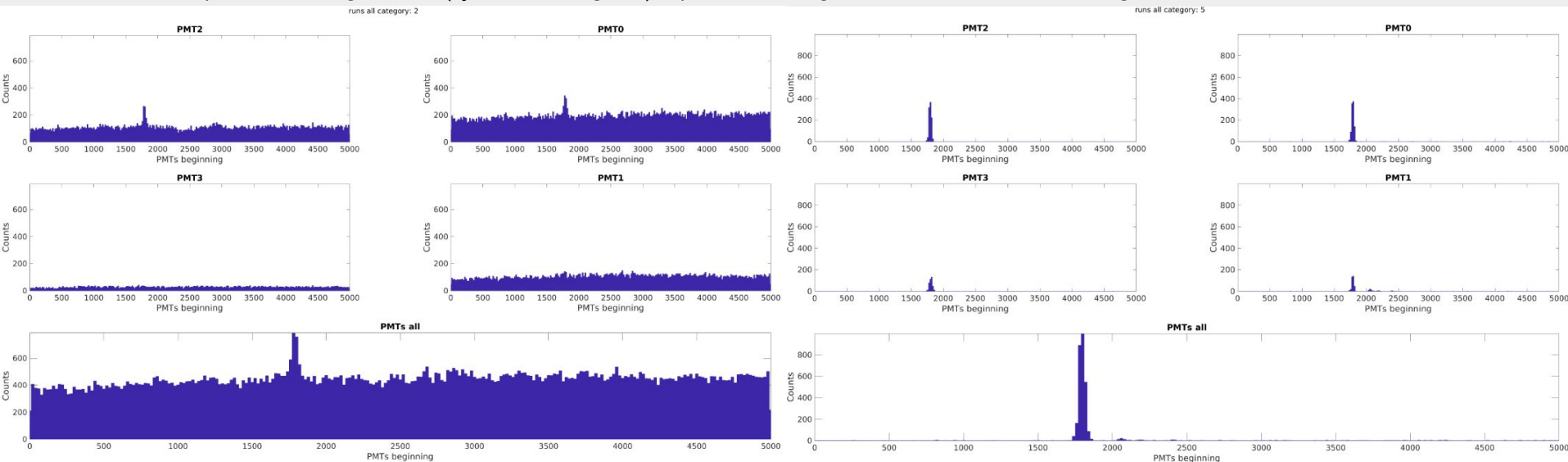
oscilace nebo více
signální události

data z externího triggeru

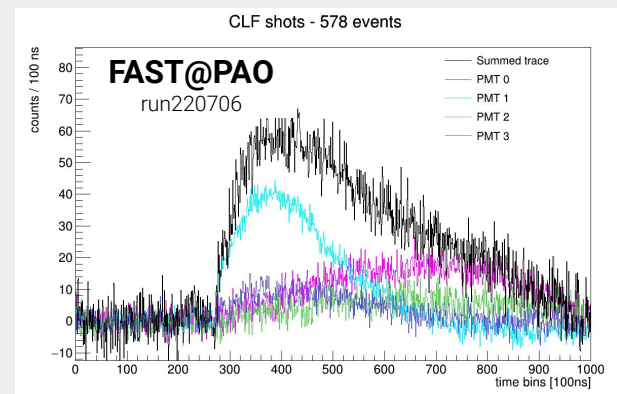
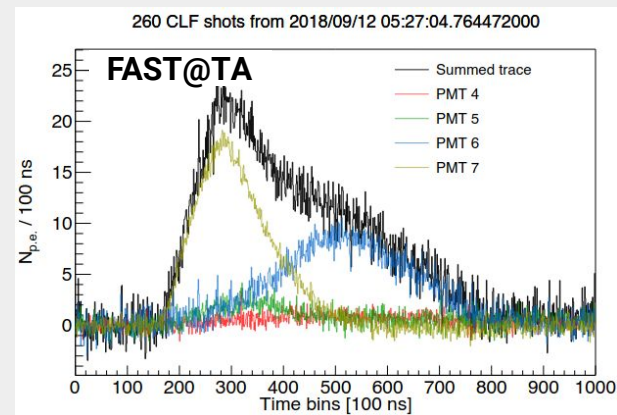


- podle četnosti zásahu jednotlivých PMTs se usuzuje, že **kategorie 3, 4, 5, 7 a 8** mohou obsahovat fyzikálně zajímavý signál

- **analýza začátku signálu** - užitečná v případě použití externího triggeru
 - pokud počátek signálu leží kolem triggrovacího času, jedná se signál detekovaný i LL bay 4
 - v opačném případě lze takovou událost zahodit (asi signál způsobený elektronikou)
- příklad níže
 - vlevo kategorie 2 (šum) absolutní většina počátku signálu rozmístěna přes celé časové okno
 - vpravo kategorie 5 (fyzikální signál) - počátek signálu kolem času zatrigování

