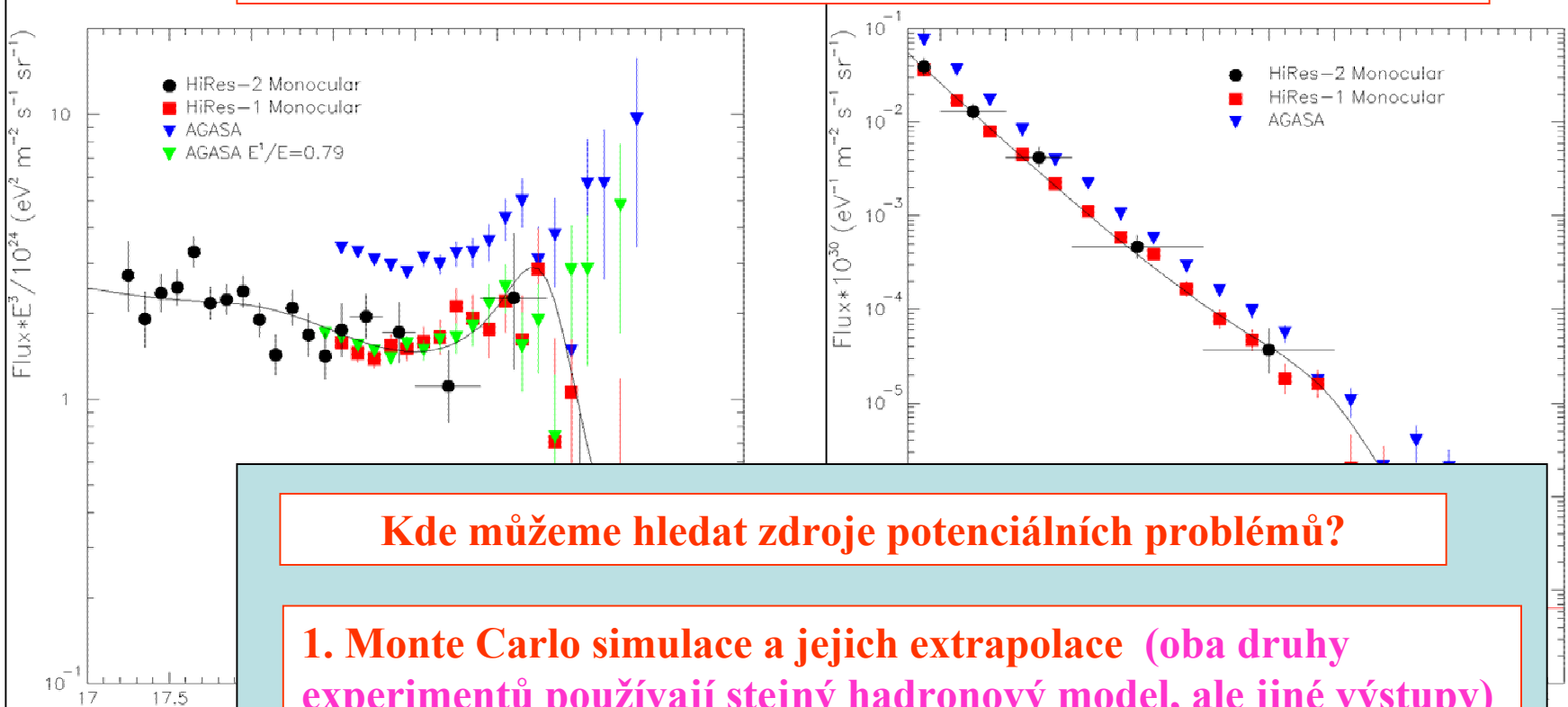


Energetická kalibrace fluorescenční emise pomocí fotometrie jasných standardních hvězd

• **Michael Prouza**

Je cosi shnilého v oboru UHECR?

HiRes vs. AGASA – nejdůležitější rozpor



Kde můžeme hledat zdroje potenciálních problémů?

1. Monte Carlo simulace a jejich extrapolace (oba druhy experimentů používají stejný hadronový model, ale jiné výstupy)

2. Intenzita fluorescenční emise → AIRFLY

3. Extinkce světla v atmosféře

Určení energie spršky pomocí fluorescenčního detektoru

*Celková energie je asi o 15% vyšší než energie
elektromagnetické složky ($K \approx 2,2 \text{ MeV.cm}^2/\text{g}$):*

