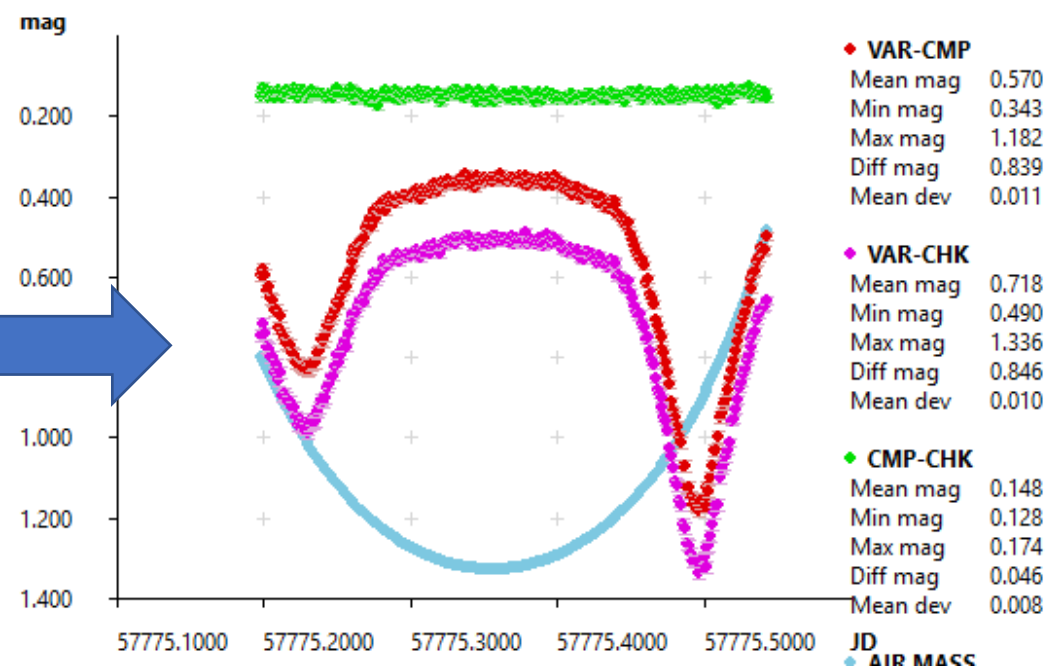
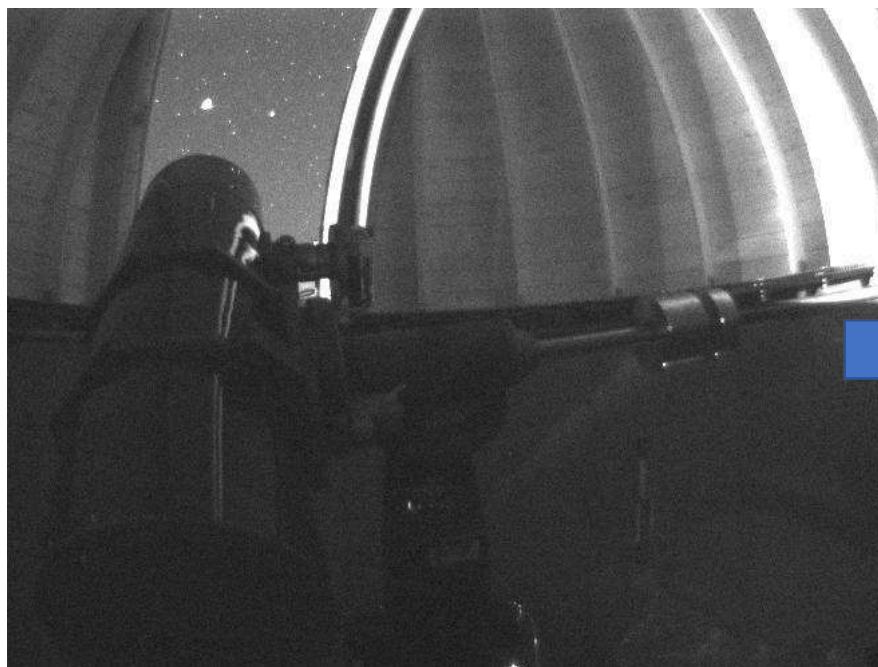


Od fotonu k magnitudě



Co se všechno děje než vznikne světelná křivka

Pavel Cagaš (SPHE ČAS, pc@tcmt.org, <https://www.tcmt.org/>)

Obsah

1. Dalekohled a montáž

- Typy dalekohledů, jejich přednosti a nedostatky
- Montáže a pointace, zorné pole, ostření

2. Kamera

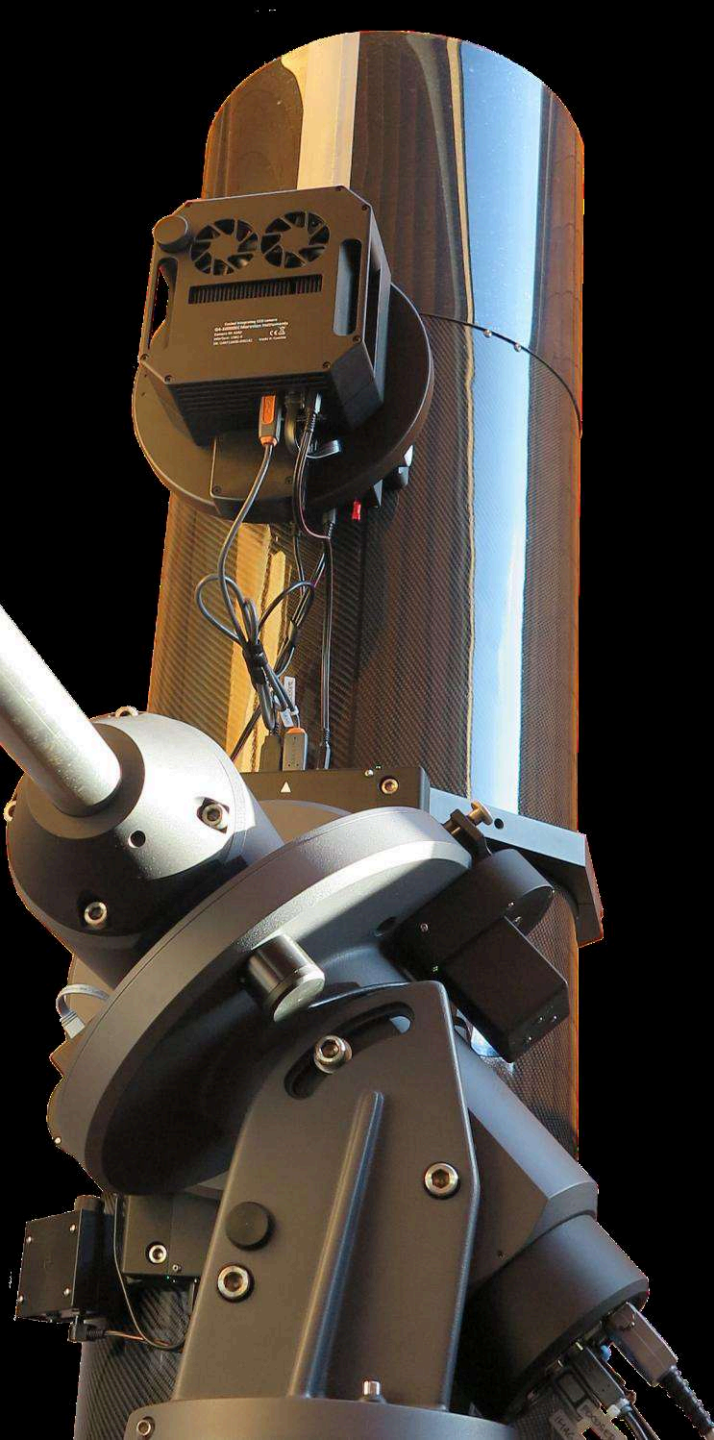
- „Solid-state“ detektory, technologie CCD a CMOS
- Monochromní a barevné senzory, binning, blooming
- Linearita, zisk, fotony-elektrony-ADU
- Chlazení a temný proud, poměr signál/šum

3. Obraz a jeho kalibrace

- Datová reprezentace astronomického snímku v počítači
- Artefakty v obrazu ovlivňující měření
- Temný proud, vinětace, ...
- Artefakty způsobené pozorovacími podmínkami
- Co dalšího lze potkat na obloze

4. Fotometrické zpracování

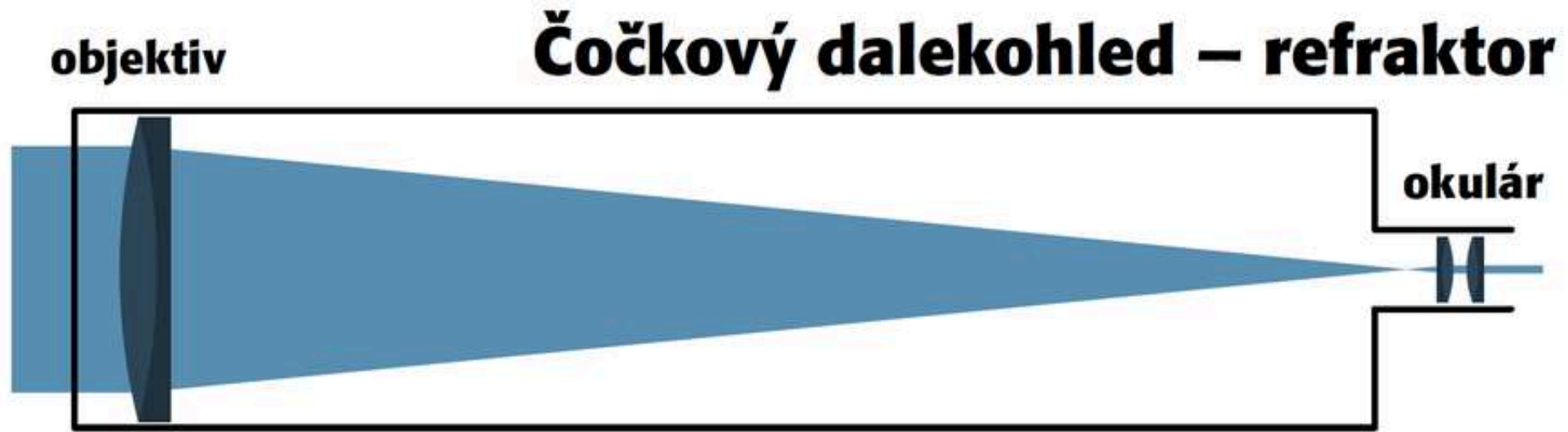
- Krátká odbočka k astrometrii
- Apertura, flux a magnituda
- Proměnné, srovnávací (a kontrolní) hvězdy
- Barevný index, atmosférická extinkce
- Světelná křivka (konečně!)



Dalekohled a montáž

Dalekohled (nebo objektiv)

- Dalekohled v ohniskové rovině vytváří skutečný obraz pozorovaného předmětu
- Na místo okuláru do ohniskové roviny umístíme detektor (kameru)
 - Kamera/PC **objektivně zaznamenávají** přicházející světlo a zbavují nás subjektivních chyb
- Ne všechny dalekohledy jsou stejně vhodné pro různé typy pozorování
 - Navíc se liší cenou (poměrem cena/výkon) i daty, která s jejich pomocí můžeme získat



- Výborná konstrukce malých a přenosných přístrojů
 - Levné (achromatické) varianty nedávají kvalitní obraz
- Čočkový objektiv nelze vyrobit dost velký, jsme omezeni průměrem objektivu a tedy i jasností pozorovaných objektů
- Refraktory mají špatný až velmi špatný poměr cena/výkon
 - Jen trochu větší refraktory o průměru >10 cm jsou extrémně drahé
 - Kvalitní (ED, APO) refraktory jsou extrémně drahé i při průměru <10 cm

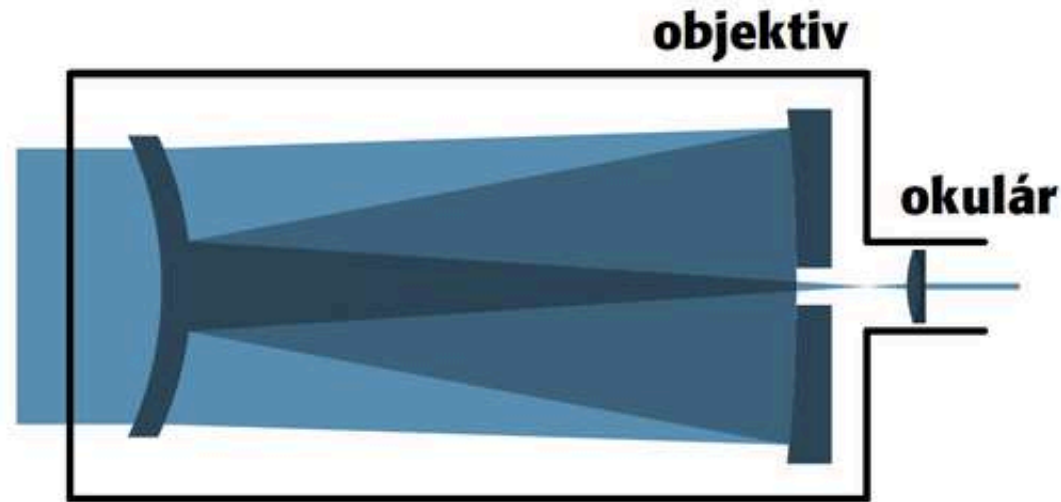


- Newton – jednoduchá, ale elegantní a účinná konstrukce
 - Nejlepší poměr cena/výkon
- Optimální ohnisková vzdálenost pro dosažení limitního rozlišení, omezeného neklidem atmosféry
- Optická vada parabolických zrcadel (koma) **vyžaduje použití korektoru**
 - S korektorem nabízí Newton velmi široké zorné pole

Koma-korektory parabolických zrcadel

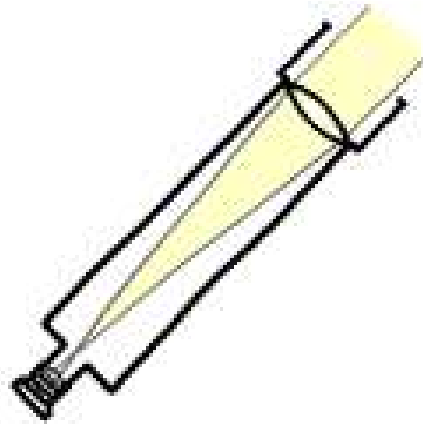


Katadioptrický dalekohled – Maksutov-Cassegrain



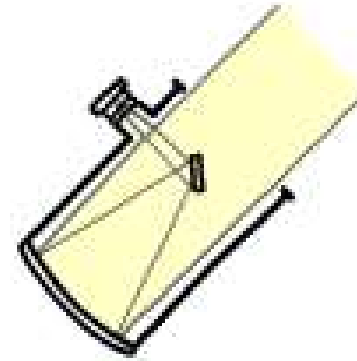
- Krátký tubus, kompaktní konstrukce
- Velmi dlouhá ohnisková vzdálenost => malé zorné pole
 - V praxi často kombinovány se zkracovači ohniska, výsledná konstrukce je ale už hodně složitá (hodně optických prvků)
- Vhodné spíše pro vizuální pozorování (konkurence malých refraktorů)
- Při měření proměnných hvězd malé zorné pole omezuje výběr srovnávacích hvězd

REFRACTOR



- MORE EXPENSIVE
- LESS COMPACT
- CHROMATIC ABERRATION
- REDUCED LIGHT-GATHERING

REFLECTOR



- CAN'T SEE SPACE VAMPIRES

<https://www.xkcd.com/1791/>

Montáž

- Dalekohled zobrazuje objekty na obloze, které:
 - jsou slabé, vyžadují dlouhé expozice
 - otáčí se spolu s oblohou
- Dalekohled musíme umístit na montáž, která jej **vede za hvězdami**
- Vedení za hvězdami dovolují rovníkové (ekvatoreální) montáže
 - Rovníková montáž vede dalekohled **rovnoměrným pohybem v jedné ose**
- Azimutální montáž vyžaduje **nerovnoměrné** pohyby ve **třech osách**
 - Azimut, výška, rotace pole (kamery)
 - Stáčení pole navíc komplikuje pořizování flat-field kalibračních snímků

Rovníkové montáže



Vidlicová (Anglická)



Německá (GEM –
German Equatorial Mount)

Rovníkové montáže

Vidlicová:

- (+) Dokáže **sledovat objekt přes meridián**
- (-) Náročná na výrobu (tedy drahá)
- (-) Dostatečně tuhá vidlice je těžká a velká
- (-) Dalekohled nelze jednoduše vyvážit
- (-) Omezená délka tubusu
- (-) Omezený prostor pro přístroje na spodní straně tubusu

Německá (GEM):

- (+) Jednoduchá konstrukce
- (+) Tuhá a robustní
- (+) Snadné vyvážení dalekohledu v obou osách
- (?) Vyžaduje protizávaží, i když ne nutně těžší než robustní vidlice
- (-) Přejít mezi západní a východní hemisférou většinou **vyžaduje přeložení tubusu** (pole v kameře se otočí o 180°)

Kvalita obrazu

- Tvzení, že při pozorování proměnných hvězd nezáleží na kvalitě obrazu (jako třeba u astronomické fotografie), většinou neplatí:
 - I pokud máme signálu nazbyt (pozorujeme jasnou hvězdu), kruhové obrazy hvězd zvyšují přesnost fotometrie
 - Pokud sledujeme hvězdy u teoretické hranice dosahu sestavy, vysoká kvalita obrazů je naopak nezbytná
- Kvalita obrazu je dána:
 - Dalekohledem (kvalita optiky, kolimace, korekce aberací, mechanická tuhost, ...)
 - Zaostřením a seeingem
 - Kvalitou vedení dalekohledu za hvězdami (tracking)

Pointace (guiding)

- Většina komerčních montáží nedokáže udržet hvězdy v rámci povolených tolerancí (~zlomky až jednotky úhlových vteřin) po celou dobu expozice
- Je nezbytné chod montáže korigovat snímáním hvězdy (hvězd) a měřením odchylek od referenčního (prvního) snímku
- Pointace koriguje nejen nepřesnost chodu montáže, ale i další odchylky:
 - Refrakci
 - Nepřesné ustavení polární osy
 - Deformace tubusu a montáže
- Perioda snímání $<$ čas, po který je montáž schopna dodržet zadanou toleranci
 - U běžných komerčních (Čínských) montáží to jsou jen jednotky sekund

