

FAST - analýza, simulace

souhrn za rok 2025

FAST @ Auger - nabírání dat v roce 2025

- Celkově **pokryto 140 plných** a 5 částečných nočních měření z 200 dostupných
 - včetně víkendů, svátků a půlených nocí
- Do směn se zapojilo 7 pracovníků SLO
 - seznam jmen a počet odpracovaných směn viz. tabulka.
- Červen–červenec: minimální noční měření
 - intenzivní dokončovací práce a příprava k odeslání dvou FAST prototypů do Argentiny.
- Září: personálně limitované
 - omezené nabírání dat z důvodu vysoké četnosti zahraničních cest členů týmu.
- Data byla pořizována výhradně během provozu fluorescenčních teleskopů (FDs) Auger v lokalitě Los Leones
 - několik testovacích měřeních nabráno pouze s interním triggerem (v případě dlouhodobého výpadku FD bay 4).
- Pro současnou fázi vývoje FAST je klíčová přítomnost funkčního FD
 - slouží k ukládání společně detekovaných událostí a k následné rekonstrukci pro porovnání, ladění a testování HW/SW FAST teleskopu.
- Díky přítomnosti Pavla Horvátha na observatoři Pierra Augera proběhlo několik směn půlených
 - v Česku operovaných až od ranních hodin (cca od 5:15 CEST).

jméno	počet nocí	z toho víkendy/svátky	z toho převzaté (půlené) shifty
Petr Hamal	53	7	8
Ladislav Chytka	17	3	0
Vlastimil Jílek	23	5	1
Martin Vacula	14	0	0
Jakub Kmec	26	12	0
Petr Bořil	17	8	2
Pavel Horváth	5	2	4*

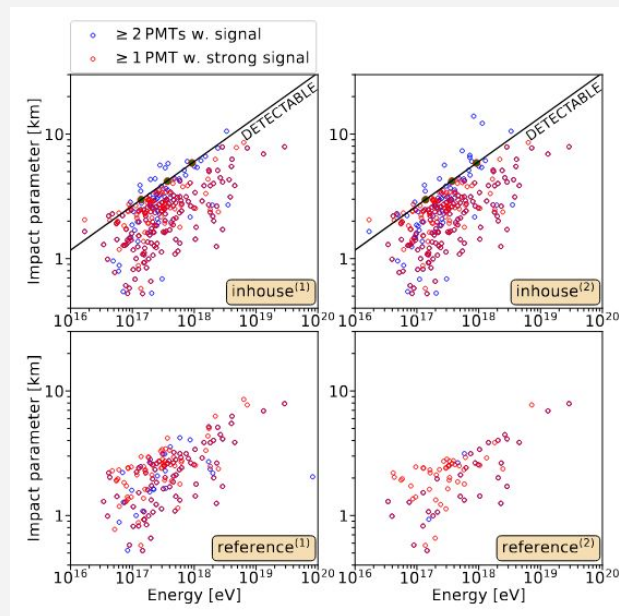
Děkuji kolegům za pomoc při nabírání
dat a těším se na spolupráci v
přelomovém roce 2026

—

rok **stereo detekce UHECR** v
projektu FAST!