$$E_{\text{em}} = K \int N_{\text{em}}(x) dx$$

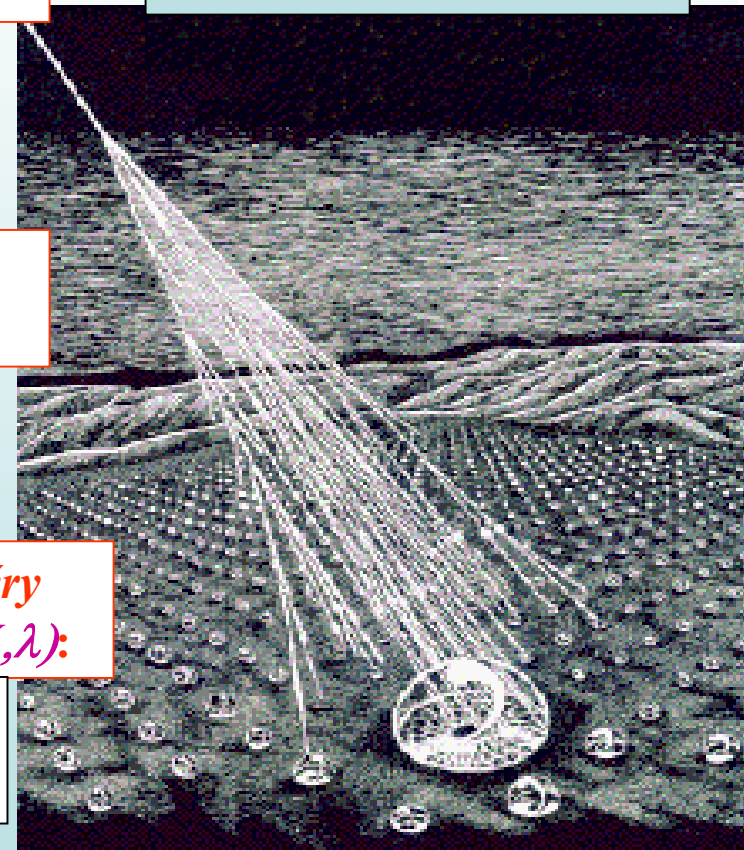
*Počet částic elmag. složky je přímo úměrný
počtu emitovaných fluorescenčních fotonů:*

$$N_{\text{em}}(x) \propto \frac{N_{\text{ph}} R^2(x)}{T(x)}$$

*Absolutní čísla závisí na propustnosti atmosféry
→ klíčové je určení extinkčního koeficientu $\alpha(X, \lambda)$:*

$$T(x) = \exp \left[- \int_0^x \alpha(r) dr \right] = e^{-\tau(x)}$$

Detekce fluorescence =
kalorimetrické měření



Jak kalibrovat extinkci? LIDARem!

$$P(r) = B \frac{\beta(r)}{r^2} e^{-2\tau(r)}$$

$$\tau(r; r_0) = \int_{r_0}^r \alpha(r') dr'$$

LIDARová rovnice

V současné době již existuje přesné schéma implementace LIDARů pro účely AUGERu. Během jara 2002 proběhly první testy na prototypu detektoru v Argentině. Na konci roku 2003 byly již dva LIDARy nainstalovány.

V současné době – hlavní linie měření pomocí **LIDARů** – výhodou je rozlišení vlivu jednotlivých vrstev atmosféry (dle časových měření), nevýhodou podstata tzv. **lidarové rovnice** (jedna rovnice o dvou neznámých - zpětným rozptylem na aerosolech (β) a extinkcí (α)) a vysoká nákladnost zařízení (\$50.000 na stanoviště).

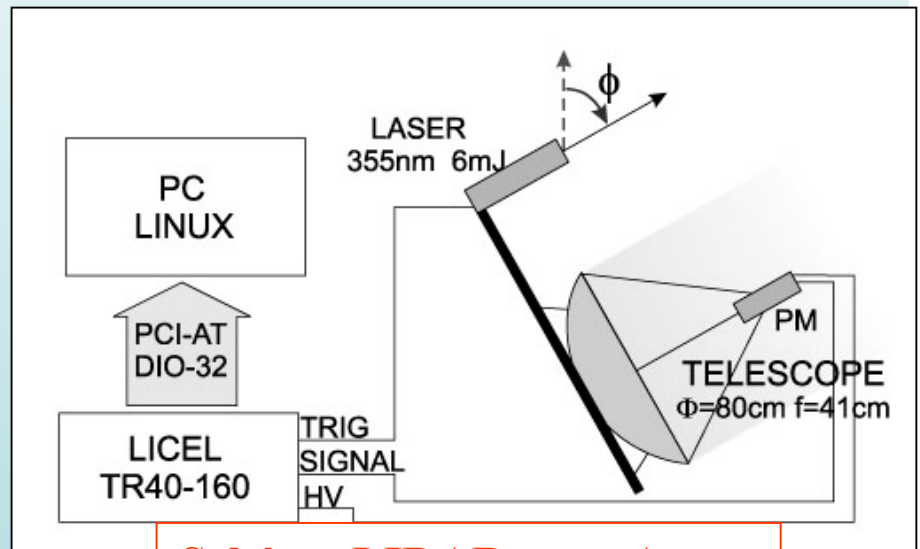
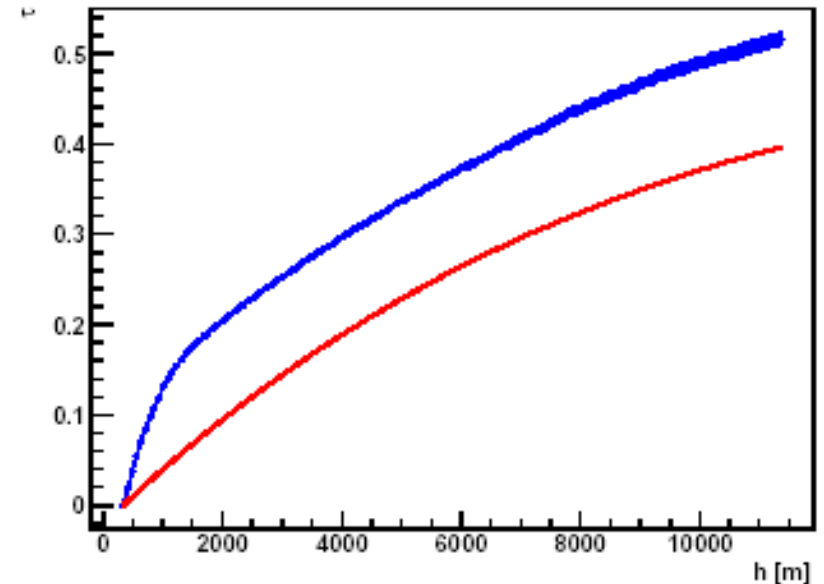
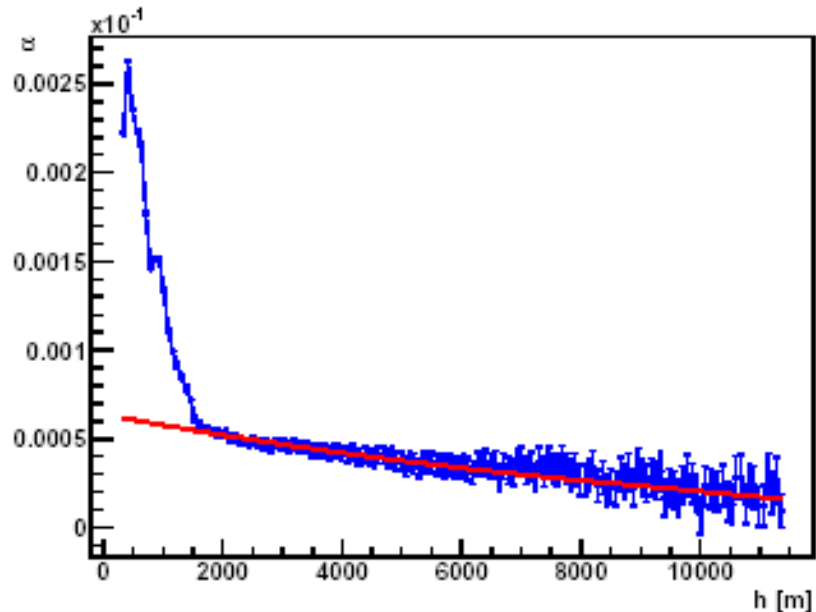