Detekce odchylek

- Odchylky lze sledovat na:
 - Snímcích specializované kamery (pointační kamera, guiding camera, guider)
 - Snímcích hlavní kamery (mezi-snímková pointace, korekce lze provádět jen mezi expozicemi hlavní kamery)
- Pointační kamera může být umístěna na:
 - Samostatném (pointačním) dalekohledu
 - Na „Off-Axis Guider“ adaptéru (OAG) na hlavním dalekohledu
- K měření odchylek lze použít:
 - Jednu hvězdu – zpravidla je snímek oříznut jen na okolí vybrané hvězdy
 - Všechny hvězdy v poli – provádí se sesazení celého snímku

Korekční pulsy

- Odchyly chodu montáže jsou korigovány krátkými a pomalými posuny montáže
 - tzv. „guiding speed“, typicky $\sim \frac{1}{2}$ „tracking speed“
- Příkazy montáži lze předávat:
 - **HW**: standardizovaný 6-pin (tzv. „autoguider“ konektor), pointační kamera je s montáží propojena kabelem
 - **SW**: rozhraní ovladače musí podporovat tzv. „Pulse-Guide“ rozhraní, tedy příkazy o směru a době trvání posunů
- V obou případech není posun absolutní (úhel na obloze), ale je zadán potřebný čas (**délka korekčního pulsu**)

Pointační kamera



Na samostatném
dalekohledu



Na Off-Axis Guider (OAG)
adaptéru

Umístění pointační kamery

Pointační dalekohled

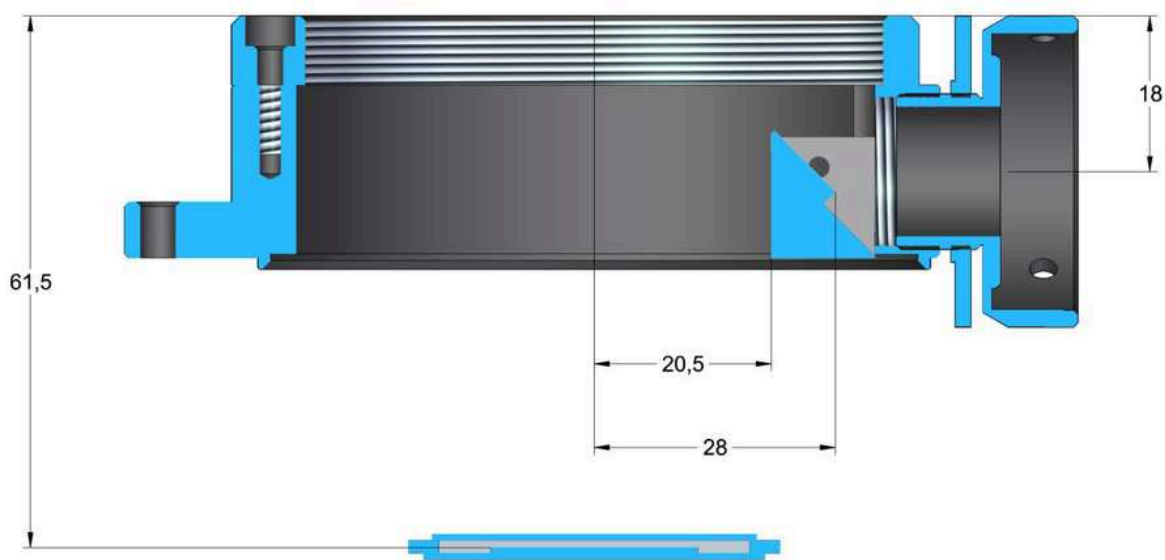
- (-) Deformuje se jinak než hlavní dalekohled
- (-) Zatěžuje montáž
- (+) Dovoluje optimalizovat ohniskovou vzdálenost pro pointaci (širší zorné pole)
- (+) Snazší hledání pointační hvězdy
- (+) Nezvyšuje nároky na zorné pole hlavního dalekohledu

Off-Axis Guider adapter

- (+) Odpadají rozdílné optické osy (rozdílné mechanické deformace)
- (+) Odpadá pointační dalekohled (lehčí sestava)
- (-) Ohnisková vzdálenost často moc dlouhá pro pointaci
- (-) Obtížné (někdy nemožné) hledání pointační hvězdy
- (-) Vysoké nároky na zorné pole hlavního dalekohledu

OAG zblízka

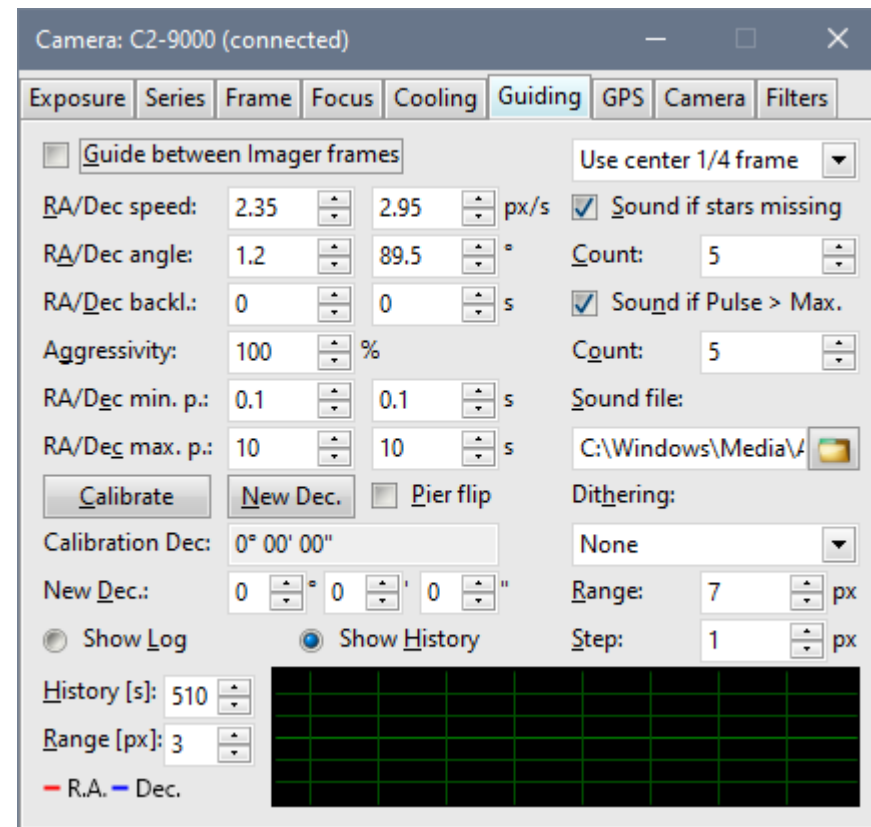
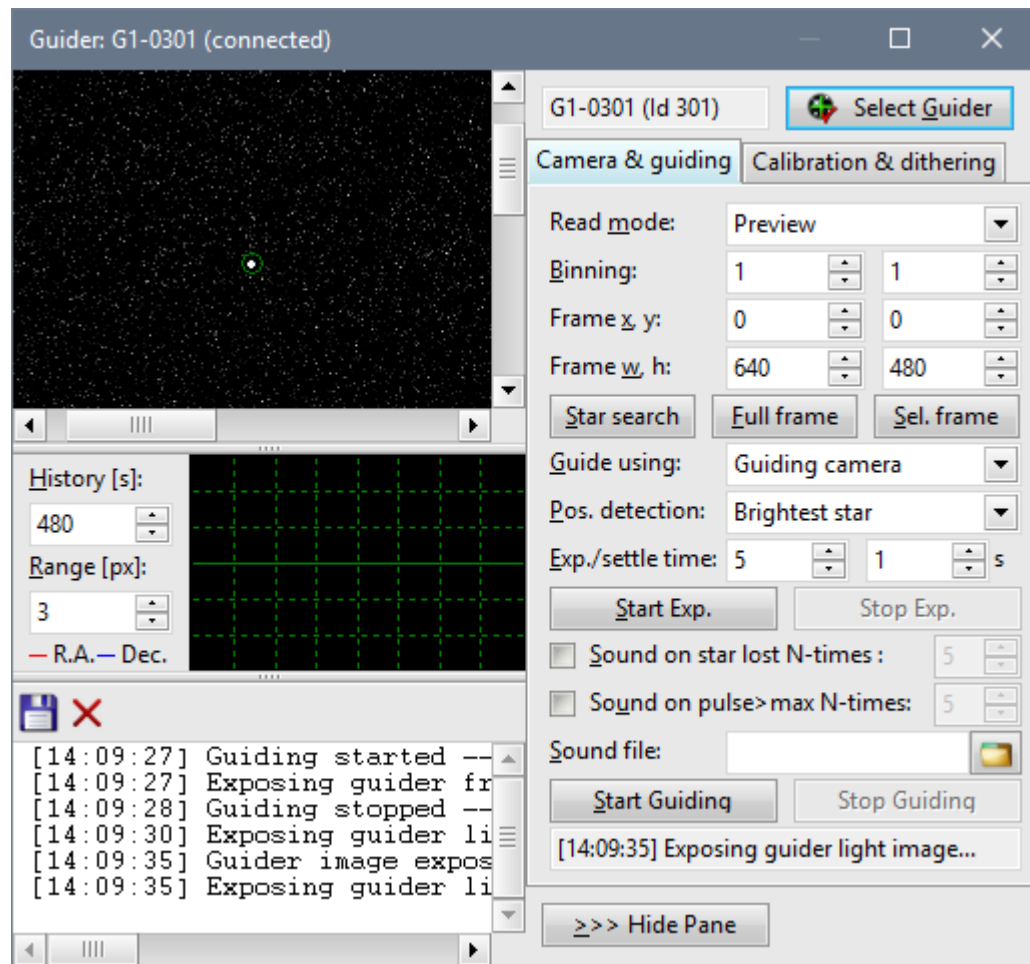
Port pro pointační kameru
Diagonální zrcátko



Mezi-snímková pointace

- Pokud je montáž natolik kvalitní, že udrží obraz v rámci tolerancí během jedné expozice, není pointace samostatnou kamerou nutná
- Je možné korigovat odchylky pouze mezi jednotlivými snímky hlavní kamery
- Korekce eliminuje refrakci, deformace tubusu, ...
 - Refrakci do jisté míry eliminuje i moderní montáž („King tracking rate“, přesnost je ale samozřejmě omezena)
- Hvězda pak „necestuje“ po zorném poli
- Vyžaduje se možnost korekce prostřednictvím montáže (Pulse-Guide), velké kamery zpravidla nemají „autoguider“ port

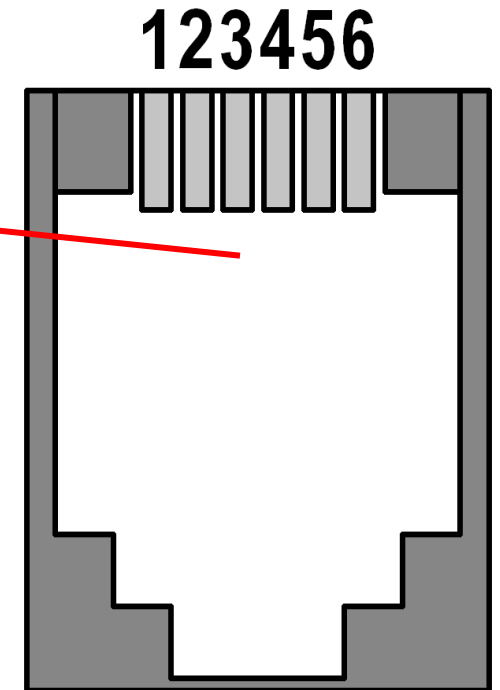
Ovládací prvky pro klasickou (vlevo) a mezi-snímkovou pointaci (vpravo)



Auto-guider port

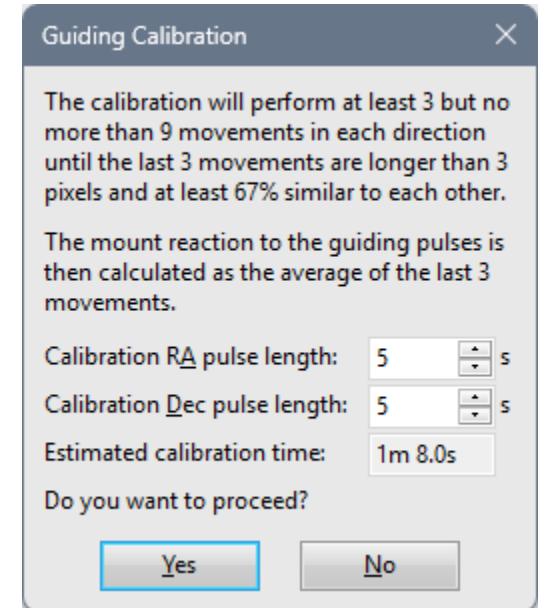
Standard zavedený kamerou SBIG ST4:

1. R.A. + (doleva)
2. Dec + (nahoru)
3. Dec – (dolů)
4. R.A.– (doprava)
5. Společný pól (zem)
6. Nezapojeno



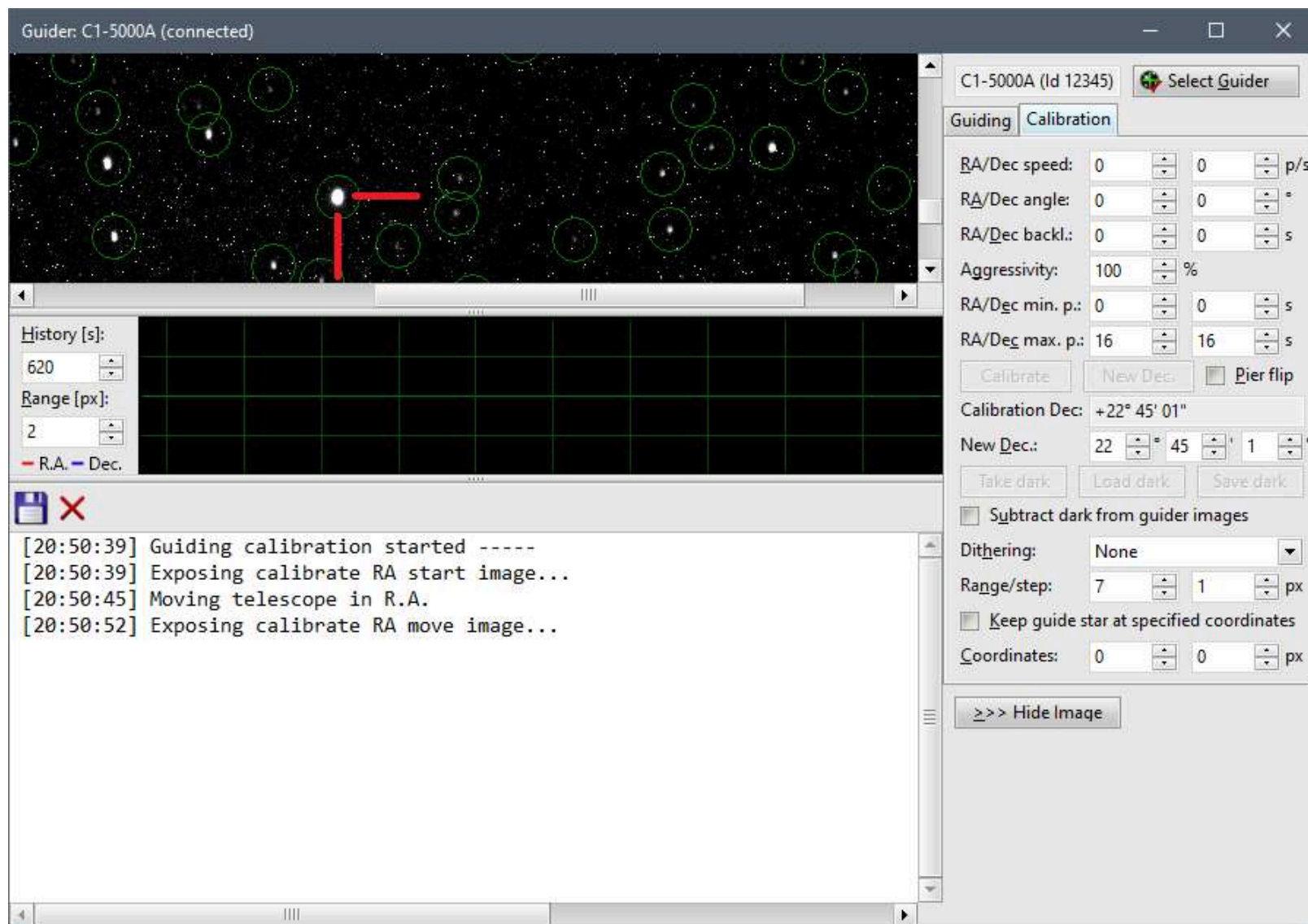
Kalibrace pointace

- Kamera dokáže spočítat odchylku od referenčního snímku v pixelech (ve zlomcích pixelu)
- Montáž se ovládá časem (délkou) posunu
- Vztah mezi pixely a časem je nutné určit **kalibrací**
- Kalibrace určí rychlosti posunu v obou osách a úhel mezi osami montáže a osami snímku z pointační kamery
 - Protože rovníkové souřadnice jsou sférické, ale projekce oblohy na čip je tangenciální, odezva v R.A. závisí na deklinaci