Vývoj a analýza interního triggeru pro FAST teleskopy

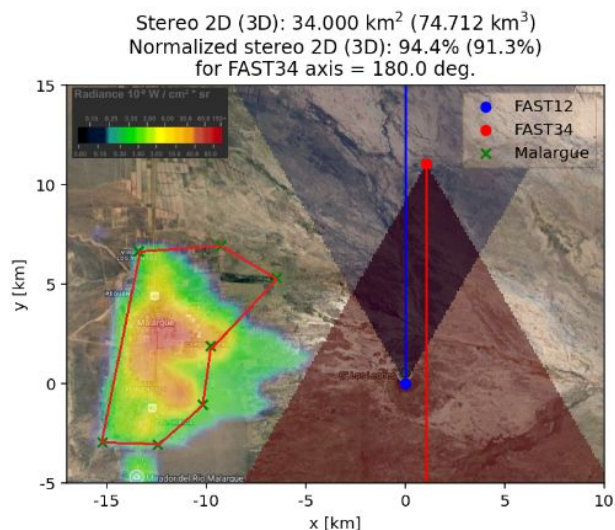
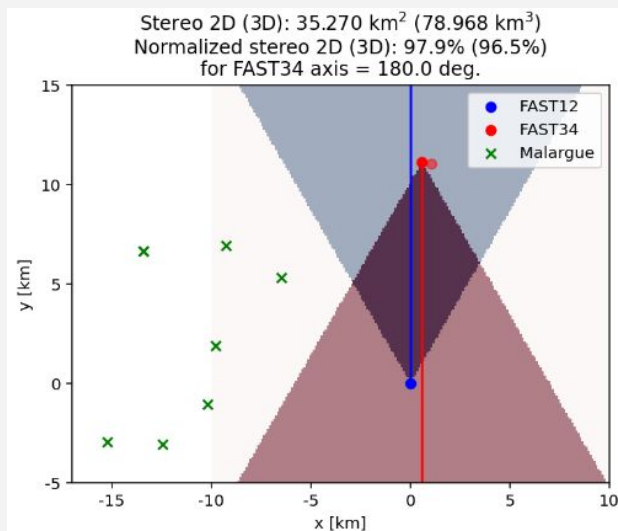
- **Vyvinut interní trigger** s optimalizací hyper parametrů a porovnáním několika algoritmů.
- Pro autonomní provoz vznikly **dva nové in-house triggery** s odhadem plovoucí základní úrovně (baseline).
- Analýza 16,7 milionu pedestalových stop: **variabilita baseline $\approx$ velikosti šumu noční oblohy** $\rightarrow$ tradiční metody Auger/TA nepostačují, zejména pro slabé signály.
- Rozdíl mezi in-house algoritmy (typ filtrace):
 - **Inhouse(1)**: obecný FIR filtr, **Inhouse(2)**: klouzavý průměr.
- Testy na 1,5 M simulovaných spršek a 1463 koincidenčních událostech s Augerem
 - Inhouse(2): 268 UHECR událostí,
 - Reference(1): 163 událostí, Reference(2): 77 událostí.
- **Volba pro implementaci: Inhouse(2)** – jednoduchá HW realizace a vysoká citlivost.
- Potenciální detekce událostí s energií ≈ 60 EeV do vzdálenosti ≈ 20 km.
- Studie byla zpracována do **vědecké publikace** a je v recenzním řízení
 - volně dostupný zde: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2510.20522>.



Parametr dopadu jako funkce energie pro události detekované in-house a referenčními triggery, se silnými (červenými) a slabými (modrými) událostmi, včetně fitu maximální detekční vzdálenosti (černá) a použitých krajních bodů (zelené).