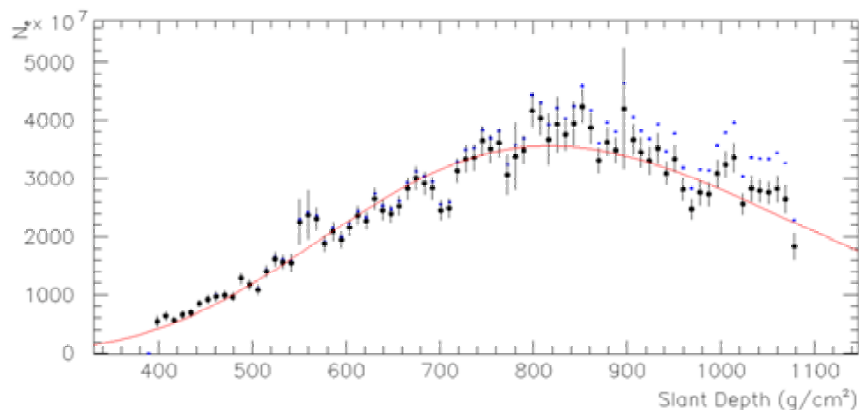
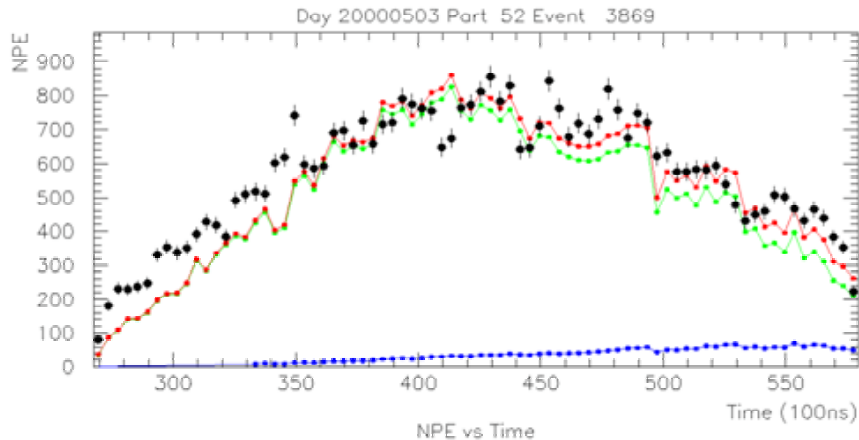
Schéma LIDARu pro Auger

Výsledky LIDARu



Výsledky LIDARu - vlevo měření extinkčního koeficientu, vpravo výsledná optická tloušťka (integrál extinkce podél dráhy); červená čára představuje výsledek modelu US Standard Atmosphere, modrá křivka pak výsledky měření. Odchylka od standardu je jasně patrná, síla LIDARové metody též.

Jak kalibrovat extinkci? Fotometrií standardních hvězd!?



Alternativou, či doplňkem je **fotometrie jasných standardních hvězd**.

V rámci Augeru se astronomickou fotometrií zabývaly tři práce (GAP Notes) **B. Garcia & O. Haza 1999-021**, **B. Fick, J. Matthews, P. Sommers & R. Biral 1999-026** a **R. Biral, G. Medina Tanco, H. Reis & E. Landolfo 2002-023**.