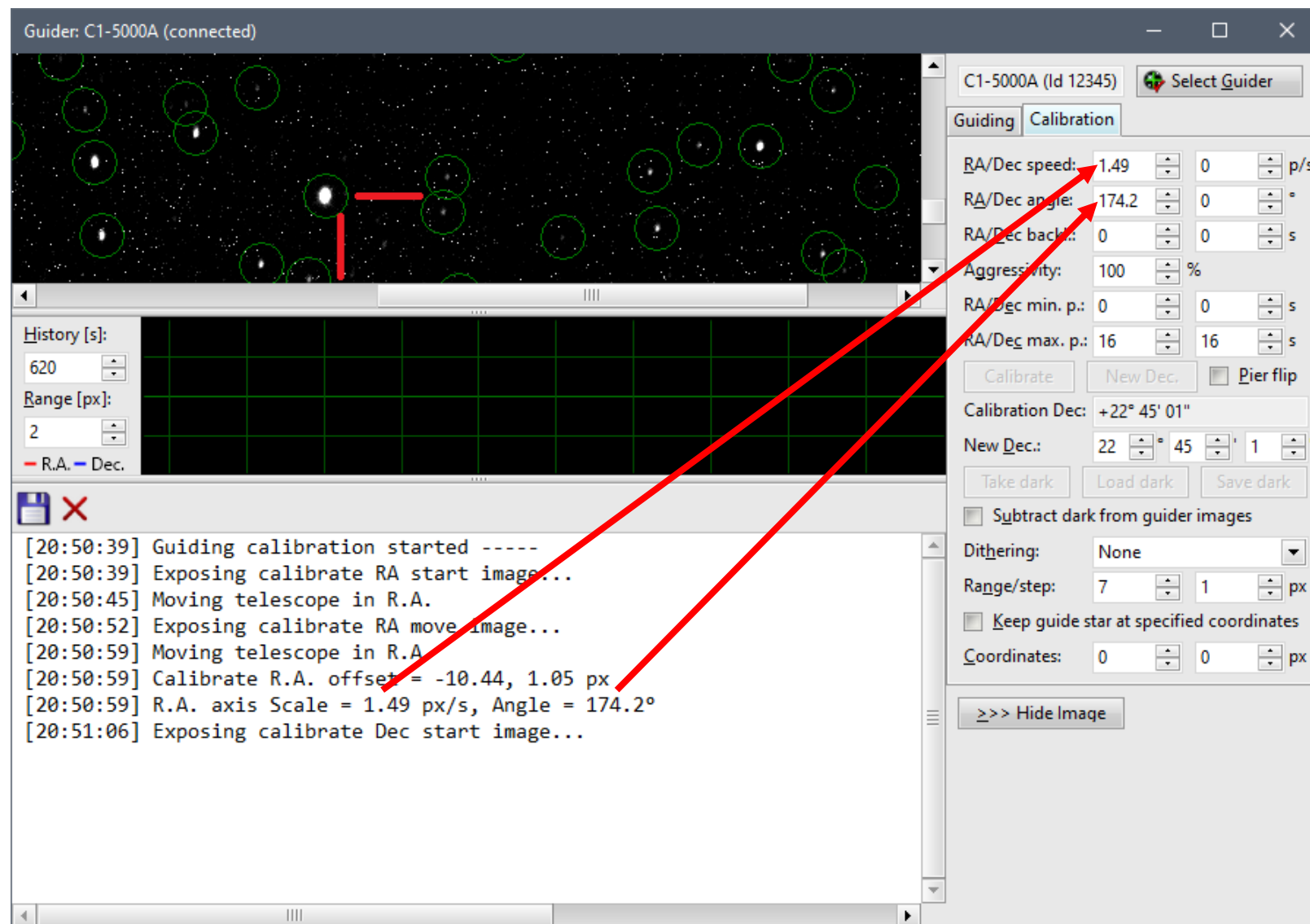
Kalibrace krok 1

- Expozice referenčního snímku
- Posun dalekohledu v R.A. o délku kalibračního pulsu



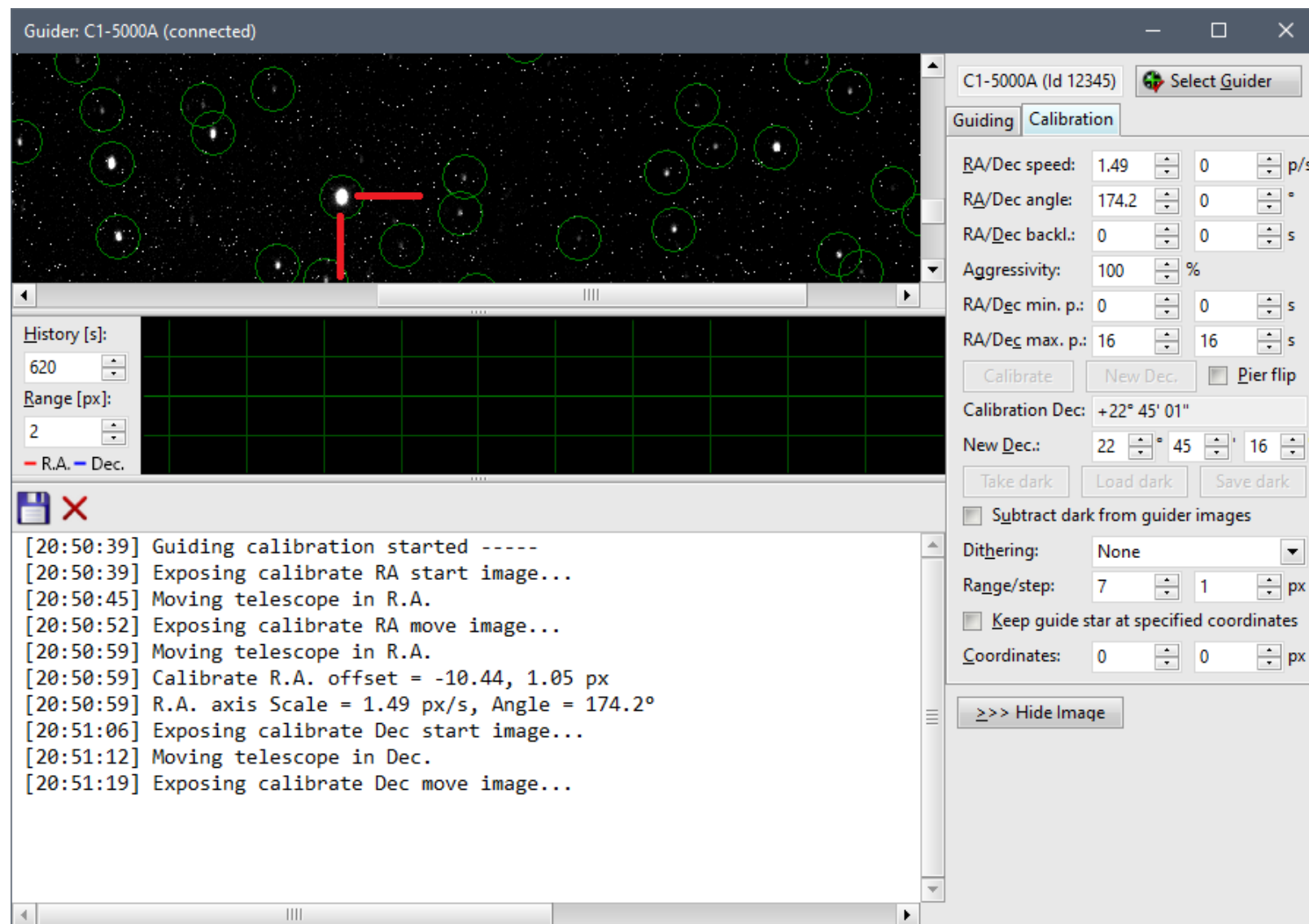
Kalibrace krok 2

- Expozice snímku, zjištění ΔX , ΔY proti referenci
- Výpočet **rychlosti** a **úhlu** pro posun v R.A.



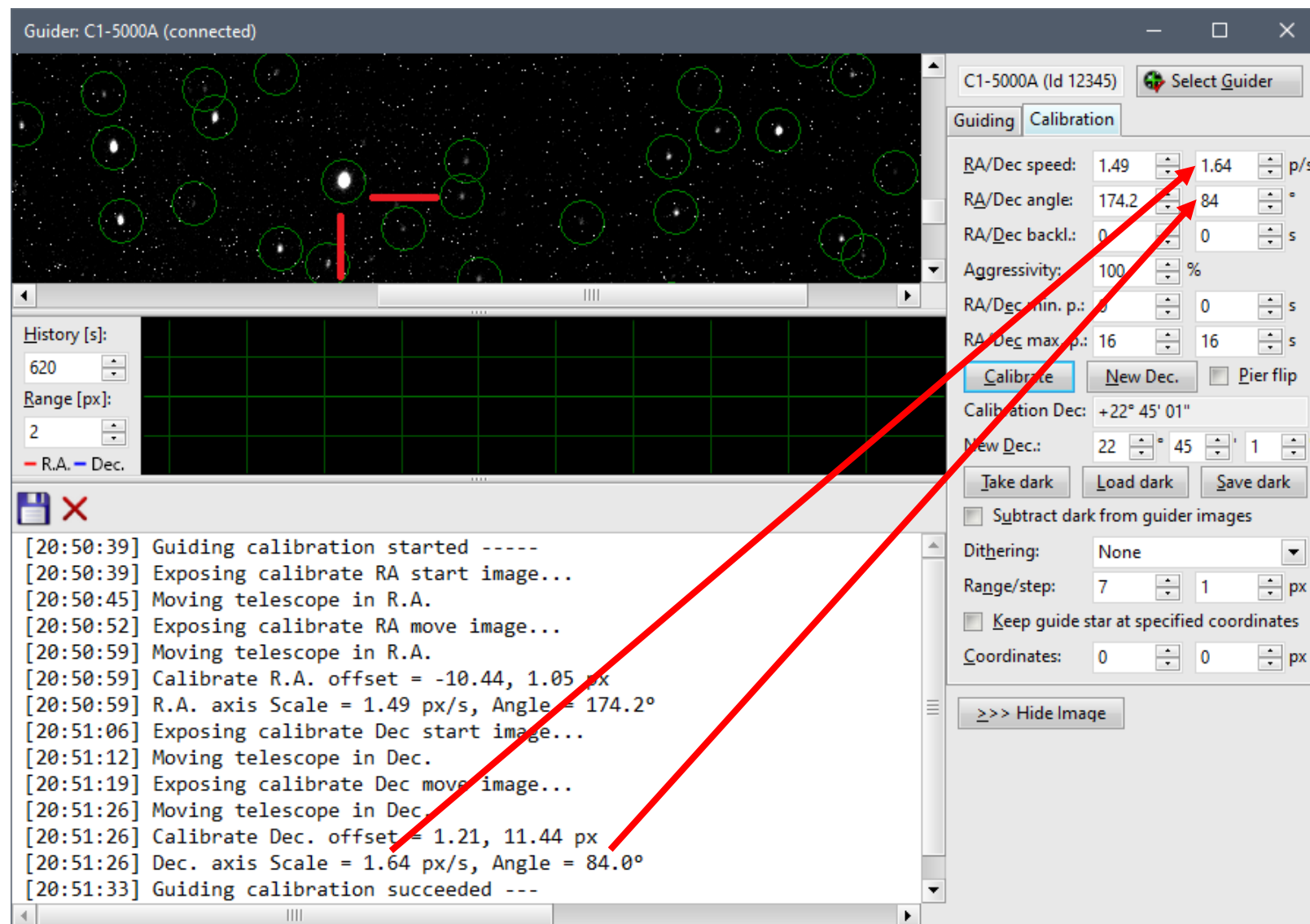
Kalibrace krok 3

- Posun zpět, nová expozice (nový referenční snímek)
- Posun dalekohledu v Dec. o délku **kalibračního pulsu**



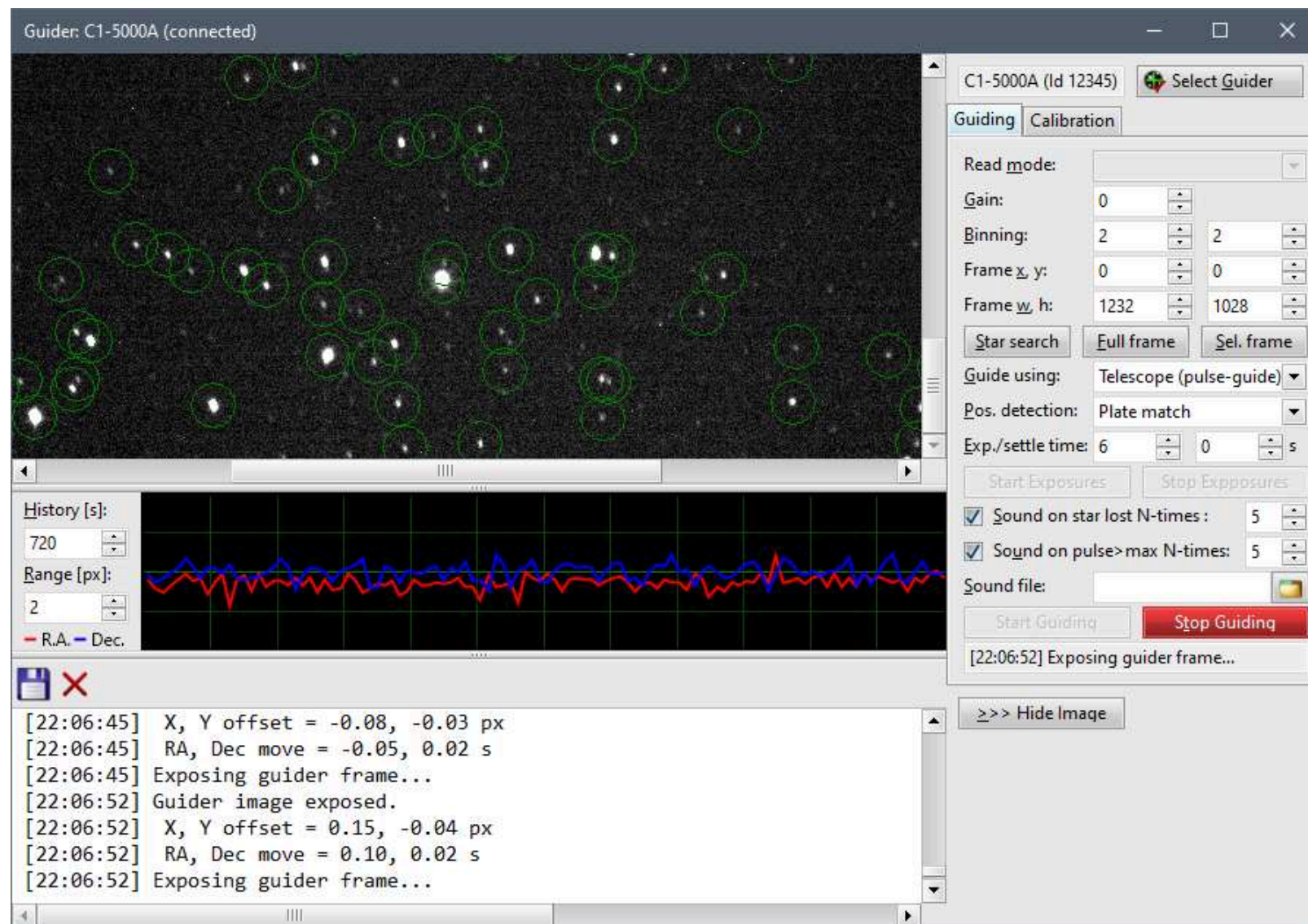
Kalibrace krok 4

- Expozice snímku, zjištění ΔX , ΔY proti referenci
- Výpočet **rychlosti** a **úhlu** pro posun v Dec.



Kalibrace krok 5

- Návrat dalekohledu v Dec., ukončení kalibrace
- Nový snímek se už neexponuje (není zapotřebí)
- Je možné začít pointovat



Parametry pointace při přesunu dalekohledu a přeložení montáže

- Při přesunu na nové souřadnice nebo přeložení montáže se parametry pointace mění
- Není ale nutno opětovně kalibrovat, nové parametry lze dopočítat z existujících
 - Při přeložení se vektory otočí o 180° a změní se směr posunu v Dec.
 - Při přesunu na nové souřadnice zůstává rychlost v Dec. shodná, rychlost v R.A. se přepočítá
 - Je ale nezbytné znát deklinaci v době původní kalibrace

Ostřit nebo neostřit?

Camera: C5A-150M (connected)

Exposure Series Frame **Focus** Cooling Guiding GPS Camera Filters

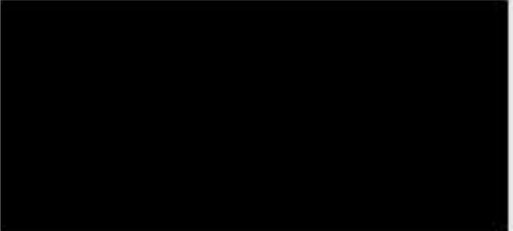
Focus area



Brightest pixel profile



☒ Use Max.Pixel ☐ Use FWHM



Max pixel x = 119
Max pixel y = 131

Max pixel value = 7304
FWHM = 2.783

Focus Exposure Time [s]: 5

Start Focus Exp. Stop Focus Exp.

Focuser steps per move: 20

Start Autofocus Stop Autofocus

Searching initial direction

Camera: C5A-150M (connected)

Exposure Series Frame **Focus** Cooling Guiding GPS Camera Filters

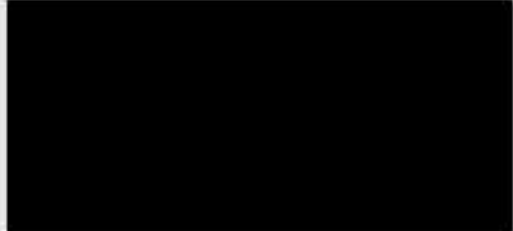
Focus area



Brightest pixel profile



☒ Use Max.Pixel ☐ Use FWHM



Max pixel x = 121
Max pixel y = 132

Max pixel value = 25568
FWHM = 1.474

Focus Exposure Time [s]: 5

Start Focus Exp. Stop Focus Exp.