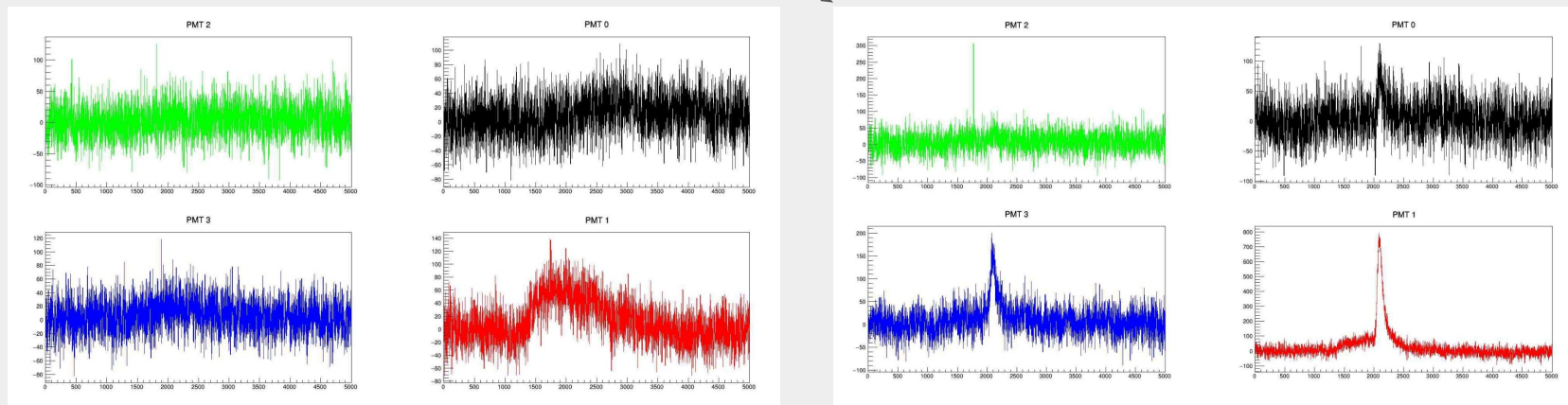
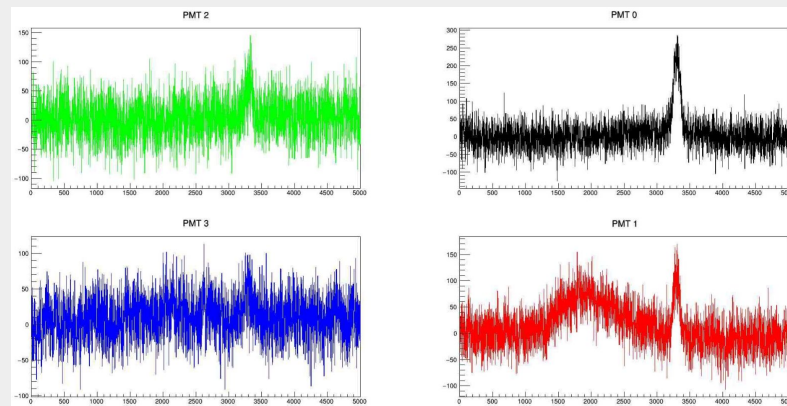


- studium proveditelnosti následujících bodů analýzy
 - možnost (limity) detekce CLF signálu detektorem FAST
 - využití detekovaného CLF signálu k vlastní studii propustnosti atmosféry v místě detekce (stanovení množství aerosolů v atmosféře)
- zdroj CLF vzdálen ~ 26 km od detektoru FAST
 - pravděpodobně mimo detekovatelnou oblast
 - CLF mělo problémy s intenzitou světelného zdroje
- detekovatelnost jedné CLF události
 - jen díky rozptylu světla od oblačnosti
 - **interní trigger**: aktuálně nemožná detekce CLF
 - **externí trigger**:
 - součet CLF událostí vykazuje očekávaný průběh signálu
 - nutnost funkční GPS

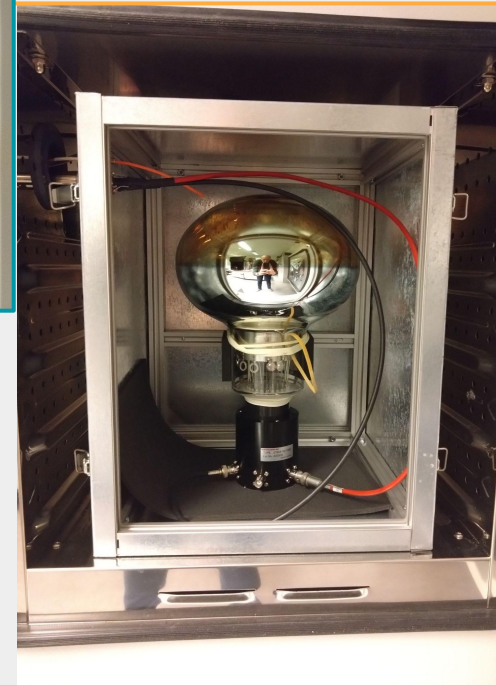
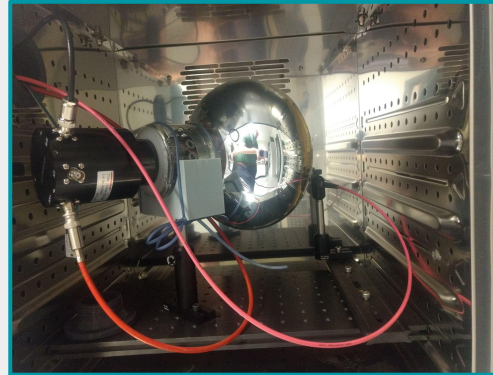