Žádná z prací však neanalyzovala možnosti hvězdné fotometrie podrobněji, fotometrie byla v podstatě jen zmiňována jako příklad alternativy k LIDARovým měřením.

Výškový profil intenzity emise

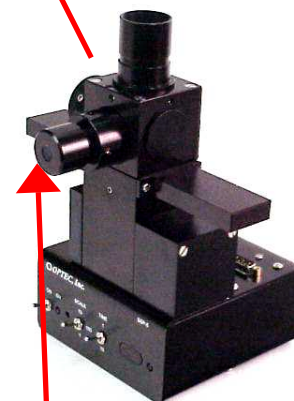
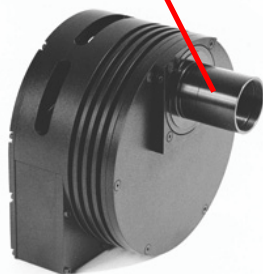
Navrhovaná sestava pro fotometrii

Plně robotický, malý fotometrický dalekohled v sestavě:

- Na zakázku vyrobený klasický Cassegrain, průměr zrcadla 200 mm, světelnost 1:15 (čistě zrcadlová je nezbytná pro dostatečnou propustnost v u filtru, klíčovém pro měření extinkce, komerční systémy tento speciální požadavek nesplňují)
- Paralaktická montáž Losmandy G-11 s naváděcím systémem Gemini
- Fotometr Optec SSP5-A
- širokoúhlá CCD kamera SBIG ST7E, nebo její modernější analog (pro astrometrii, zapůjčená skupinou dr. Hudce)
- Pointační CCD kamera Starlight XPress M516

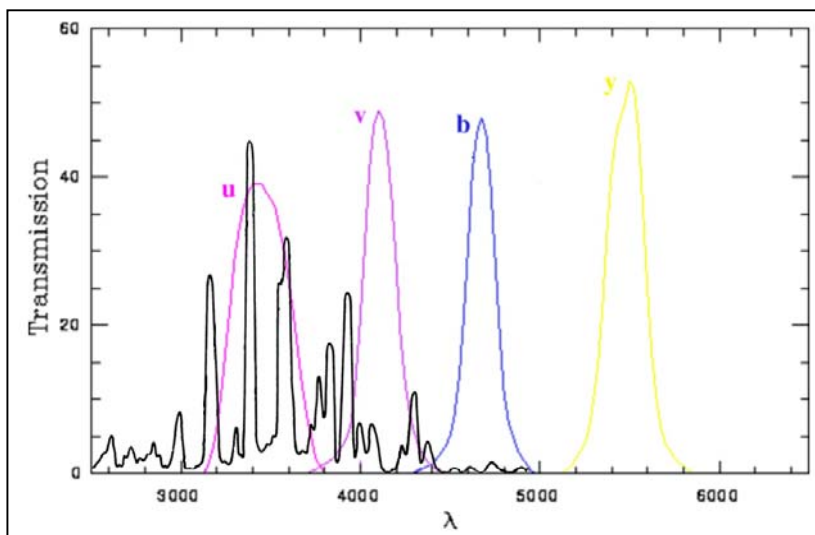
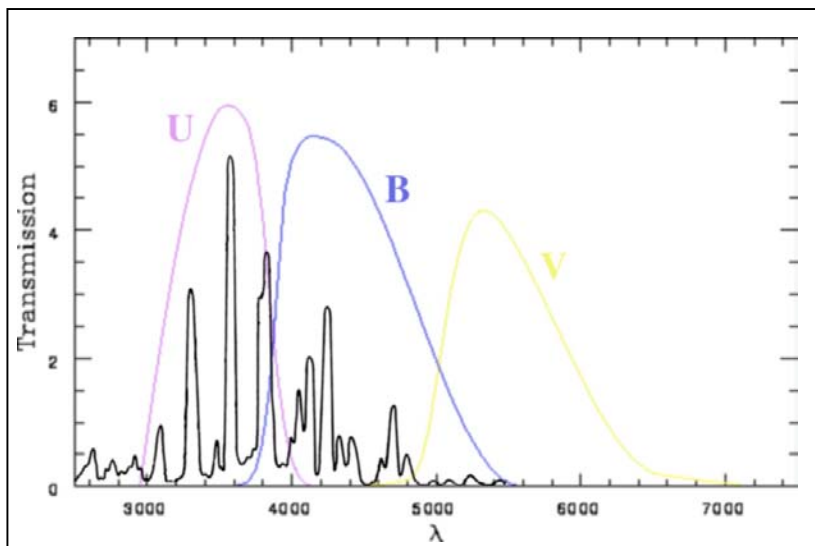
Spolupráce s doc. Harmancem (AÚ UK) – fotometrie a skupinou dr. Hudcem (AsÚ AV ČR) – robotický dalekohled BART.

Celkové náklady na pořízení zařízení pouze 1/5 ve srovnání s LIDARy; \$50.000 versus \$10.000.



**Paralaktická montáž
Losmandy G-11**

Určení extinkčního koeficientu $\alpha(X, \lambda)$



Použití Strömgenových
středněpásmových **uvby** filtrů -
výhody:

- čtyřbodové měření (lepší fit závislosti extinkce na vlnové délce)
- přesnější a dostupnější měření standardních hvězd

+ doplňkové úzkopásmové
měření v oblastech emisních
fluorescenčních čar?