Focuser steps per move: 20

Start Autofocus Stop Autofocus

Autofocus stopped

Někdy ostřit, někdy neostřit

Neostřit (**mírně** rozmazat):

- Při nadbytku světla zabrání mírné rozostření saturaci pixelů hvězdy a tím znehodnocení dat
- Rozostření dovolí prodloužit expozici a shromáždit více signálu
- Rozptýlení signálu do více pixelů s velkým odstupem signálu od šumu eliminuje statistické odchylky pixelů

Ostřit:

- Při nedostatku světla (nehrozí saturace) zaostření dovolí použít menší fotometrickou clonku a tím zahrnout méně pixelů pozadí
- Odstup signálu od šumu je u méně pixelů lepší
- V hustých hvězdných polích kvalitní zaostření dovoluje měřit hvězdy v úhlové blízkosti jiných hvězd

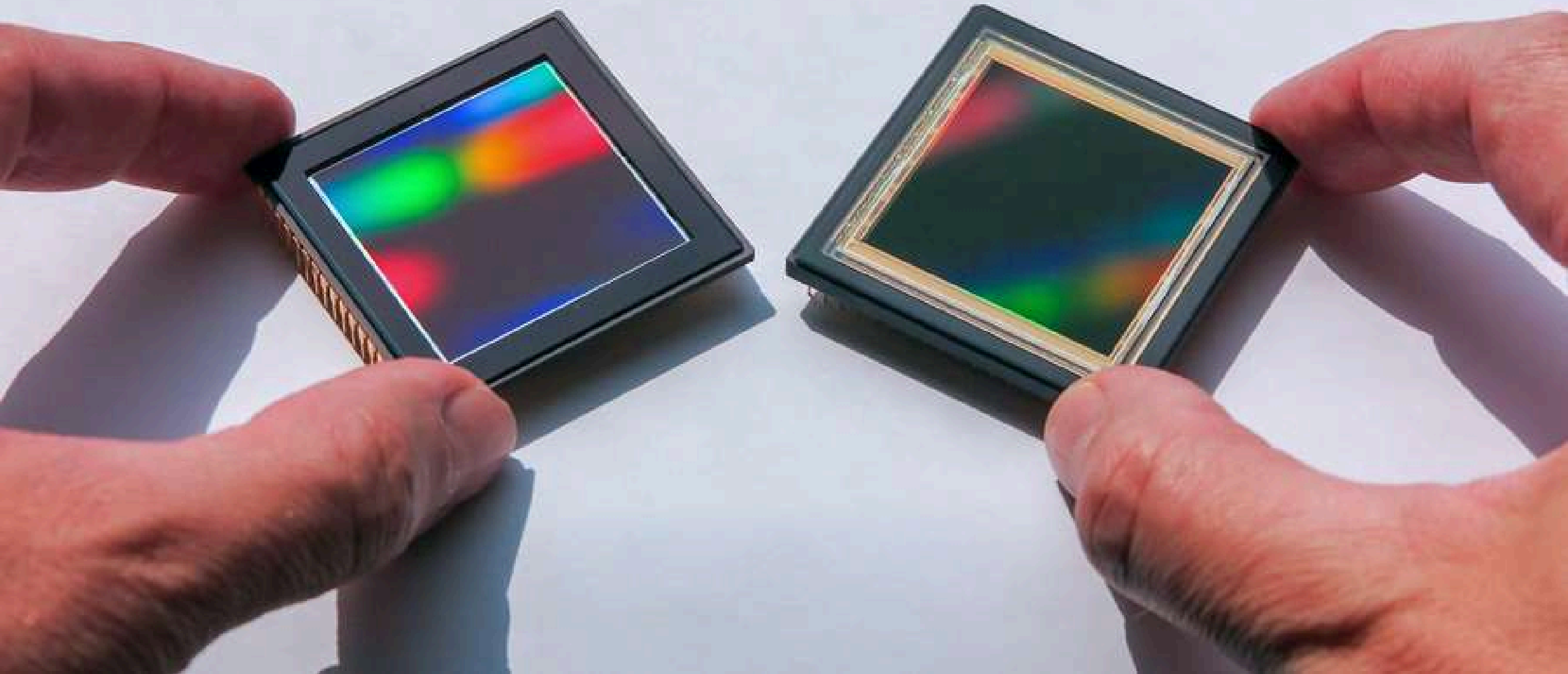
Kamera



Astronomické kamery jsou vybaveny polovodičovými snímači obrazu

- Základním materiálem snímačů určených pro viditelné světlo je **křemík** (někdy jsou označovány přímo křemíkové snímače obrazu)
- První polovodičové snímače obrazu (solid-state detectors) využívaly technologii **CCD** (Charge-Coupled Device)
- Dnes jsou CCD snímače, vyžadující specifické výrobní linky, nahrazeny snímači vyráběnými na standardních linkách vyrábějících **CMOS** obvody (CPU, GPU, NPU, ...)
- Moderní **CMOS snímače** obrazu překonávají své CCD předchůdce ve všech klíčových parametrech (velikost senzoru, citlivost, čtecí šum, temný proud, rychlost digitalizace, ...)

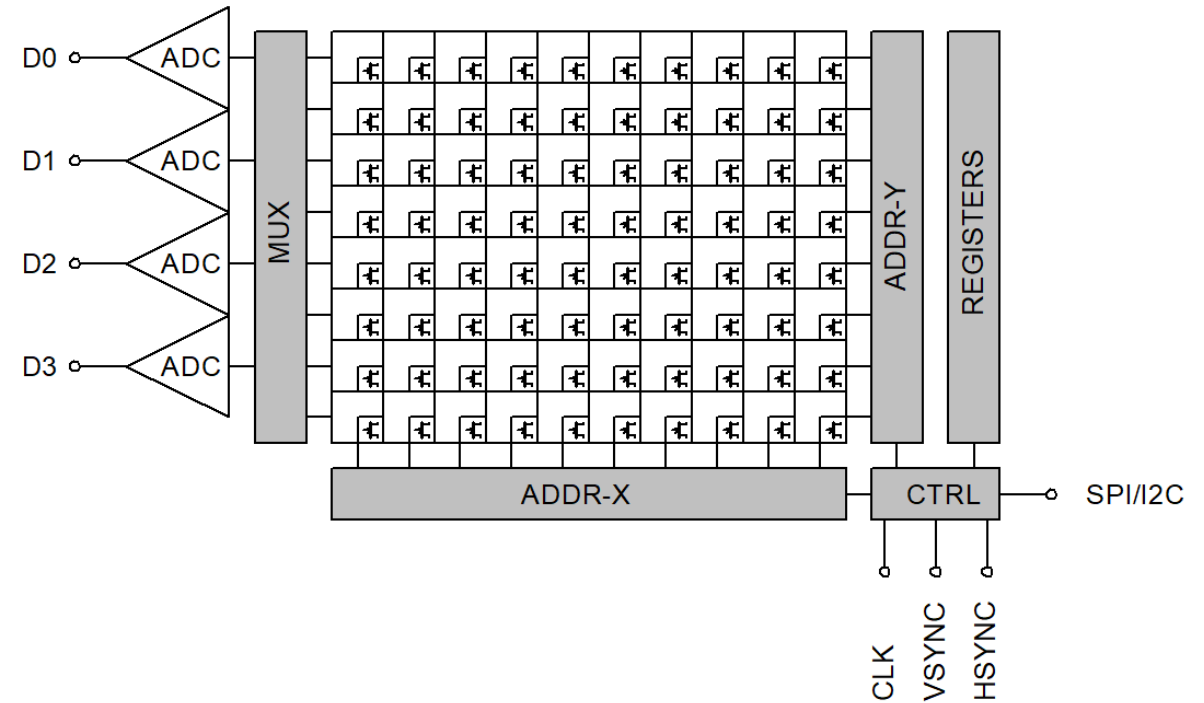
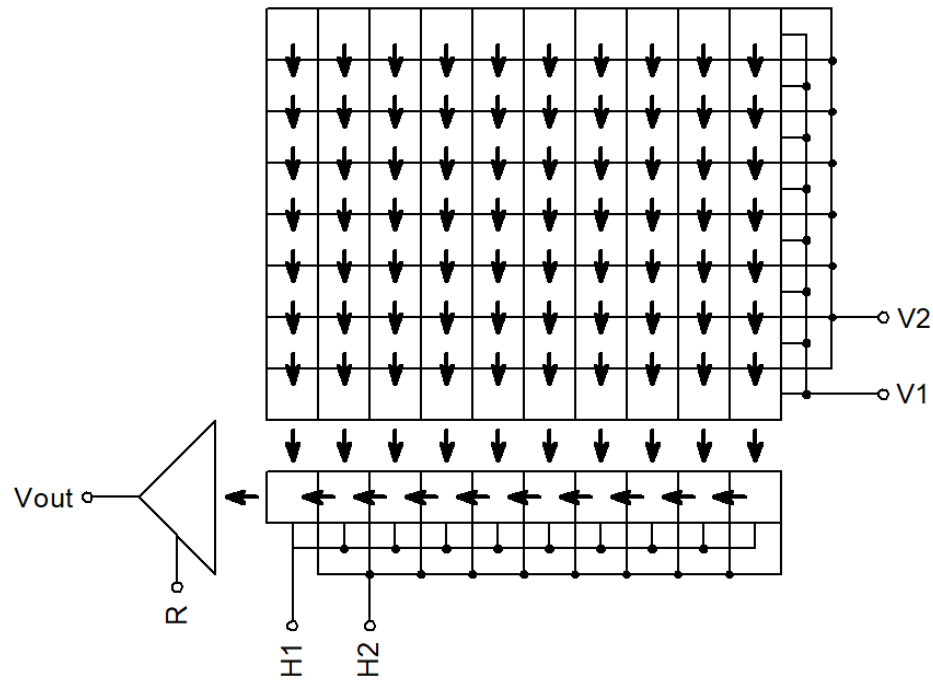
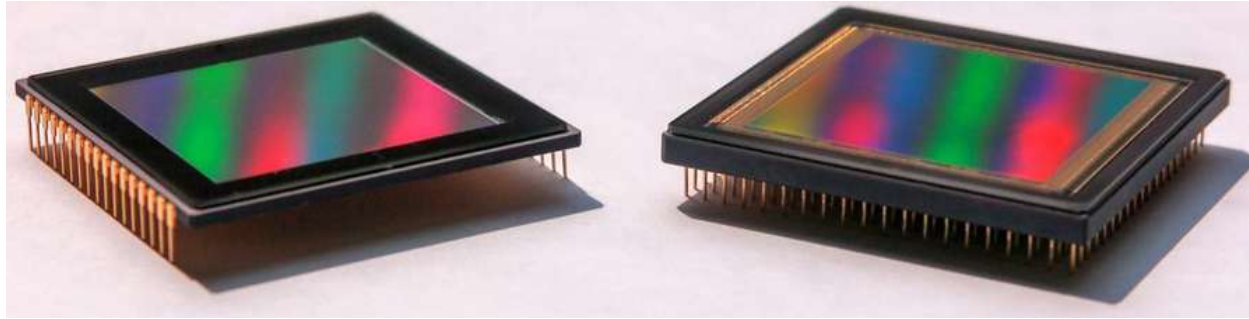
CCD (KAF-16803) a CMOS (GSENSE4040)



V čem se CCD a CMOS senzory liší?

- Zažité zkratky **CCD** a **CMOS** pro dva základní typy snímačů naneštěstí označují každá něco jiného:
 - **Charge Coupled Device** je označení principu práce
 - **Complementary Metal Oxide Silicon** je označení konstrukce integrovaných logických obvodů s unipolárními tranzistory (FET)
- Základní princip práce je identický – foton excituje atomy křemíku a uvolněné elektrony reprezentují míru osvětlení
- Vše další se ale liší – CCD je v principu analogový obvod, CMOS je digitální obvod (využívá výrobní linky pro digitální obvody)

CCD a CMOS senzory



IMX461 (C5-100M)



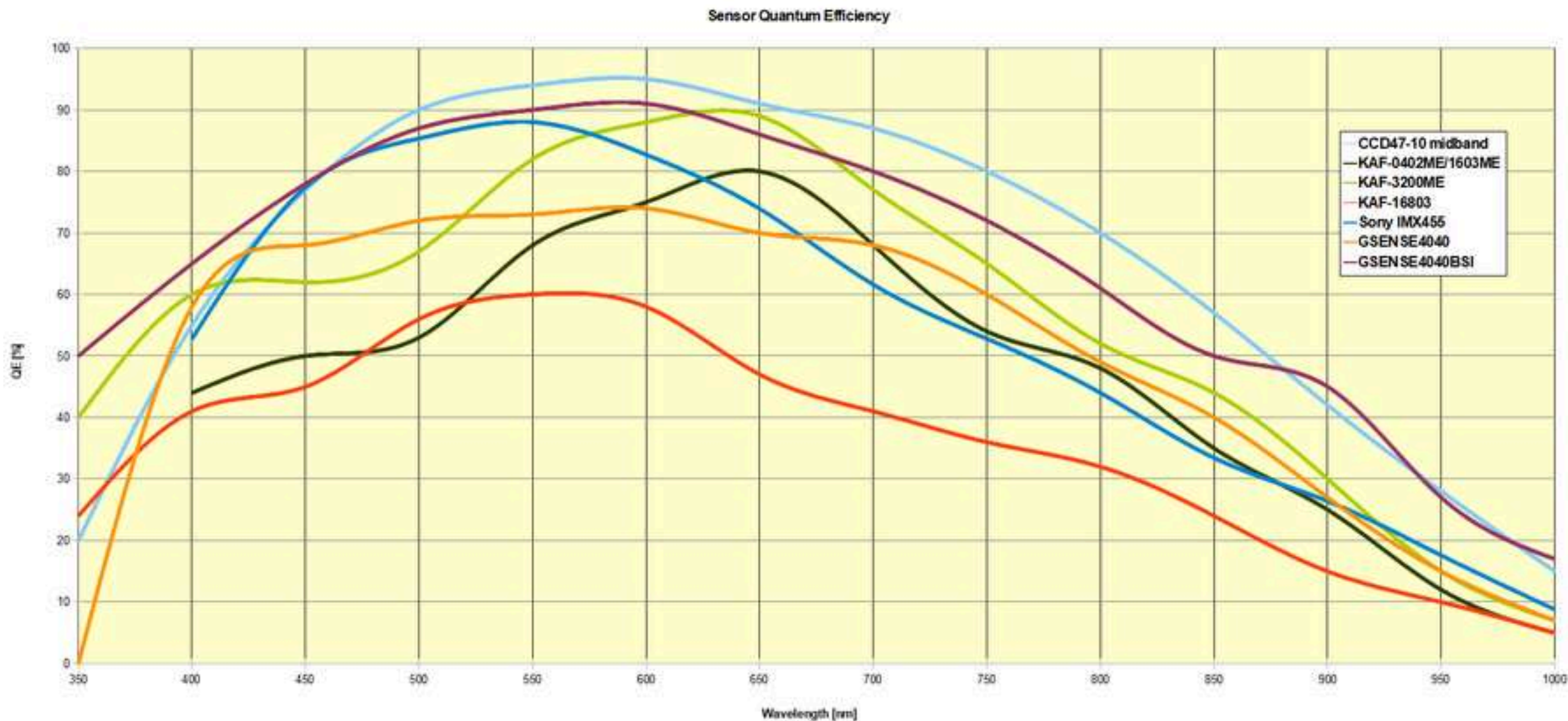
Vlastnosti CCD a CMOS snímačů

- Velmi vysoká **kvantová účinnost** (QE – Quantum Efficiency)
 - Citlivost senzorů v digitálních fotoaparátech se pohybuje kolem 30%
 - QE senzorů používaných v kvalitních astronomických kamerách může být 60 nebo i 80%
 - Zezadu osvětlované čipy mohou dosáhnout QE přes 90 %
- **Lineární odezva** na světlo
 - Lineární odezva je klíčová pro precizní fotometrická měření

Vlastnosti CCD a CMOS snímačů

- Křemíkový čip, na němž je senzor vyroben, má velice **stálé mechanické rozměry**
 - Precizně definované a stálé rozměry dovolují provádět přesná astrometrická měření
- Obrazy pořízené polovodičovými kamerami jsou **datové soubory**, bezprostředně zpracovatelné pomocí počítačů
 - Digitální obraz je okamžitě k dispozici pro zpracování, ať už fotometrické, astrometrické, apod.
 - Digitální snímky mohou být snadno archivovány, rozmnožovány, odeslány kolegům elektronickou poštou, publikovány na WWW apod.

Kvantová účinnost (QE) některých snímačů



Čtecí šum

- Čtecí šum CMOS sensorů Sony IMX4xx je zdaleka nejmenší ve srovnání s jakýmkoliv komerčními CCD nebo CMOS senzory.
 - V režimu minimálního zisku (maximální dynamický rozsah): **3,5 e- RMS**
 - V režimu vysokého zisku: **1,4 e- RMS**
- Čtecí šum některých CCD senzorů:

• KAF-0402ME/KAF-1603ME (G2-0400/G2-1600):	15 e- RMS (13 e- RMS)
• KAF-3200 (G2-3200):	7 e- RMS
• KAF-8300 (G2-8300):	8 e- RMS
• KAF-16803 (G4-16000):	11 e- RMS
• E2V CCD42-40 BSI (G4-4000BI):	4 (3) e- RMS

Kapacita pixelu

- Díky vertikální orientaci mají pixely sensorů IMX4xx přes malý rozměr **3,76×3,76 μm** kapacitu **52800 e-**.
 - Plošná hustota elektronů tak je **3730 e-/μm²**
 - V binningu 2×2 (7,52 μm pixely) je kapacita pixelu 211 200 e-
- Velikosti a kapacity pixelů některých CCD senzorů:

• KAF-1603ME (G2-1600):	9×9 μm	100 000 e-	1230 e-/μm ²
• KAF-3200 (G2-3200):	6,8×6,8 μm	55 000 e-	1190 e-/μm ²
• KAF-8300 (G2-8300):	5,4×5,4 μm	25 000 e-	860 e-/μm ²
• KAF-16803 (G4-16000):	9×9 μm	100 000 e-	1230 e-/μm ²
• CCD42-40 BSI (G4-4000BI):	13,5×13,5 μm	100 000 e-	550 e-/μm ²

Poměr signál/šum (S/N – Signal/Noise)

- S/N senzorů je udáván jak poměr mezi maximální kapacitou pixelu a čtecím šumem:
 - IMX4xx minimální zisk: $52\,800 / 3,51 = 15\,043$
 - IMX4xx minimální čtecí šum: $16\,900 / 1,46 = 11\,575$
 - IMX4xx minimální zisk, binning 2×2: $211\,200 / 7,02 = 30\,085$
- S/N některých CCD senzorů:
 - KAF-1603ME (G2-1600): $100\,000 / 12 = 8\,333$
 - KAF-3200 (G2-3200): $55\,000 / 7 = 7\,857$
 - KAF-8300 (G2-8300): $25\,000 / 8 = 3\,125$
 - 16803 (G4-16000): $100\,000 / 11 = 9\,090$
 - CCD42-40 BSI (G4-4000BI): $100\,000 / 4 = 25\,000$

Temný proud

- Temný proud (e-/s/px) senzorů IMX4xx není výrobcem (Sony) udáván.
 - Změřit temný proud lze jen obtížně (měřením rozptylu), protože CMOS sensory udržují konstantní, v registrech nastavený, offset snímku.
- Sensory IMX4xx je možno „uspat“ nejen mezi snímky, ale i během delších expozic (sekundy a více).
 - Odpadá tedy jedna z hlavních nevýhod CMOS senzorů proti CCD – CMOS senzor bývá neustále a rychle pracující elektronický obvod, oproti zcela pasivnímu kousku křemíku jako je CCD v době integrace, a generuje tedy mnohonásobně více tepla.
 - Sensory IMX4xx mohou integrovat řadu minut při pokojové teplotě, aniž by temný proud významněji ovlivnil poměr signál/šum, což už většina CCD detektorů nedokáže.