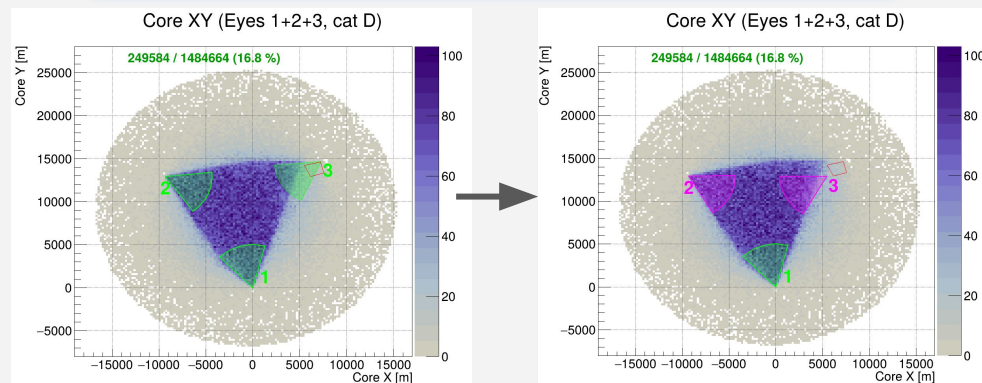
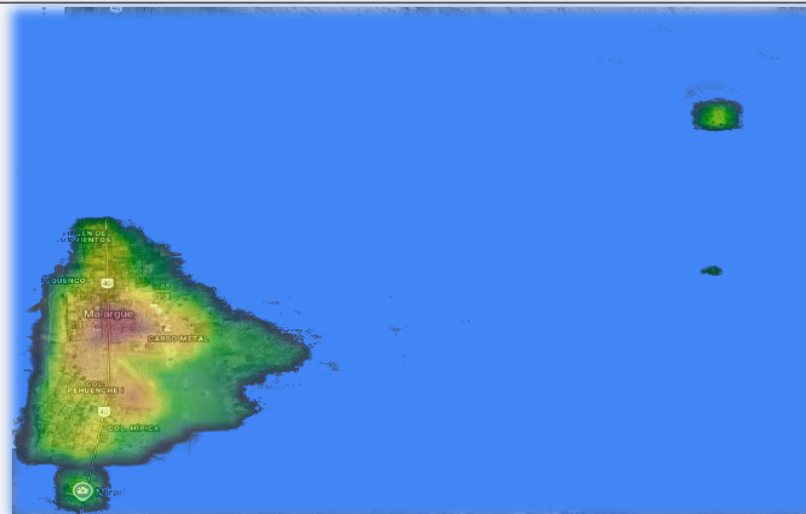
Analýza pozic FAST teleskopů - FAST10k

- První (testovací) fáze pro budoucí FAST Mini Array.
- **Analýzována geometrie** plánované **konfigurace FAST10k**, zejména azimut FAST3 a FAST4.
- Cíl: maximalizovat stereo překryv a zároveň minimalizovat vliv světelného znečištění z Malargüe.
- **Výsledek: optimální orientace $\approx 180^\circ$** , poskytuje největší stereo pokrytí při dostatečné ochraně před světelným pozadím.
- Alternativně lze volit $172\text{--}179^\circ$ s minimální ztrátou:
 - 172° : pokles stereo pokrytí o 4.3 % (2D) a 6.3 % (3D) oproti 180° .



Analýza pozic FAST teleskopů - FAST Mini Array

- **Analyzována geometrie** plánované trojúhelníkové konfigurace pro **FAST Mini Array**.
- Nutnost eliminovat vliv světelných signálů
- FAST 1+2 (Los Leones) - fixní pozice včetně orientace
- Obecné úvahy
 - umístění v blízkosti SD stanic Augeru,
 - nutné vybrat suchou lokalitu
 - sezónní záplavy mohou ohrožit FAST
- Původně plánováno na lokalitě „El Che“
 - těžařská společnost v zorném poli FAST4+6
- **Potenciální nová lokalita „La Caida“**
 - nejblíže SD k FAST trojúhelníkové konfiguraci
 - zachovává přibližně symetrické uspořádání pole



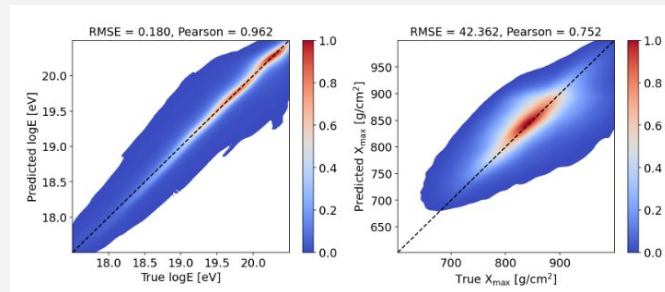
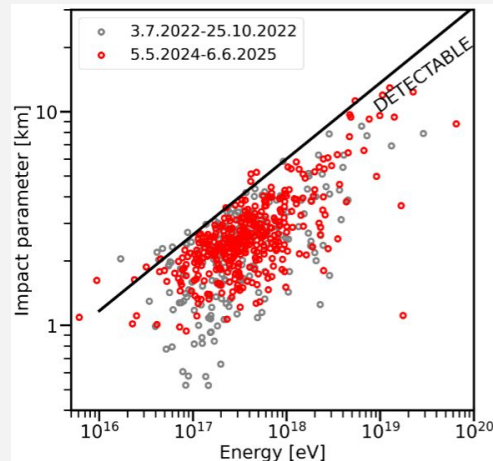
Ostatní analýzy - I