Dosažitelná přesnost:

0,01^m během první sezóny
(tzn. **1%** v energiích)

0,003^m během dalších sezón
(tzn. přesněji než LIDARy)

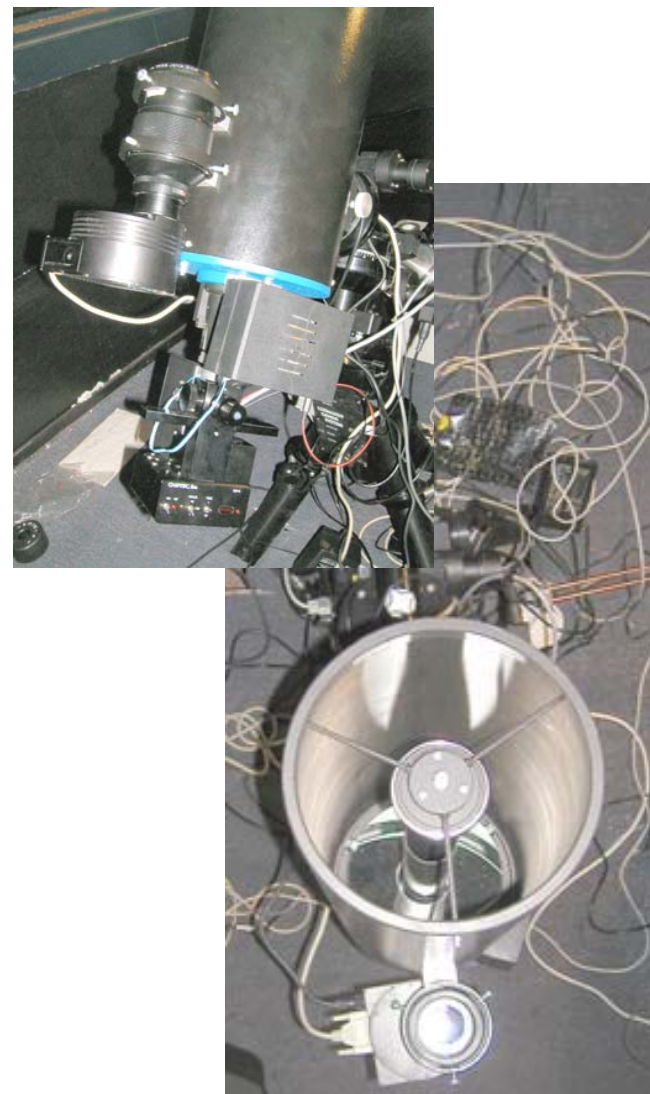
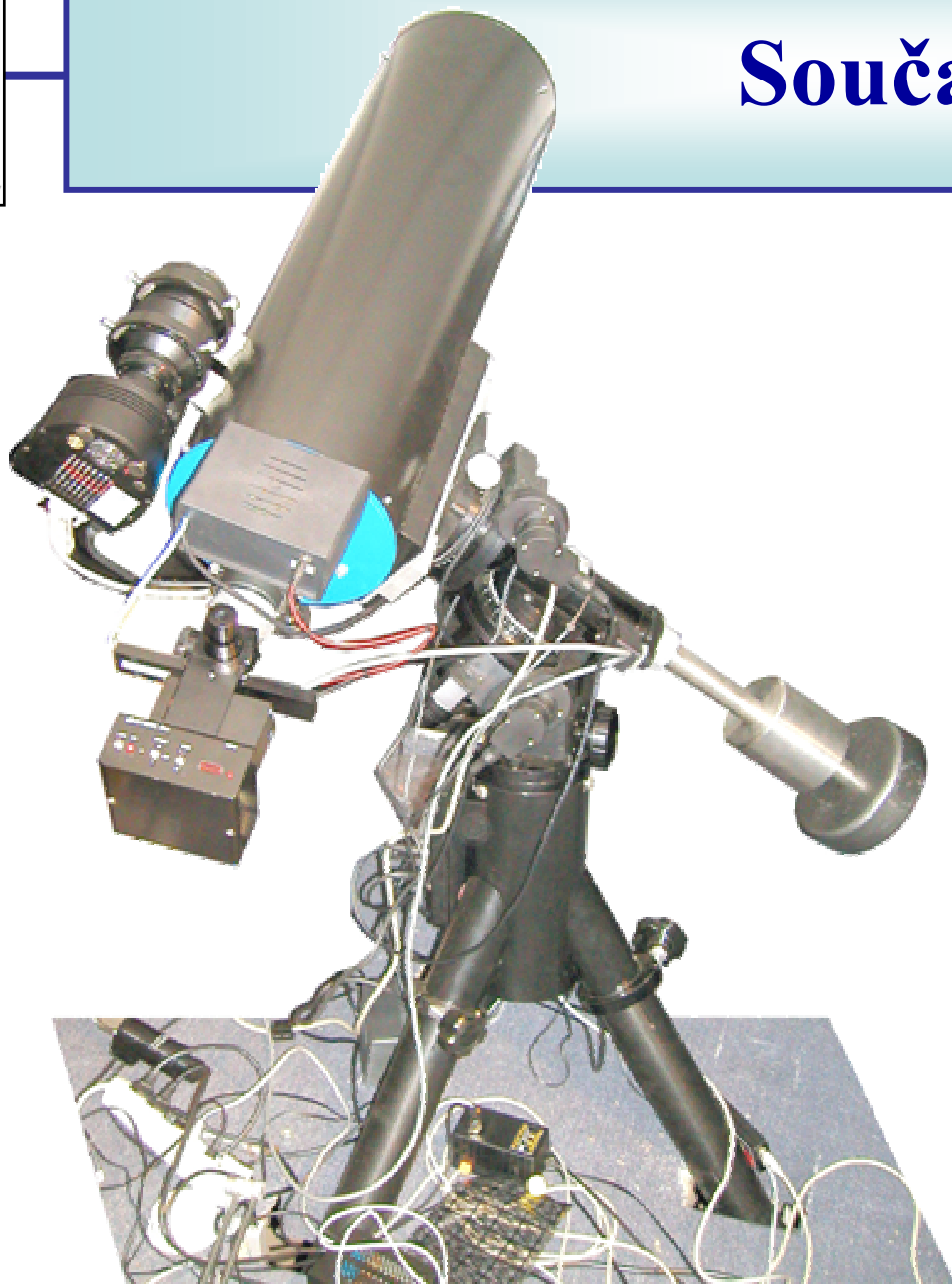
Předpokládaná metodika měření