Čas stažení snímku

- Čas stažení snímků kamer C1x, C3 a C5:

• C1x/C3-61000:	0,44 s (USB3)	2,73 s (USB2)
• C1x/C3-61000 (HW binning 2 × 2):	0,30 s	0,69 s
• C5-150M:	0,95 s	6,80 s
• C5-150M (HW binning 2 × 2):	0,49 s	1,71 s
- Čas stažení snímků některých CCD kamer:

• G2-0400:	0,61 s (Mark I)	0,25 s (Mark II)
• G2-1600:	2,36 s	0,95 s
• G2-3200:	4,94 s	1,95 s
• G2-8300:	12,69 s	4,95 s
• G4-16000:	25,00 s	10,03 s

Modely senzorů IMX4xx v porovnání s některými CCD a CMOS snímači

- **IMX571**

- 26 MPx
- 24 × 16 mm (APS)

- **IMX455**

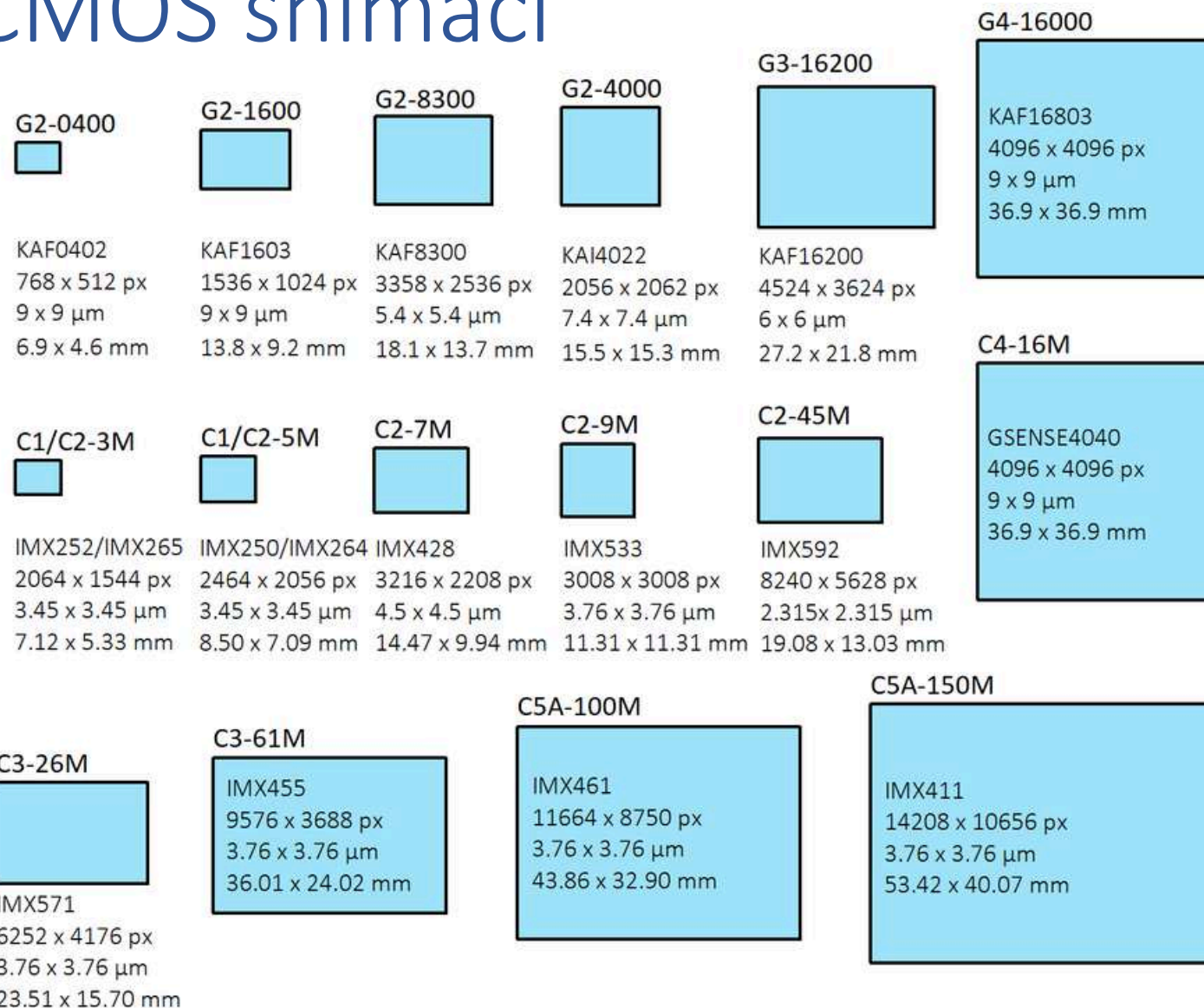
- 61 MPx
- 36 × 24 mm (Full-Frame)

- **IMX461**

- 100 MPx
- 44 × 33 mm

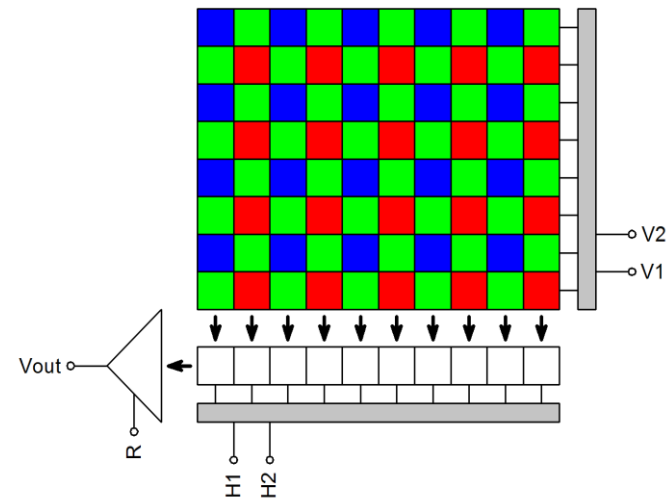
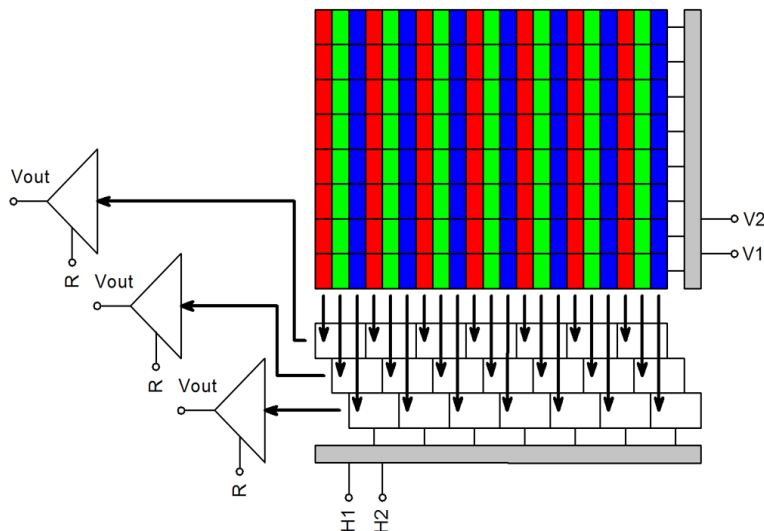
- **IMX 411**

- 150 MPx
- 53 × 40 mm

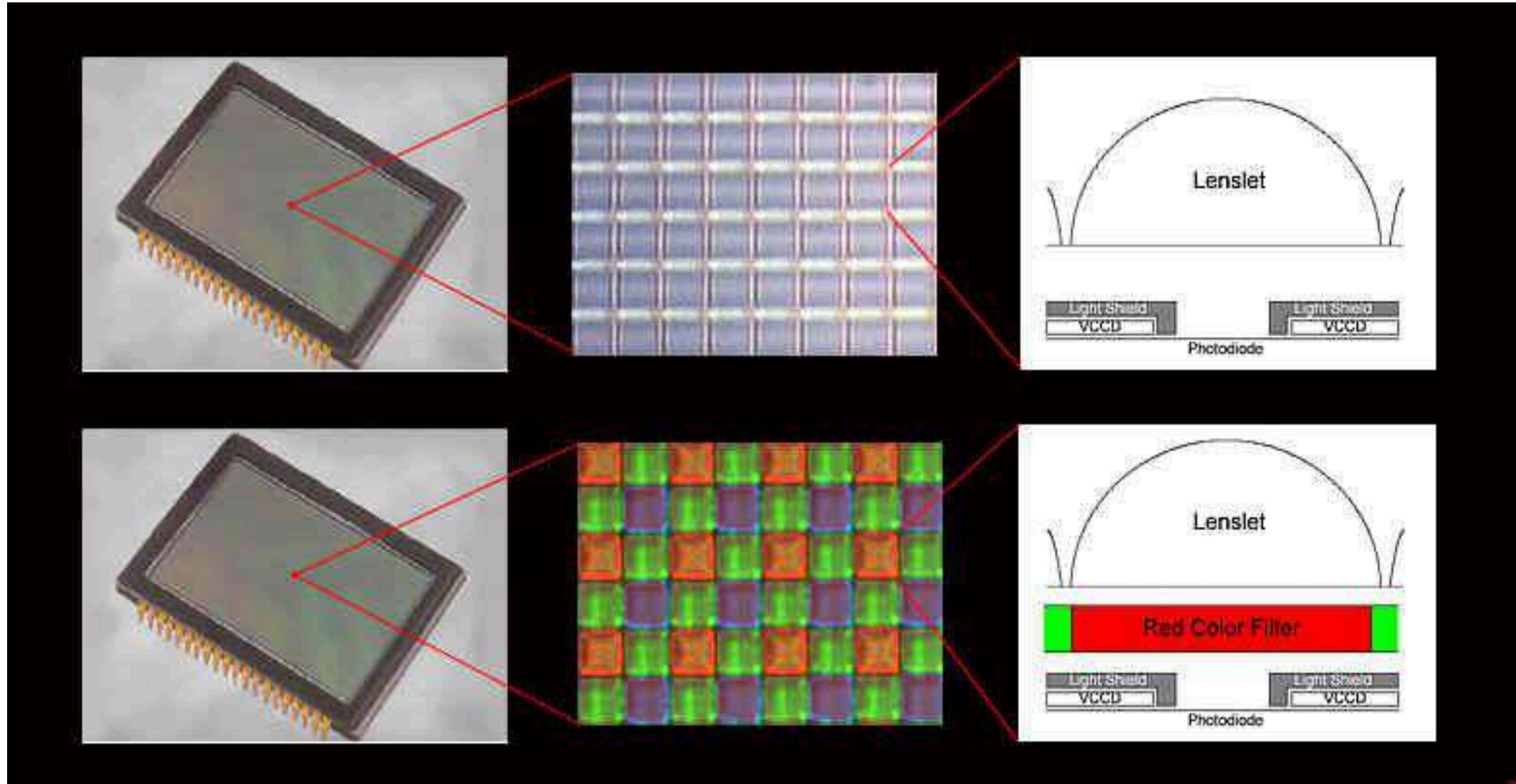


Zachycení barev

- V principu lze filtry k vytvoření barevného obrazu použít dvěma způsoby:
 - Je možné exponovat samostatné snímky s monochromním čipem přes červený, zelený a modrý filtr
 - Je také možné aplikovat filtry přímo na CCD pixely, barevný obraz je pak možné získat jedinou expozicí

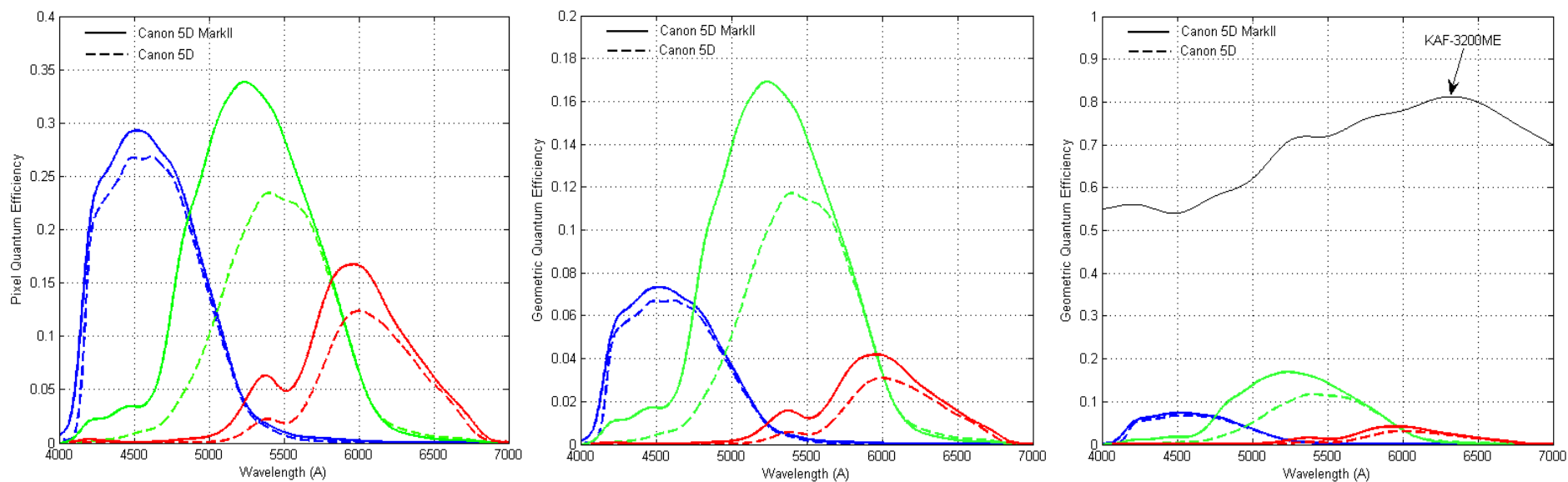


Monochromní a barevná verze čipu KAI-11002



Omezení rozlišení a citlivosti

Porovnání pixelové a geometrické kvantové účinnosti DSLR (Canon EOS 5D) a CCD kamery (KAF-3200ME):



Barevné a monochromní snímače v astronomii

- Monochromní čip může s použitím filtrů vytvořit barevný obraz
 - Tento obraz je zpravidla vyšší kvality než obraz z barevného čipu
 - Ovšem pouze u statických (nepohyblivých) objektů
- Barevný čip může vytvořit monochromní obraz jen za cenu ztráty rozlišení a omezení citlivosti
- Barevný CCD čip má jednu pevnou masku barevných filtrů bez možnosti filtry měnit nebo zcela odstranit
 - Řada aplikací vyžaduje snímání bez filtrů s maximální citlivostí a barevná informace není podstatná.

Barevné a monochromní snímače v astronomii

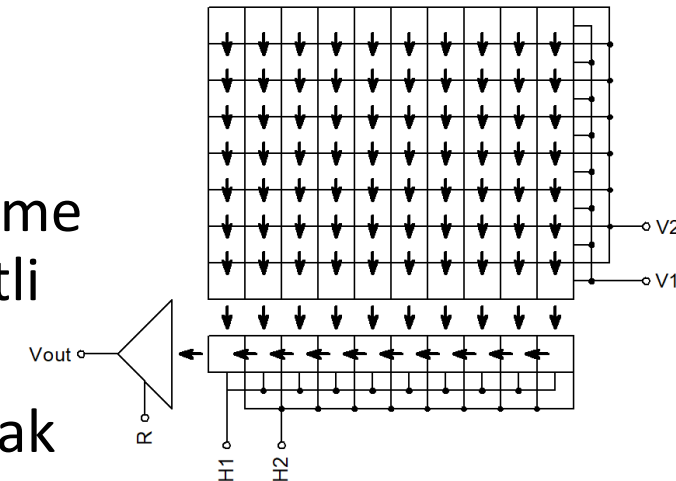
- Monochromní čip může pořizovat úzkopásmové snímky v čáře $H\alpha$, OIII, SII apod.
- Profesionálové preferují standardní sadu (U)BVRI filtrů pro fotometrická měření
- Barevné čipy mají menší kvantovou účinnost než monochromní senzory
- Barevné senzory nedovolují použít binning
 - Binning by pomíchal pixely různých barev a barevná informace by byla ztracena
 - Naopak pro vytvoření monochromního snímku se často sečtou sousední barevné pixely

Binning

- Pojmem „binning“ rozumíme slučování vedlejších pixelů
 - Binning tedy „zvětšuje“ pixely na úkor rozlišení kamery
- Binning může být symetrický (2×2 , 3×3 , ...) nebo asymetrický (1×2 , 2×1 , ...)
- Binning může být realizován více způsoby:
 - Binning u CCD senzorů realizuje elektronika kamery, ne senzor sám
 - CMOS senzory mohou, ale nemusí, podporovat binning přímo v HW senzoru
 - Vždy lze binnovat programově v aplikaci, ovladači kamery, μC nebo FPGA kamery atd. (senzor je přečten v plném rozlišení)

Binning u CCD senzorů

- HW binning je u CCD realizován fyzickým sléváním balíčků náboje
 - Vertikální binning – do horizontálního registru CCD přesuneme více řádků, aniž bychom mezi tím horizontální registr přečetli (vymazali)
 - Horizontální binning – do výstupního uzlu přesuneme více jak jeden pixel horizontálního registru, aniž bychom mezi tím výstupní uzel resetovali (nastavili na referenční úroveň napětí)
- Binning tedy realizuje obslužná elektronika kamery způsobem řízení CCD sensoru, nikoliv senzor sám
 - Možnosti binningu (symetrický/asymetrický, maximální počet poxelů, ...) tedy definuje návrhář kamery



Binning u CMOS senzorů

- CMOS senzory podporují HW binning založený na stejných principech jako je tomu u CCD jen výjimečně
 - Např. GSENSE 4040, omezení na 2×2, špatná kvalita binnovaných snímků
- Často HW binning CMOS senzorů respektuje Bayerovu masku, a to i u monochromních senzorů (HW senzoru je jen jeden)
 - Princip binningu ale není zveřejněn, může jít o binnování už digitalizovaných pixelů, tedy technicky o SW binning
- Binning u CMOS senzorů je téměř výhradně programový (SW binning)
- Programový binning dává volnost volby operací prováděných s jednotlivými pixely (sčítání, průměrování, ...)