Analýza koincidenčních událostí pro FAST@TA a FAST@Auger

- Zpracovány všechny koincidence
 - **FAST@Auger**: do 6. 6. 2025 → 4710 kandidátů, **FAST@TA**: do 31. 12. 2024 → 3296 kandidátů
- Na kandidáty aplikován nový interní trigger
 - **FAST@Auger**: 572 silných UHECR událostí, **FAST@TA**: 417 silných UHECR událostí
 - (Definice silných/slabých událostí dle „trigger“ článku.)

Rekonstrukce FAST událostí

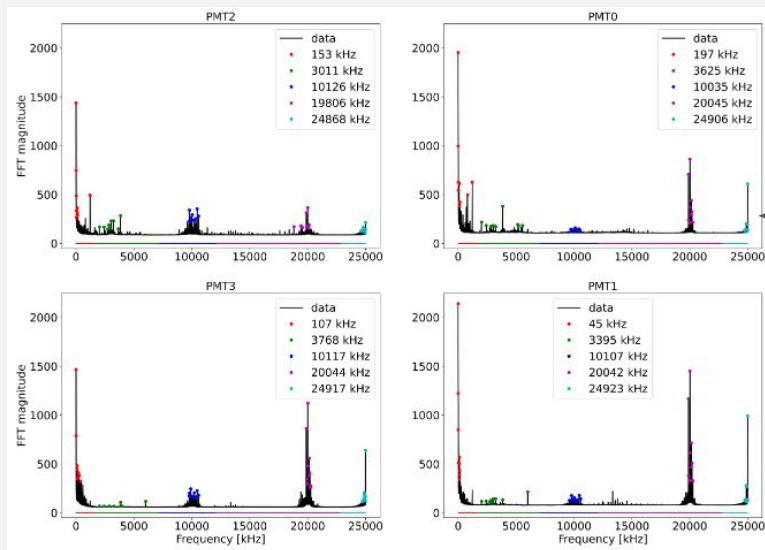
- Provedena analýza využití neuronových sítí pro rekonstrukci FAST signálů.
- **Hlavní cíl**: získat kvalitní počáteční odhad pro “*top-down*” rekonstrukci, případně ji plně nahradit vhodným modelem.
 - Trénink i testování proběhly na **simulacích spršek ze studie interního triggeru**.
 - Výsledky ukazují vysoký potenciál neuronových sítí pro FAST rekonstrukci.