Výhodou rychlost fotometru – proměření jedné hvězdy za pouhou minutu – integrační čas pro jeden filtr 10s.

Čtyři základní módy měření:

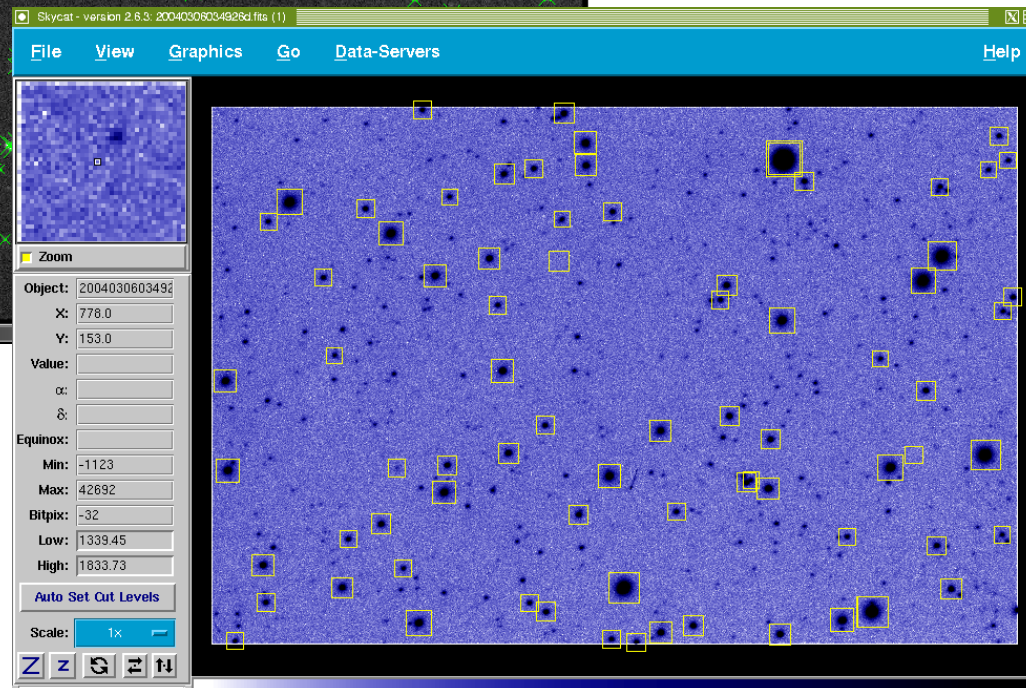
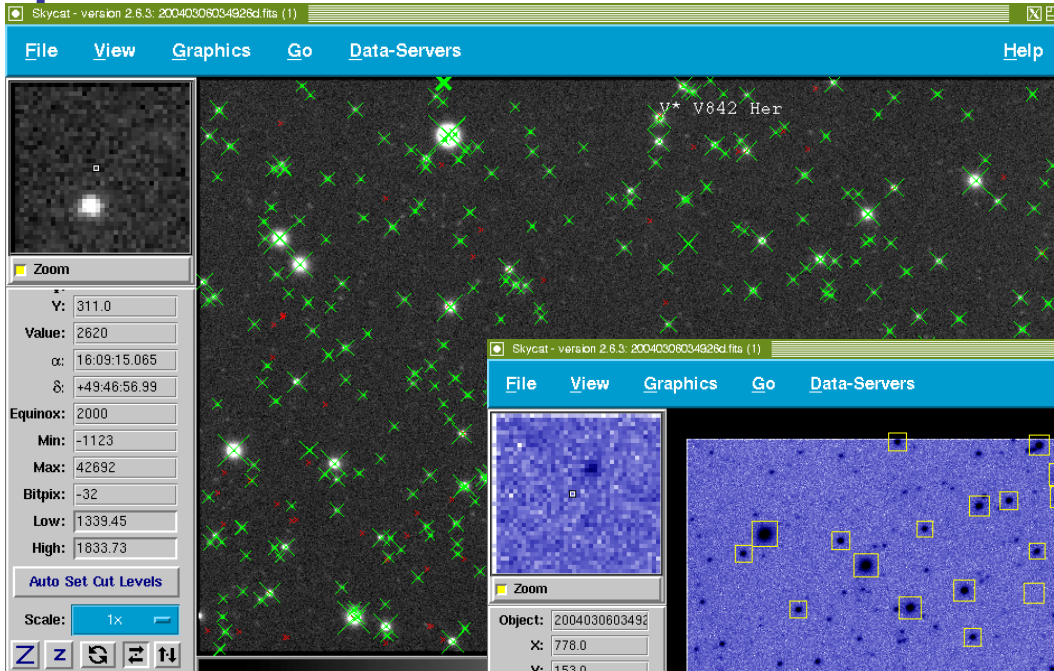
- 1.) **Základní přehlídka oblohy** za účelem změření extinkčních koeficientů. Každou pozorovací noc by mělo být proměřeno alespoň 20 standardních hvězd v co největším rozsahu vzdušných hmot, stejně tak by měl být brán zřetel na možnou azimutální závislost extinkce.
- 2.) **Rychlé měření skupiny standardních hvězd** v co nejbližším okolí právě pozorovaného fluorescenčního záblesku.
- 3.) **Fotometrie dalších zajímavých objektů** – proměnných hvězd, jako využití “mrtvého času” při pozorování, dle návrhů dodaných příslušnými odborníky.
- 4.) **Pozorování CCD kamerou a přehlídky oblohy** – souběžně s fotometrckými měřeními, speciální měření dle návrhu specialistů (**např. pozorování OT GRB**)