Programový binning

- U CMOS senzorů s plně 16-bitovým převodem sčítání hodnot pixelů znamená omezení dynamického rozsahu
 - Pouze $\frac{1}{4}$ maximální kapacity v každém z 2×2 sčítaných pixelů vede na saturování výsledného pixelu
 - U těchto senzorů je proto výhodnější binnované pixely nesčítat ale průměrovat
- U CMOS senzorů s méně jak 16-bitovým převodem sčítání hodnot pixelů naplní dynamický rozsah pixelu bez ztráty dynamického rozsahu
 - Sečtením 4 pixelů (binning 2×2) s hloubkou 14 bitů vytvoří jeden pixel s hloubkou 16 bitů bez nebezpečí přetečení (saturation)

Sčítání nebo průměrování pixelů?

- Teoreticky je výsledný poměr signál/šum (S/N) binnovaného pixelu stejný bez ohledu na to, jestli jsou pixely sčítány nebo průměrovány
- Příklad binningu 2×2:
 - Pokud sečteme 4 pixely, signál se zvětší 4× a šum se zvětší 2× – tři aditivní operace zvětší šum $\sqrt{(\sqrt{2})^2 \cdot (\sqrt{2})^2}$, výsledný S/N je 2× větší, ale pouze pokud součet všech pixelů nepřeteče kapacity výsledného pixelu.
 - Pokud zprůměrujeme 4 pixely, signál zůstane stejný, ale šum se zmenší na ½, protože i šum je průměrován $\frac{1}{4} \cdot \sqrt{(\sqrt{2})^2 \cdot (\sqrt{2})^2}$. Výsledný S/N je opět 2× větší, ale pouze pokud šum neklesne pod teoretické minimum 1 bitu dynamického rozlišení.

Omezení S/N v teorii a praxi

- Šum pozadí snímku je jen výjimečně určen čtecím šumem senzoru/kamery
- Typicky je čtecí šum převážen dalšími vlivy
 - Jasem oblohy, zejména pokud jsou používány širokopásmové nebo žádné filtry
 - Temným proudem, zejména u dlouhých expozic
- Při vyšším šumu pozadí je výhodnější pixely průměrovat, zejména u kamer s 16 bitovou dynamikou.
 - Zabráníme tím saturaci a šum pozadí neklesne pod kvantizační limit 1 bitu.

Binning a saturace

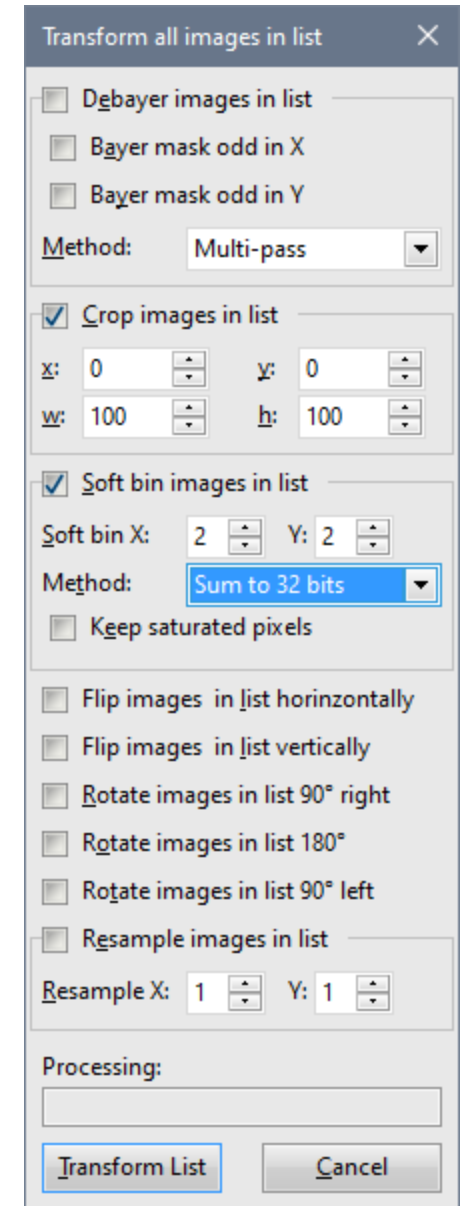
- Saturovaný pixel **znehodnotí** fotometrické měření
 - Nelze zpětně určit, kolik signálu z pixelu přeteklo
 - SIPS proto zneplatní každé měření, u kterého je v apertuře proměnné nebo srovnávací hvězdy saturovaný pixel
- Ale během binnování (sčítáním i průměrováním) je **informace** o tom, že nějaký pixel dosáhl saturační úrovně, **ztracena**
 - S výjimkou kdy všechny binnované pixely jsou saturovány
- Použití binningu ve výzkumných aplikacích (fotometrie a astrometrie) tedy může vést k chybám

Respektování saturace během binningu

- Pokud je binning realizován v CCD fyzickým sléváním nábojů, nelze saturaci v některém z binnovaných pixelů detekovat
- Programový binning (ve firmware kamery, v ovladači, v aplikaci) ale v principu dovoluje indikovat saturaci každého pixelu saturováním výsledného pixelu
- Kamery firmware kamer Cx, jejich ovladače i SIPS dovolují zvolit respektování saturace při binningu
 - Pro estetickou astro-fotografii je vhodnější tuto volbu vypnout
 - U fotometrických měření ale tato volba zabraňuje chybám měření u jasných hvězd

Programový binning v aplikaci (SIPS)

- Snímky stažené z kamery v plném rozlišení je možné binovat až během jejich zpracování
- SIPS podporuje všechny režimy binnování nabízené HW kamer Cx i jejich ovladači
 - Sčítání i průměrování pixelů
 - Respektování saturace
- Navíc SIPS dovoluje binovat do 32-bitových FITS
 - Sečtení pixelů do 32 bitů eliminuje možnou ztrátu dynamického rozsahu saturací (při sčítání) nebo podtečením šumu pod 1 bit (při průměrování)



Kdy používat binning?

- Binning zvětší velikost pixelu a zmenší rozlišení kamery
- Binning má smysl, pokud by snímky v plném rozlišení byly převzorkované
 - Tedy pokud by FWHM hvězdy přesáhl desítky (deset?) pixelů
- Pokud je FWHM hvězdy $< \sim 10$ pixelů, je výhodnější rozlišení nezmenšovat binningem
 - Obraz hvězdy promítnutý na více pixelů lépe eliminuje náhodné odchylky mezi pixely
 - Je možné přesněji určit centroid (polohu) hvězdy

Blooming a ABG u CCD

- Blooming (rozkvétání) byl efekt spjatý s CCD senzory bez ABG (Anti-Blooming Gate)
 - Příliš velký náboj v pixelech přetéká do okolních pixelů
- Přítomnost ABG byla u prvních CCD senzorů spojena s porušením linearity
 - Proto byly CCD s ABG vědeckou komunitou plošně odmítány
 - Odmítání často pokračovalo i v době, kdy CCD s ABG vykazovaly velmi dobrou linearitu

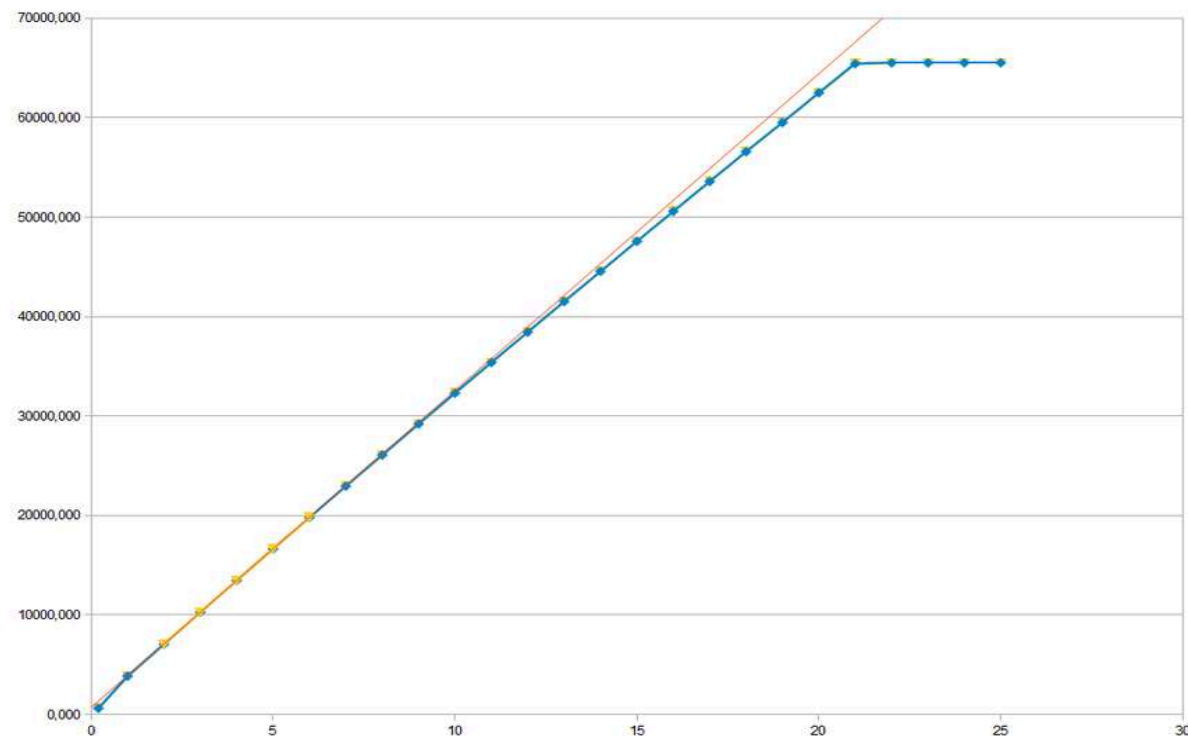
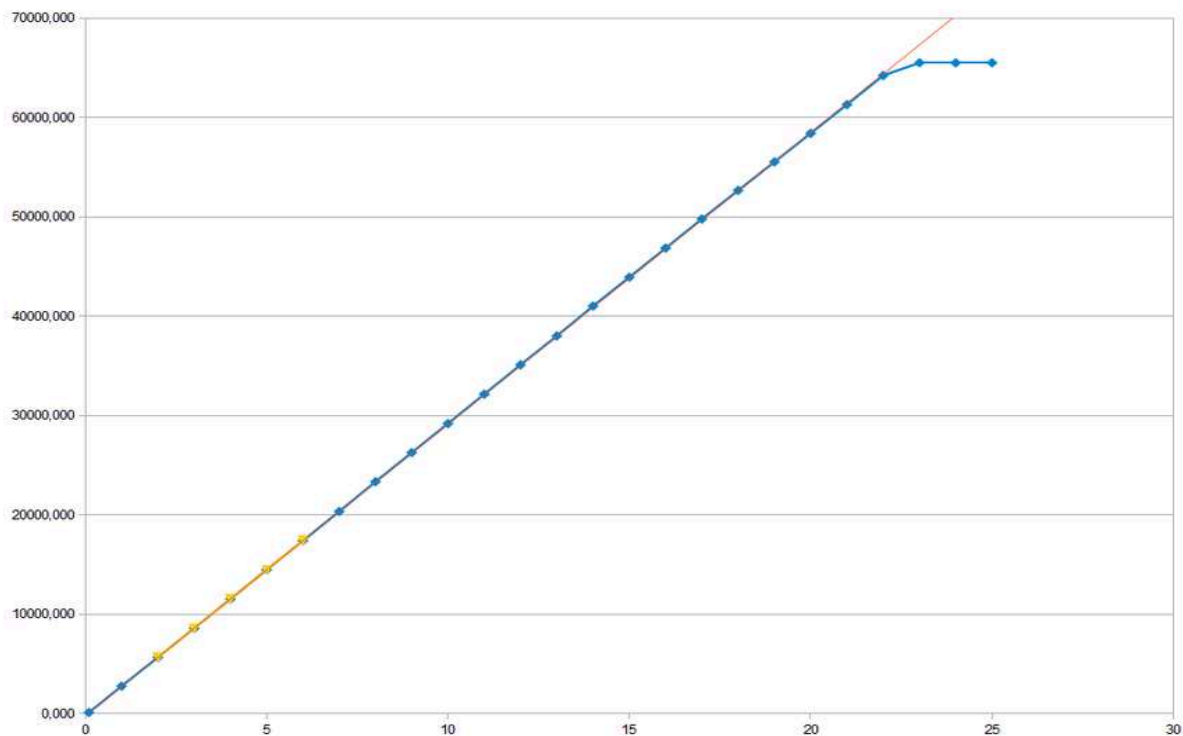


Linearita CCD senzorů

- Pro přesná fotometrická měření potřebujeme, aby závislost mezi množstvím dopadajícího světla a velikostí signálu přečteného z CCD byla lineární s co možná nejvyšší přesností
 - Filmová emulze, používané před érou CCD i k fotometrickým měřením, je velmi silně nelineární
- Za dostatečně lineární je považována odezva s odchylkou do 1% v rámci dynamického rozsahu kamery
 - Některé moderní CCD jsou dostatečně lineární bez ohledu na přítomnost ABG

KAF-1603 (vlevo) vs. KAF-16200 (vpravo)

- Linearita CCD závisí na intenzitě ABG

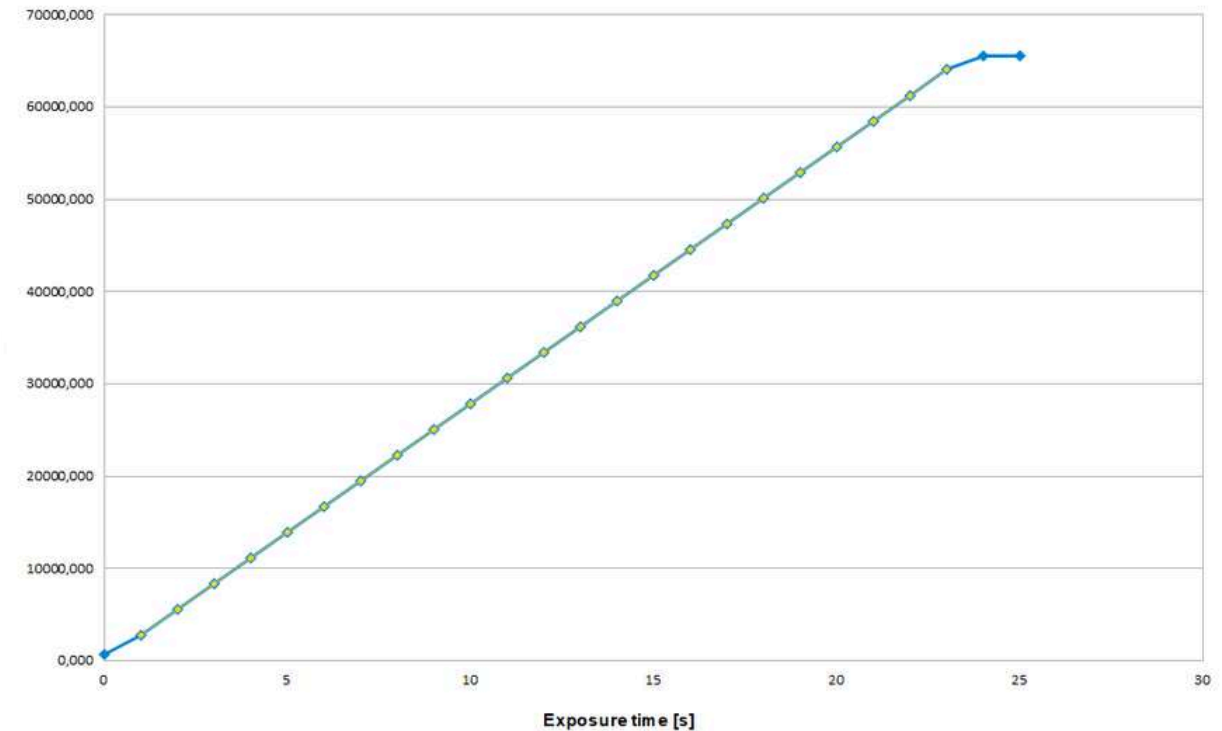
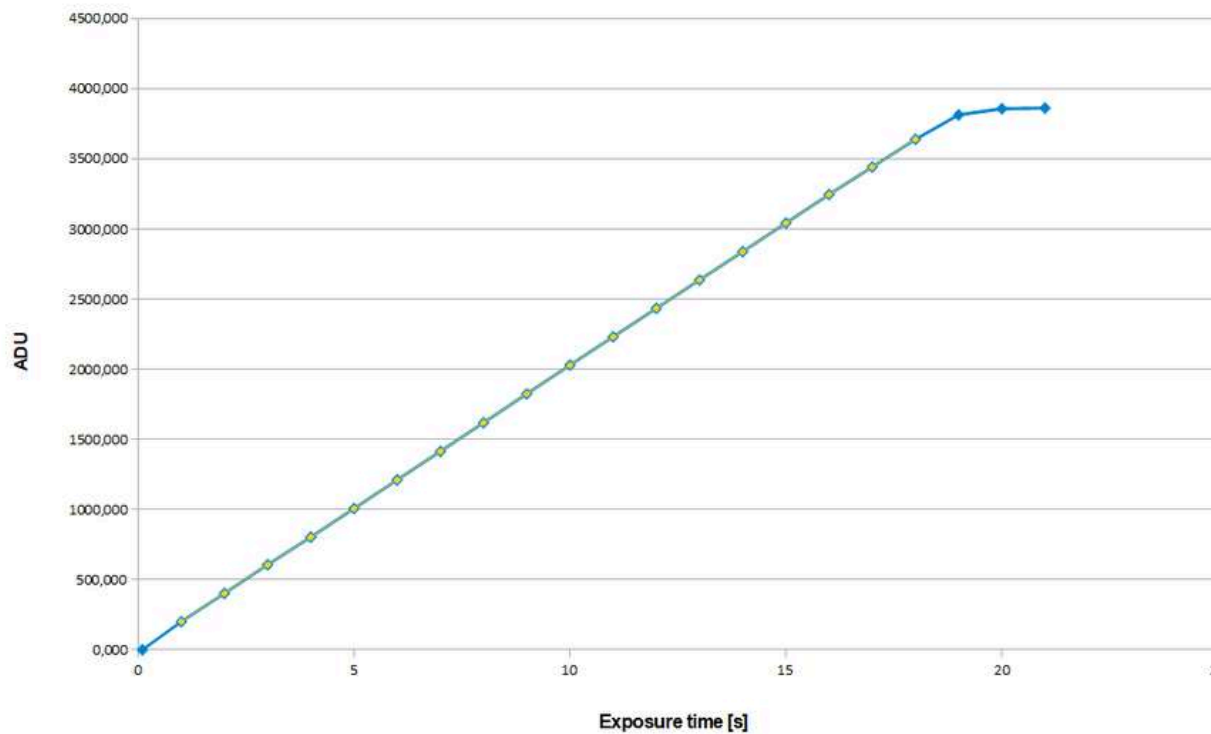