Zpracování dat - potenciální CLF analýza

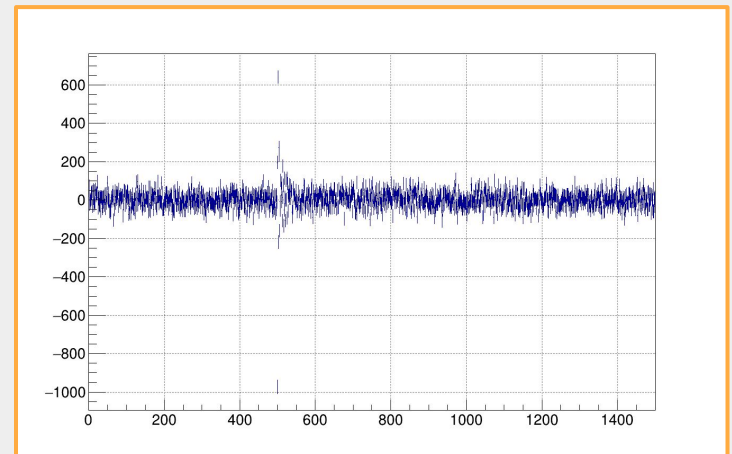
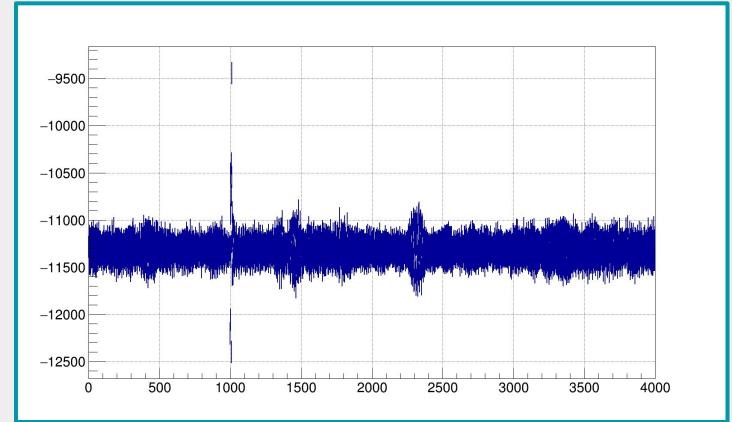
- součet signálu za 1h
- CLF v zorném poli PMT 1
- čistý signál, oblačnost, kombinace



- cílem je stanovení teplotní závislosti zisku fotonásobiče pro různá napětí
- probíhá v zatemněné klimatické komoře
- 1. sestava:
 - LED dioda, pokojová teplota, $U_{\text{PMT}} = 720\text{V}$
 - nedostatečně jemné nastavení intenzity světla
- 2. sestava:
 - pulzní laser (místo LED)
- měření vykazovalo vysoký šum
 - instalace plechové bedny



- síla signálu a velikost šumu
 - před uzavřením do plechové bedny
 - po uzavření do plechové bedny
- signál je výsledkem součtu 80000
- další kroky
 - dokončení přípravy skriptu pro určení zisku PMT
 - vyladění intenzity světla pro měření zisku PMT
 - měření závislosti zisku PMT pro různá napětí a teploty



Plán

Další kroky

- kalibrace

- **teplotní kalibrace** - zisk fotonásobičů v závislosti na napětí a teplotě
- **UV LED** - nabírání statistiky dat
 - **analýza s potenciálním využitím pro relativní kalibraci signálu fotonásobičů**
 - nahrazení YAP kalibrace
- **YAP kalibrace** - potenciál k vylepšení výsledku,
 - nevýhoda: "bodová" relativní kalibrace
 - relativní teplotní kalibrace signálu (minimálně pro data s TA)
 - studium stability teplotní závislosti

- zpracování signálu

- příprava algoritmu pro výběr událostí v "reálném" čase
- **vyhledání signálních kandidátů pro měření s externím triggerem**

Další kroky

- simulace

- zpřesnění modelu pro popis odezvy na PMTs reálných dat
- aktualizace kódu FastFramework pro novější AugerOffline
- implementace kalibračních konstant

- rekonstrukce

- kroky společné pro simulaci
- neuronové sítě
 - potřeba pochopit aktuální stav, implementaci a použití
 - navázat úzkou spoluprací s T. Fujii a Fraserem Bradfieldem (Ph.D. student pod vedením T.F.)

- ostatní studie

- stanovení (geometrických, energetických) limitů detekce UHECR detektory FAST
 - systematika detektoru