Ostatní analýzy - II

Analýza parazitního signálu

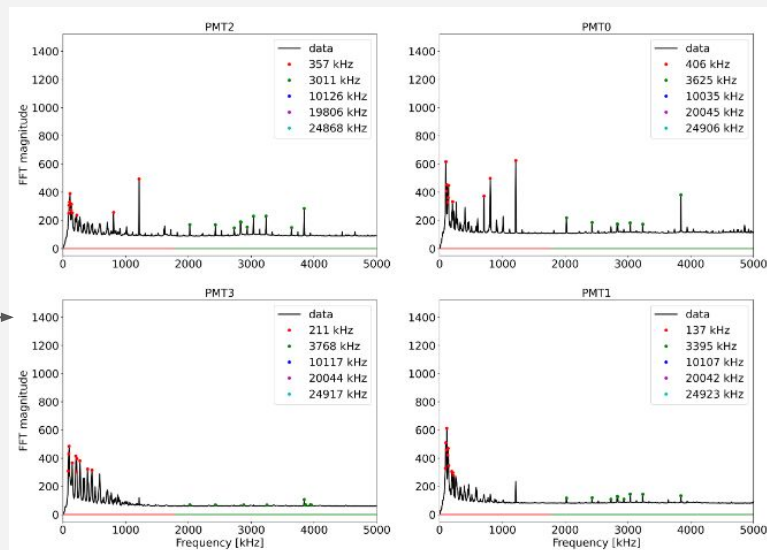
- Provedena analýza parazitních signálů u FAST@Auger (korelace + FFT).
- **I v datech se zavřeným shutterem** se objevuje **parazitní signál** nejasného původu.
- Identifikované frekvenční složky: ~10 MHz, 120–370 kHz, < 100 kHz (odpovídá plovoucí baseline).
- Složky pod 500 kHz mohou komplikovat měření a zpracování dat.
- Analýza **bude znovu provedena** pro FAST teleskopy **s novou**, lépe stíněnou **elektronikou**.



Průměrná magnituda
FFT signálu pro run
run240811

bez odečtené baseline

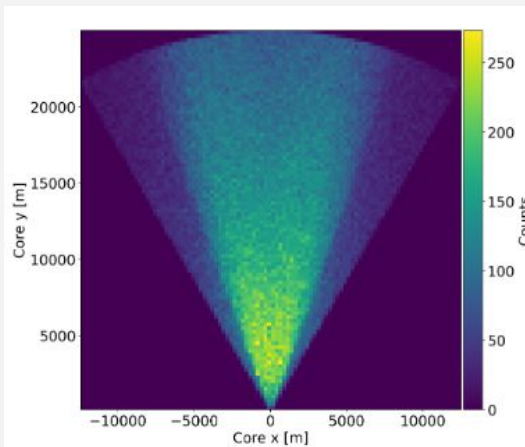
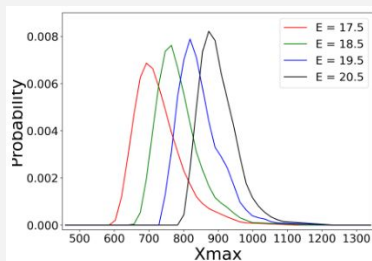
s odečtenou baseline



FAST Simulace - I

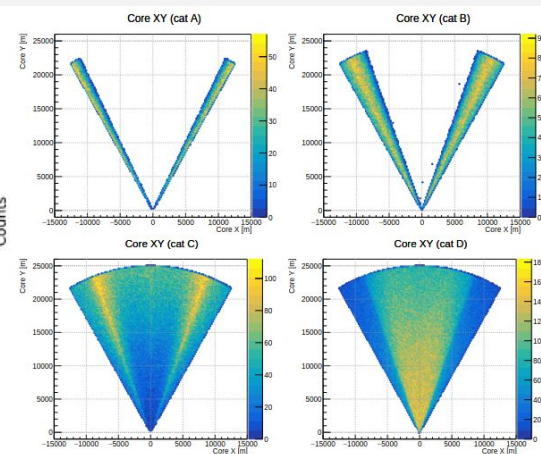
Generování parametrů spršek – přehled

- 1,5 milionu kombinací parametrů spršek.
- Většina parametrů generována uniformě
 - výjimkou je $X_{\max}$ – vzorkován z PDF fitnuté na CONEX simulace (proton), závislé na energii.
- Geometrické omezení:
 - $core$ pozice v rozsahu $\varphi \in [240^\circ, 300^\circ]$,
 - $radius \leq 25$ km,
 - FoV teleskopu tak přesahujeme o 15° na každé straně.
- Rozsah parametrů:
 - *Energy*: $\log(E/\text{eV}) \in [17.5, 20.5]$,
 - *Azimuth*: -180° až 180° ,
 - *Zenith*: 0° až 90° ,
 - $core_x$: $-12,5$ km až $12,5$ km,
 - $core_y$: 0 až 25 km.