Linearita CCD

- Full-Frame CCD bez ABG bývají typicky lineární
 - KAF-0402ME, KAF-1603ME
- U CCD s ABG závisí linearita na intenzitě ABG (udávané v násobcích saturačního signálu)
 - KAF-16803: $ABG = 100 \times$ saturační signál
 - KAI-4022: $ABG = 300 \times$ saturační signál
 - KAF-8300: $ABG = 1000 \times$ saturační signál
 - KAF-16200: $ABG = 2800 \times$ saturační signál

Linearita CMOS senzorů

- CMOS sensory, bez ohledu jestli 12, 14 nebo 16-bit, jsou zcela lineární



Temný proud (dark current)

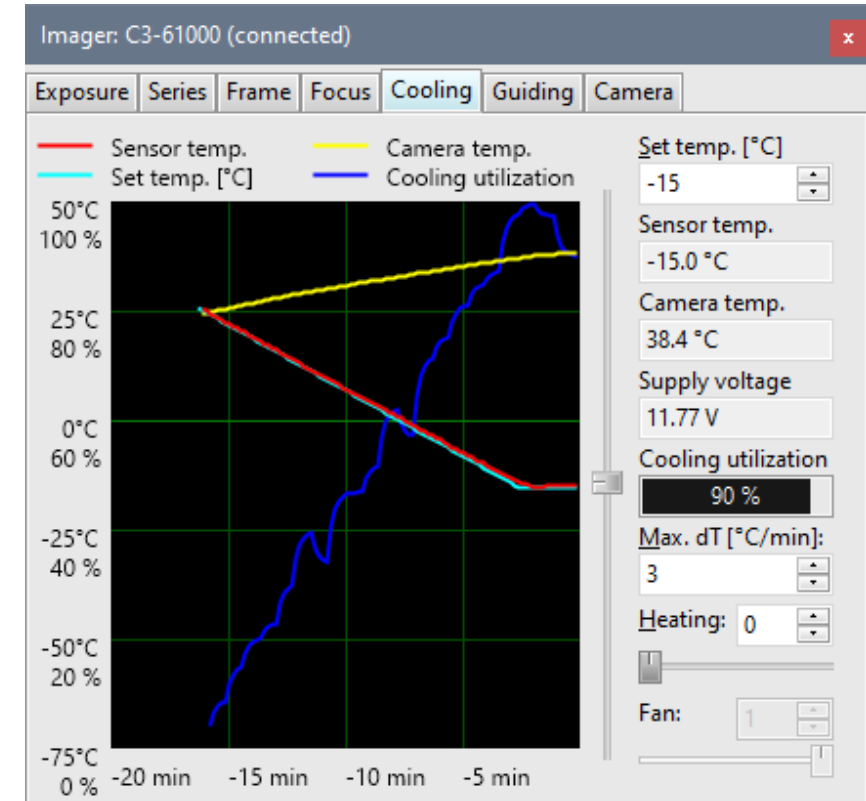
- Nevýhoda CCD/CMOS technologie je fakt, že elektrony vznikají v pixelech nejen v důsledku dopadajícího světla, ale také náhodně v závislosti na okolní teplotě
 - Tento tepelně generovaný náboj bývá nazýván **temný proud** (generuje signál, i když čip je zcela ve tmě)
 - Temný proud závisí nejen na okolní teplotě, ale i na velikosti pixelu, architektuře čipu a výrobní technologii
- Temný proud je obvykle vyjádřen v elektronech za sekundu na pixel při definované teplotě
 - Např. CCD detektor Kodak KAF-1603 produkuje $\sim 1 \text{ e}^-/\text{s}$ na pixel při 0°C

Temný snímek – obraz temného proudu

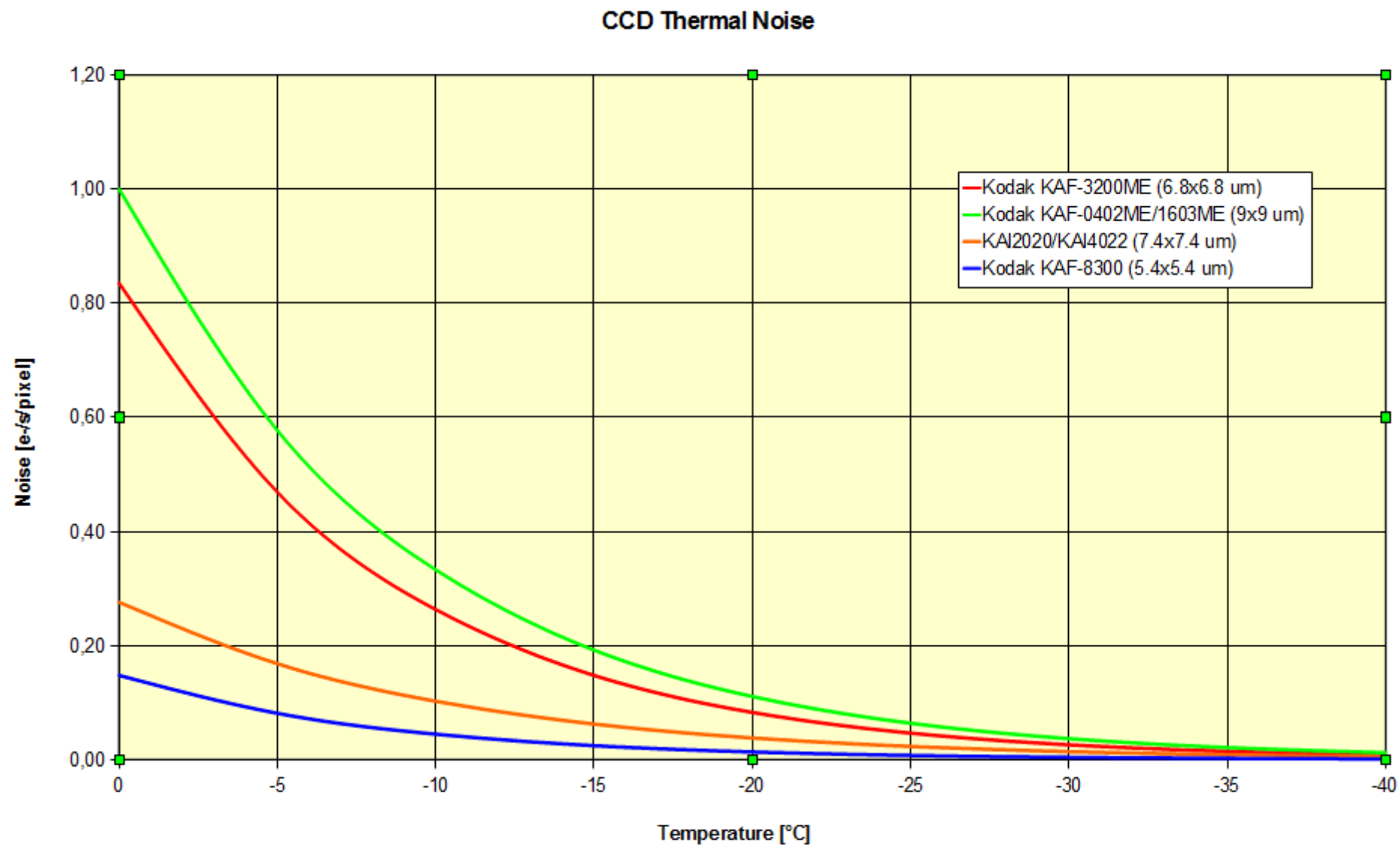
- Temný proud je za daných podmínek stále stejný (nebo velice podobný)
 - Snímek astronomického objektu obsahuje signál generovaný osvětlením i signál generovaný temným proudem
 - Ta samá expozice, ale s uzavřenou závěrkou, bude obsahovat pouze signál generovaný temným proudem – **temný snímek** (anglicky **dark frame**)
 - Poté je možné oba snímky odečíst a tím obraz generovaný temným proudem vyrušit
- Protože rozptyl signálu odpovídá $\sqrt{\text{signálu}}$, odečtení temného proudu nikdy nefunguje na 100%

Temný proud závisí na teplotě

- Závislost temného proudu na teplotě je exponenciální
 - Zdvojnásobuje se s každými $\sim 6-7^{\circ}\text{C}$ (podle typu senzoru)
- Proto je důležité regulované chlazení senzoru
 - Regulace udržuje stejnou teplotu senzoru a dovoluje pořídit reprodukovatelné temné snímky



Temný proud CCD senzorů

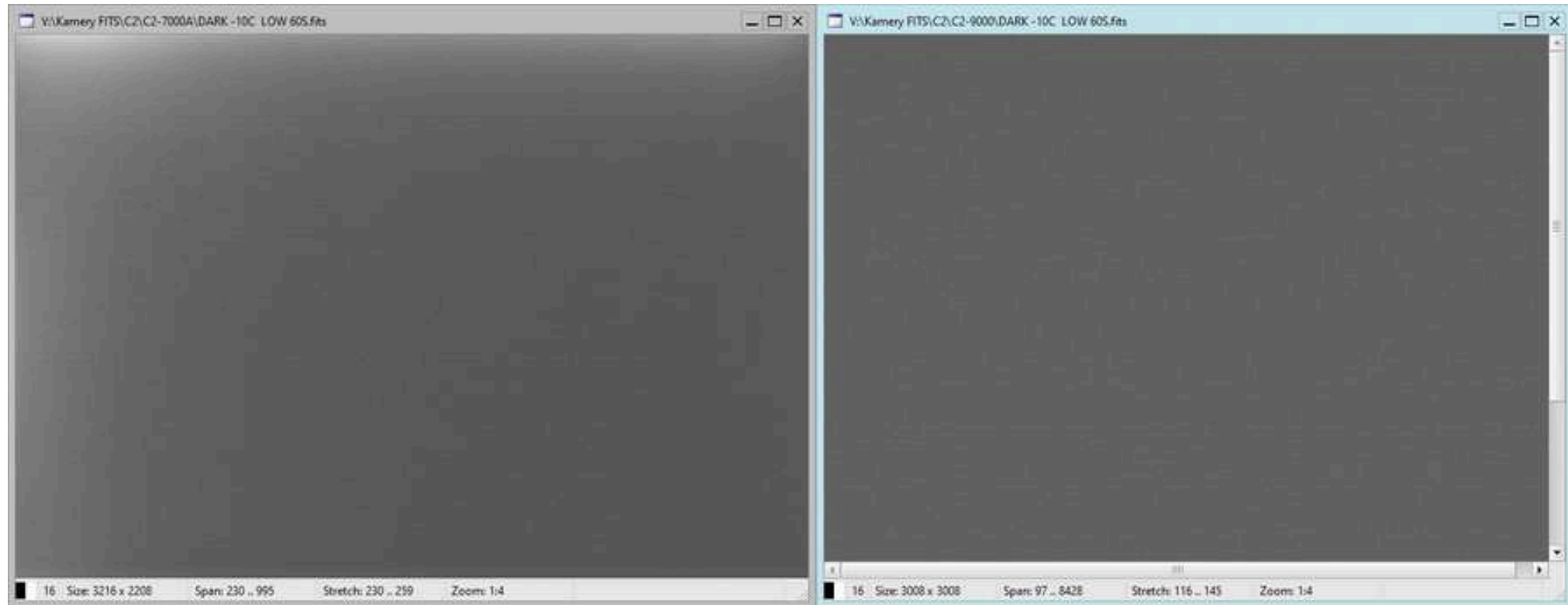


Temný proud CMOS senzorů

- CMOS senzory jsou rychle pracující digitální obvody, generující **odpadní teplo**
 - CCD senzor je během integrace pouze pasivní kus křemíku.
- Moderní CMOS senzory bývají vybaveny mechanismy významně šetřícími tepelné ztráty a tedy omezujícími temný proud (uspávání)
- Temný proud CMOS senzorů je jen obtížně měřitelný
 - Střední hodnota snímku CMOS senzoru neroste s temným proudem, senzor ji trvale udržuje na přednastavené hodnotě
 - Temný proud tedy lze odvodit pouze z nárůstu rozptylu

Elektroluminiscence CMOS senzorů

- Elektroluminiscence (Amplifier Glow) je průvodní jev CMOS senzorů s globální závěrkou (C2-7000 vlevo, C2-9000 vpravo)



Elektronická závěrka CMOS senzorů

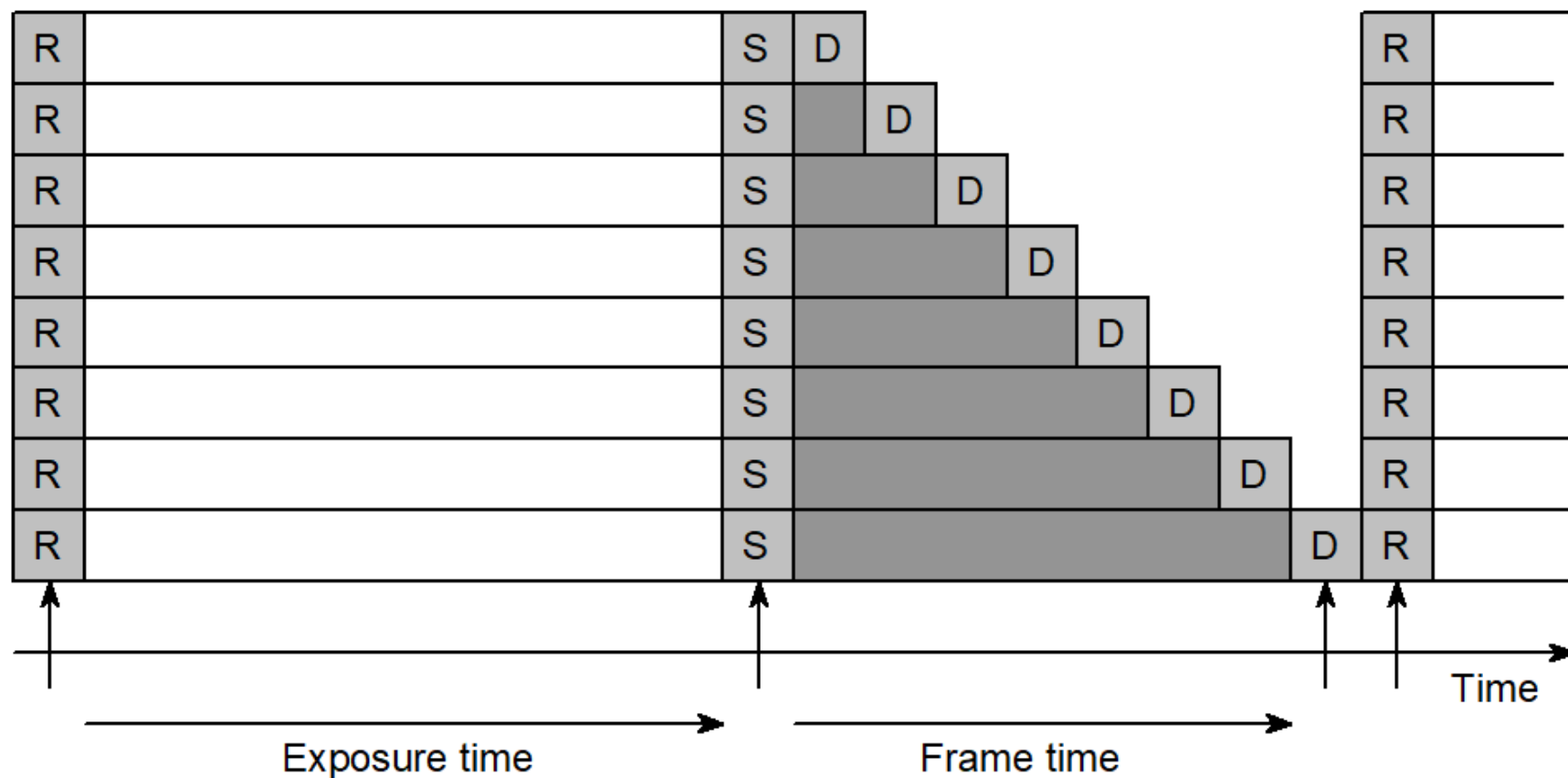
1. **Global shutter** (globální závěrka)

- Všechny pixely jsou exponovány v jediný okamžik, rychle s pohybující objekty nedeformují obraz.
- Senzory často vykazují citelnou elektroluminiscenci („amplifier glow“).
- Není možno sériové snímání (překryv expozice a digitalizace) → menší FPS