Současný stav



Současný stav II

Dalekohled již pracuje v robotickém módu, funguje automatická astrometrie a ovládání montáže pomocí Linuxového systému RTS2.



Současný stav III

Sun Mar	7	20:57:30	2004	75.000000	28.000000	0	344	0
Sun Mar	7	20:57:31	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:32	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:33	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:34	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:35	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:36	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:37	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:39	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:40	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:41	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:42	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:43	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:45	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:46	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:47	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:48	2004	75.000000	28.000000			
Sun Mar	7	20:57:49	2004	75.000000	28.000000	99	856	0
Sun Mar	7	20:57:50	2004	75.000000	28.000000	132	658	0
Sun Mar	7	20:57:51	2004	75.000000	28.000000	132	698	0
Sun Mar	7	20:57:52	2004	75.000000	28.000000	132	672	0
Sun Mar	7	20:57:53	2004	75.000000	28.000000	132	679	0
Sun Mar	7	20:57:54	2004	75.000000	28.000000	132	683	0
Sun Mar	7	20:57:56	2004	75.000000	28.000000	165	520	0
Sun Mar	7	20:57:57	2004	75.000000	28.000000	165	516	0
Sun Mar	7	20:57:58	2004	75.000000	28.000000	165	534	0
Sun Mar	7	20:57:59	2004	75.000000	28.000000	165	523	0

**NOC Z 7. NA 8. BŘEZNA -
VIZUÁLNĚ NEHEZKÁ, LEČ
VÝZNAMNÁ NOVINKA**

**Fotometr začal pracovat v
robotickém provozu!**

A příklad jeho výstupu...

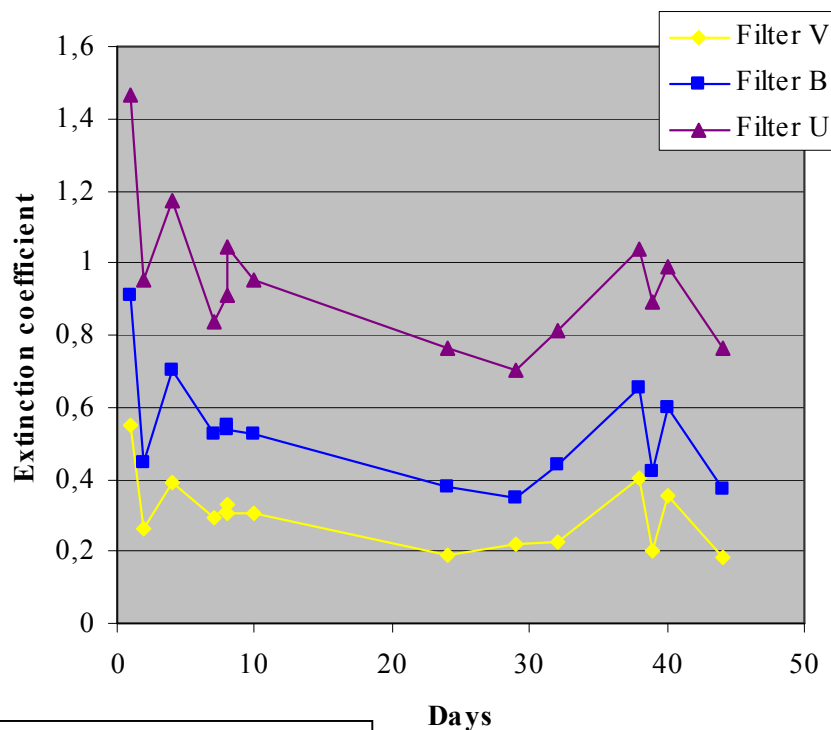
**Zbývá dokončit - pointaci
a ostření pomocí narrow-
field CCD kamery a
automatizaci zpracování
měření.**