Prvotní preprocessing simulací – kategorizace

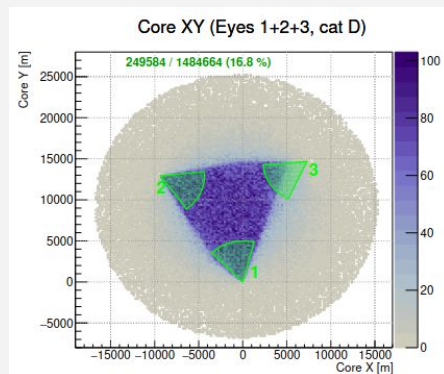
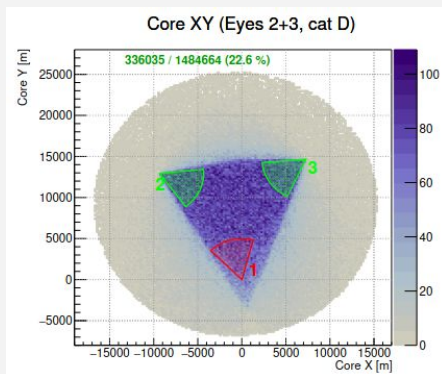
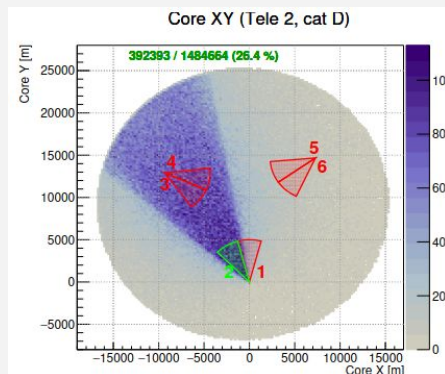
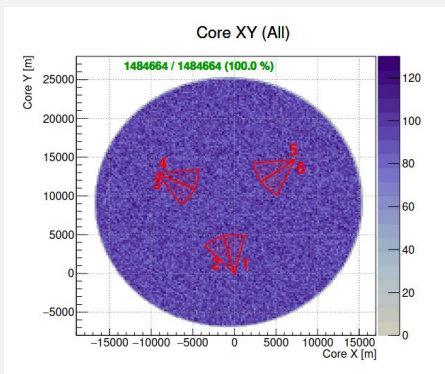
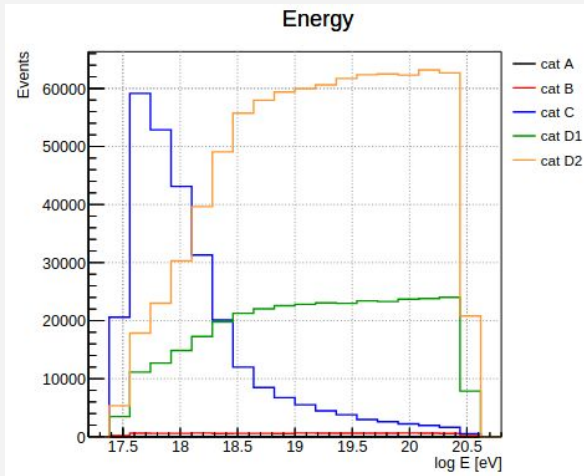
- Simulace rozděleny do 4 hlavních kategorií:
 - (A) Žádné traces – simulace nevygenerovala data,
 - (B) Nulový signál – maximum všech traces = 0,
 - (C) Zanedbatelný signál – maximum $\leq 0.1 N_{\text{e}}$,
 - (D) Události s detekovatelným signálem – maximum $> 0.1 N_{\text{e}}$.
- Core úhel: $\theta = \arctan(\text{core}X / \text{core}Y)$
 - úhel, pod kterým teleskop vidí místo dopadu spršky.



FAST Simulace - II

Generování parametrů spršek pro FAST Mini Array (původně plánované pozicování)

- 1,5 milionu kombinací parametrů spršek.
- Rozsah parametrů
 - *Energy*: $\log(E/\text{eV}) \in [17.5, 20.5]$,
 - *Azimuth*: -180° až 180° ,
 - *Zenith*: 0° až 90° ,
 - *core_x*: $-16,7$ km až $15,3$ km,
 - *core_y*: $-6,8$ km až $25,2$ km,
 - Pozice core: splňuje podmínku $\text{radius} \leq 16$ km vůči těžišti FAST mini-array $[-0,681, 9,201]$ km,
 - *Xmax* [g/cm^2]: generován z PDF fitované na závislost E -*Xmax* pro protonové UHECR; PDF závisí na energii.



Vývoj SW pro FAST

Upgrade FAST Gateway – hlavní změny

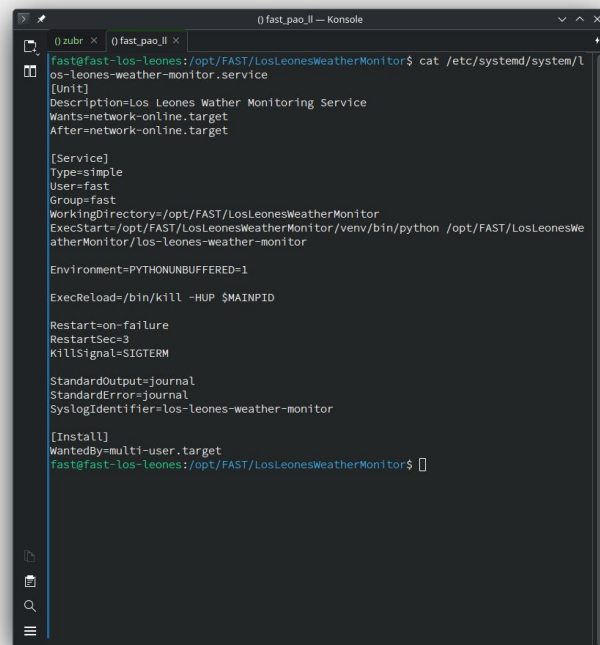
- Přechod na Debian 13 s využitím Netplan pro správu síťové komunikace
 - oproti ~2 roky staré implementaci nutná kompletní úprava síťového nastavení kvůli změnám v systému,
 - nové instalační a servisní skripty pro jednoduchou instalaci, odinstalaci a konfiguraci,
 - oddělení produkční verze od pracovních kopií z Git repozitářů.

Nová architektura služeb

- Přechod z crontab na robustní systém systemd
 - automatická kontrola běhu služeb,
 - automatický restart,
 - systémové logování,
 - odchyťávání signálů (SIGTERM, SIGHUP, ...).

Vývoj SW pro Cosmo-Z

- Vzdálená komunikace s elektronikou Cosmo-Z
 - ukládání dat přímo do FAST ROOT datového formátu,
 - optimalizace protokolu pro efektivní vzdálené získávání dat.



```
fast@fast-los-leones:/opt/FAST/LosLeonesWeatherMonitor$ cat /etc/systemd/system/los-leones-weather-monitor.service
[Unit]
Description=Los Leones Wather Monitoring Service
Wants=network-online.target
After=network-online.target

[Service]
Type=simple
User=fast
Group=fast
WorkingDirectory=/opt/FAST/LosLeonesWeatherMonitor
ExecStart=/opt/FAST/LosLeonesWeatherMonitor/venv/bin/python /opt/FAST/LosLeonesWeatherMonitor/los-leones-weather-monitor
Environment=PYTHONUNBUFFERED=1
ExecReload=/bin/kill -HUP $MAINPID
Restart=on-failure
RestartSec=3
KillSignal=SIGTERM

StandardOutput=journal
StandardError=journal
SyslogIdentifier=los-leones-weather-monitor

[Install]
WantedBy=multi-user.target
fast@fast-los-leones:/opt/FAST/LosLeonesWeatherMonitor$
```