Datum Čas Rok Rektasc. Deklin. Filtr Fotometr Objekt

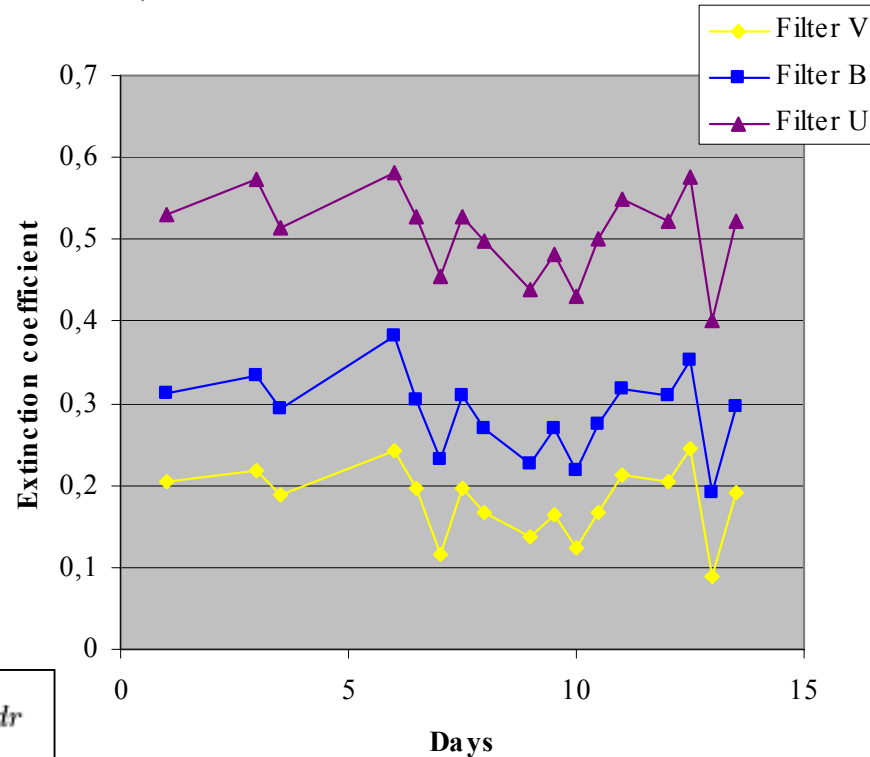
Zpracování měření

Typické sezónní variace
extinkčního koeficientu

Seasonal variation of extinction coefficient
(Hvar, Croatia, 250 a.s.l., 2003)



Seasonal variation of extinction coefficient
(San Pedro Martir, Mexico, 2850 a.s.l., 2003)

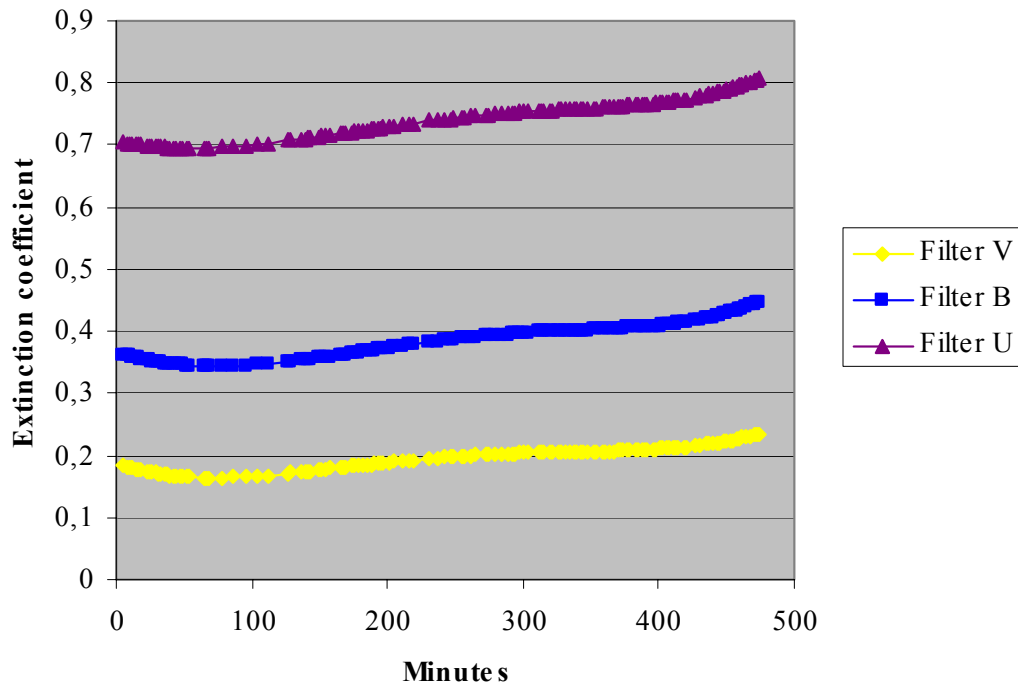


$$\Delta m = \int \alpha(r) \rho(r) dr$$

$$\Delta E \propto e^{-\Delta m} = e^{-\int \alpha(r) \rho(r) dr}$$

Zpracování měření

Nightly variations of extinction coefficient
(Hvar, Croatia, 250 a.s.l., 2003)



Typické krátkoperiodické variace extinkčního koeficientu v průběhu jedné noci

Variace extinkčního koeficientu (jak noční, tak sezónní) jsou klíčové pro správné určení energie spršky.

Nevýhodou astronomické fotometrie je znalost pouze integrální extinkce od pozorovatele až vně z atmosféry a žádná informace o závislosti $\rho(r)$.

V průběhu jedné noci:

$\Delta E \sim 10 - 20 \%$

V průběhu sezóny:

$\Delta E \sim 50 \%$

$$\Delta E \propto e^{-\Delta m} = e^{-\int \alpha(r) \rho(r) dr}$$