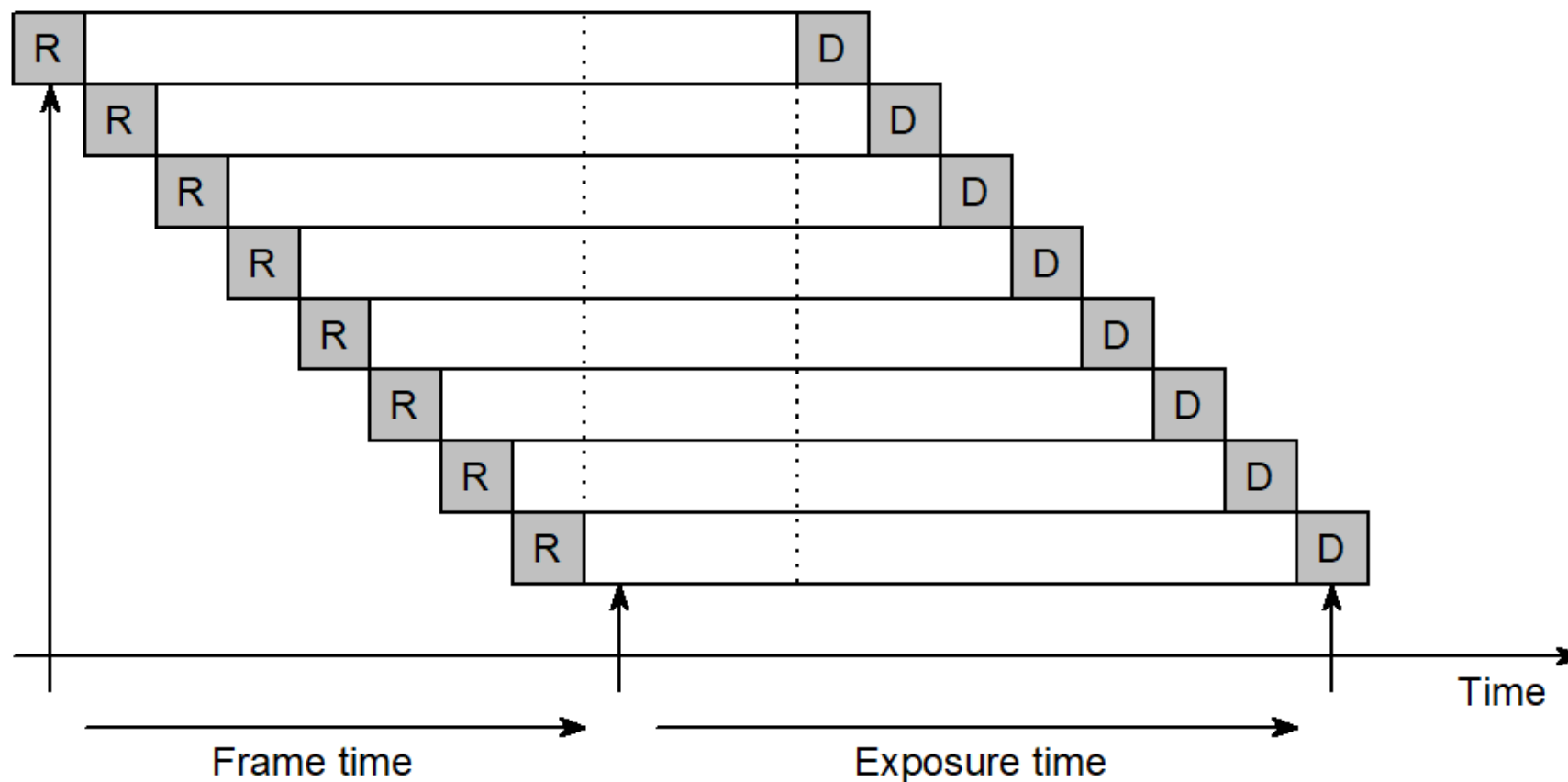
2. **Rolling shutter** (rolující závěrka)

- Začátek i konec expozice řádků je posunut v čase.
- Rychle se pohybující objekty jsou deformovány.
- Senzory netrpí „amplifier glow“.
- Dovolují sériové snímání (časové překrývání expozice a digitalizace) → vyšší FPS

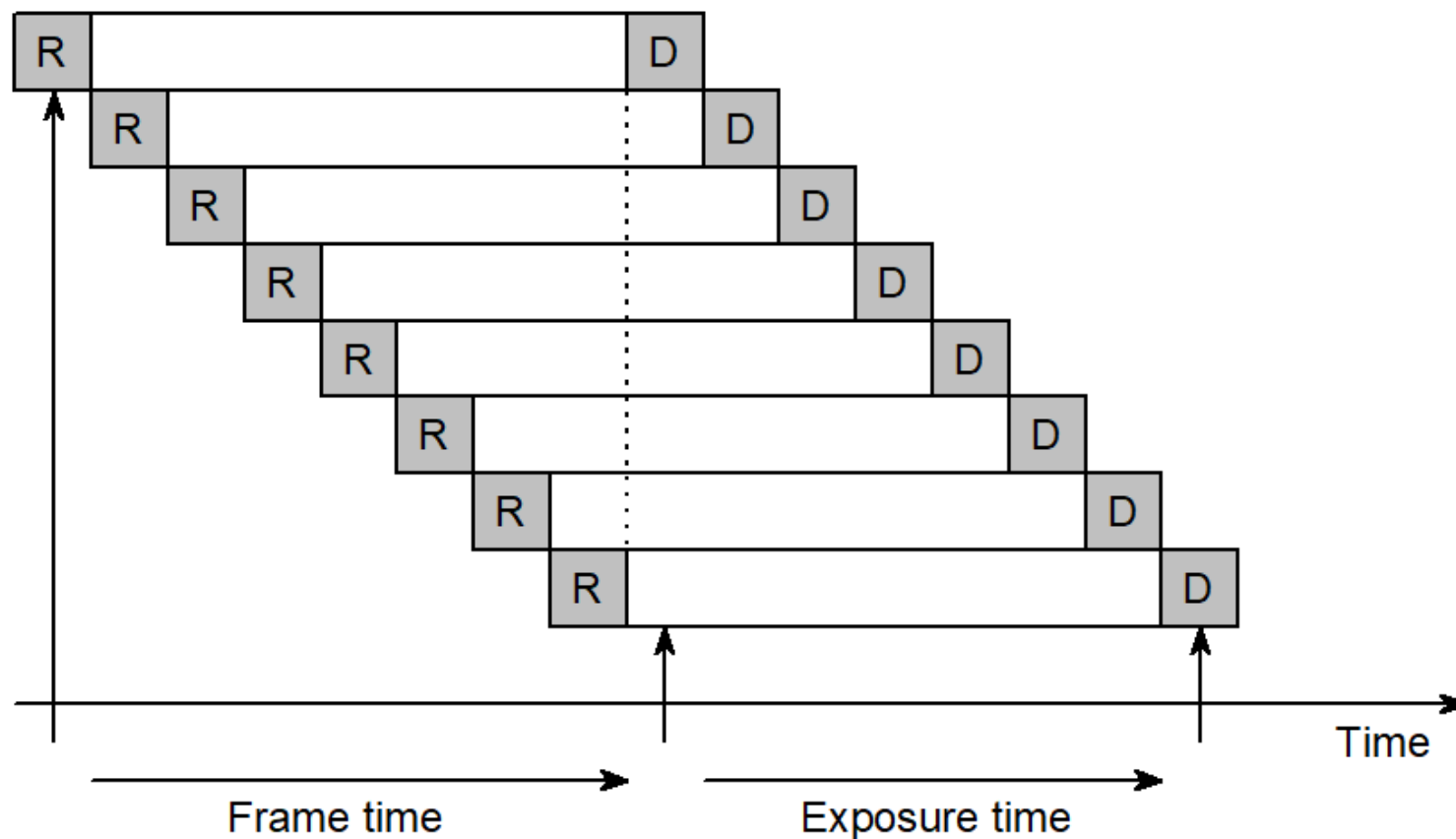
CMOS senzor s globální závěrkou



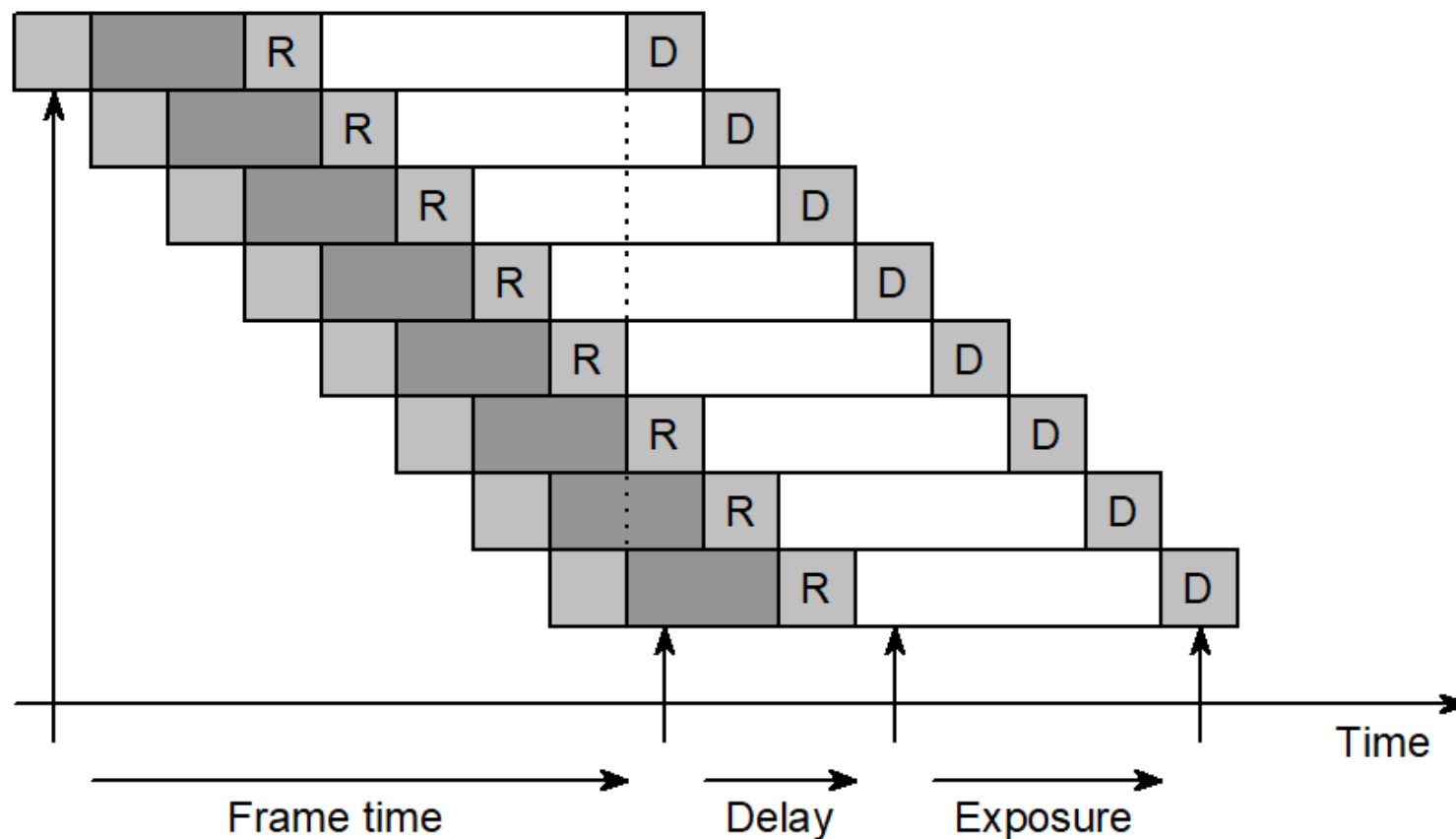
CMOS senzor s rolující závěrkou, $T_{\text{exp}} > T_{\text{frame}}$



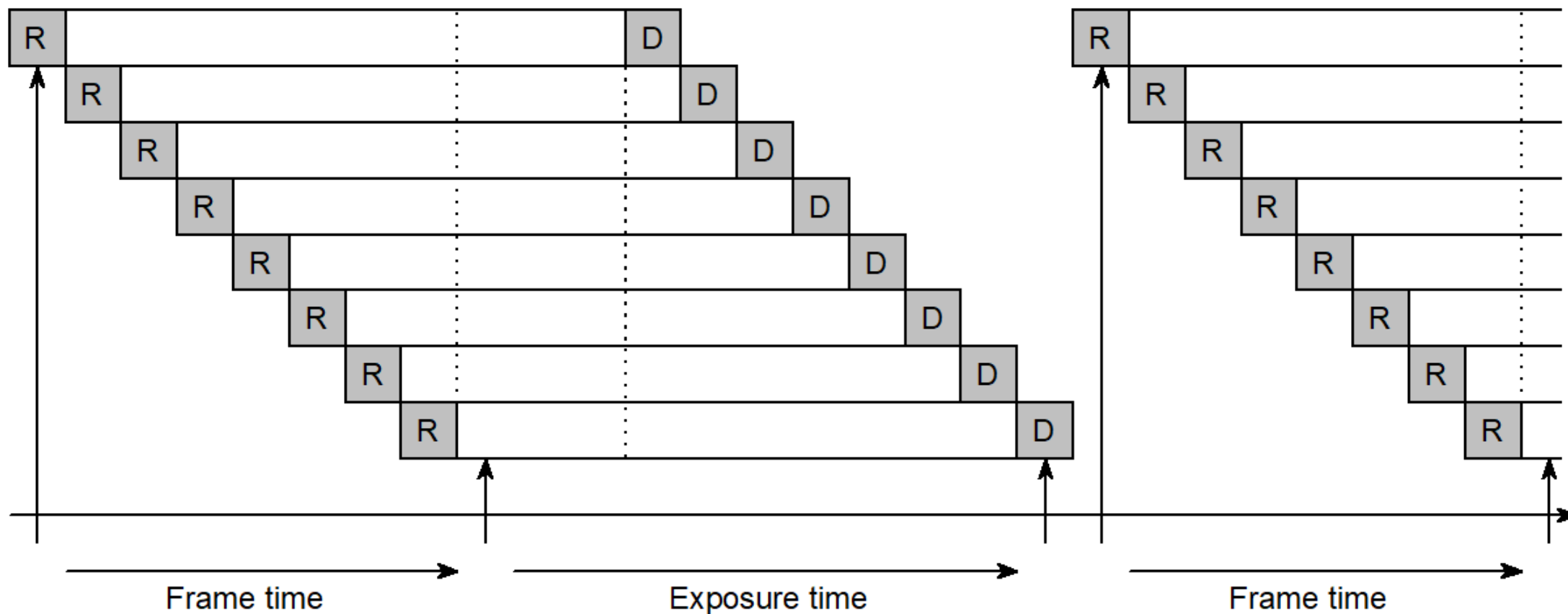
CMOS senzor s rolující závěrkou, $T_{\text{exp}} = T_{\text{frame}}$



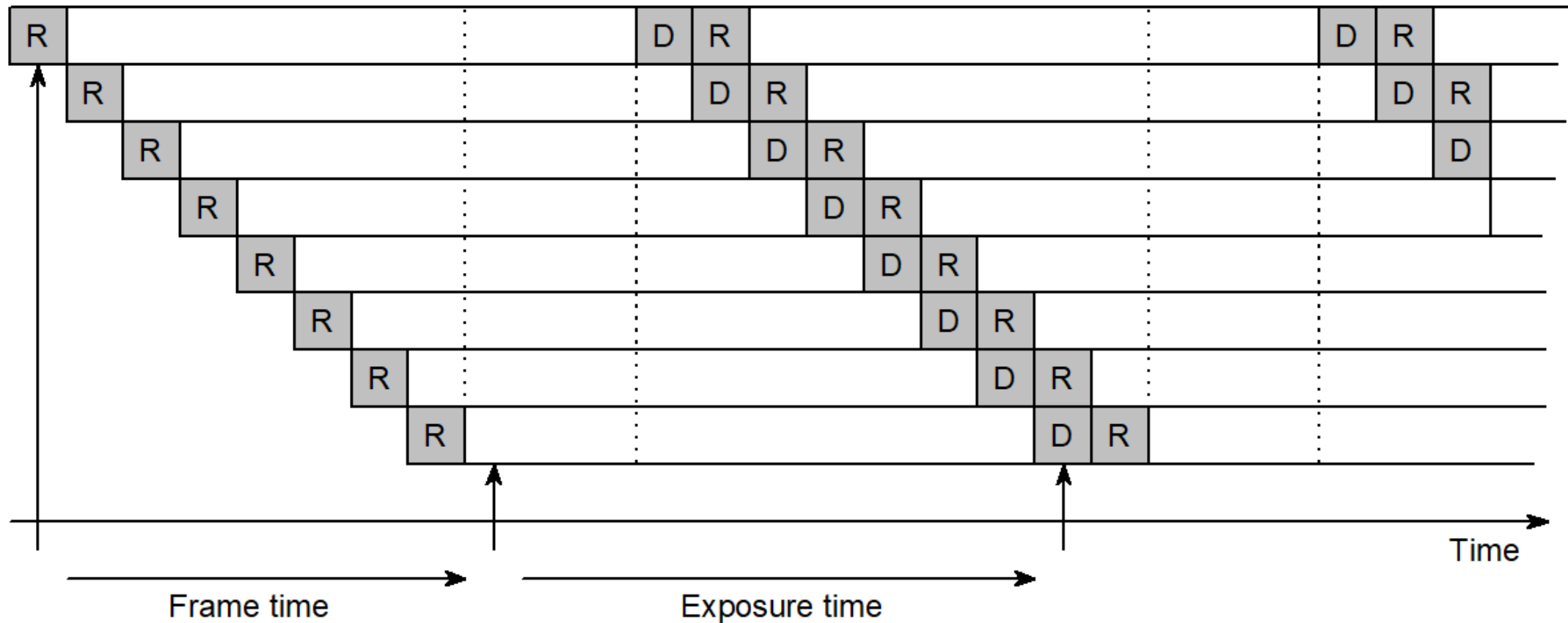
CMOS senzor s rolující závěrkou, $T_{\text{exp}} < T_{\text{frame}}$



CMOS senzor s rolující závěrkou, řazení individuálních expozic

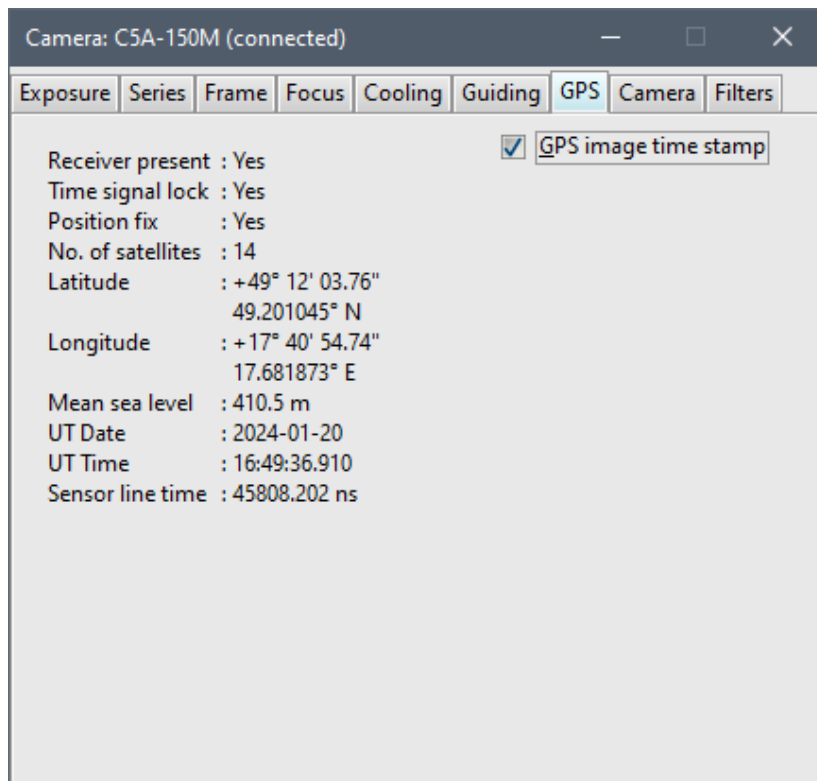


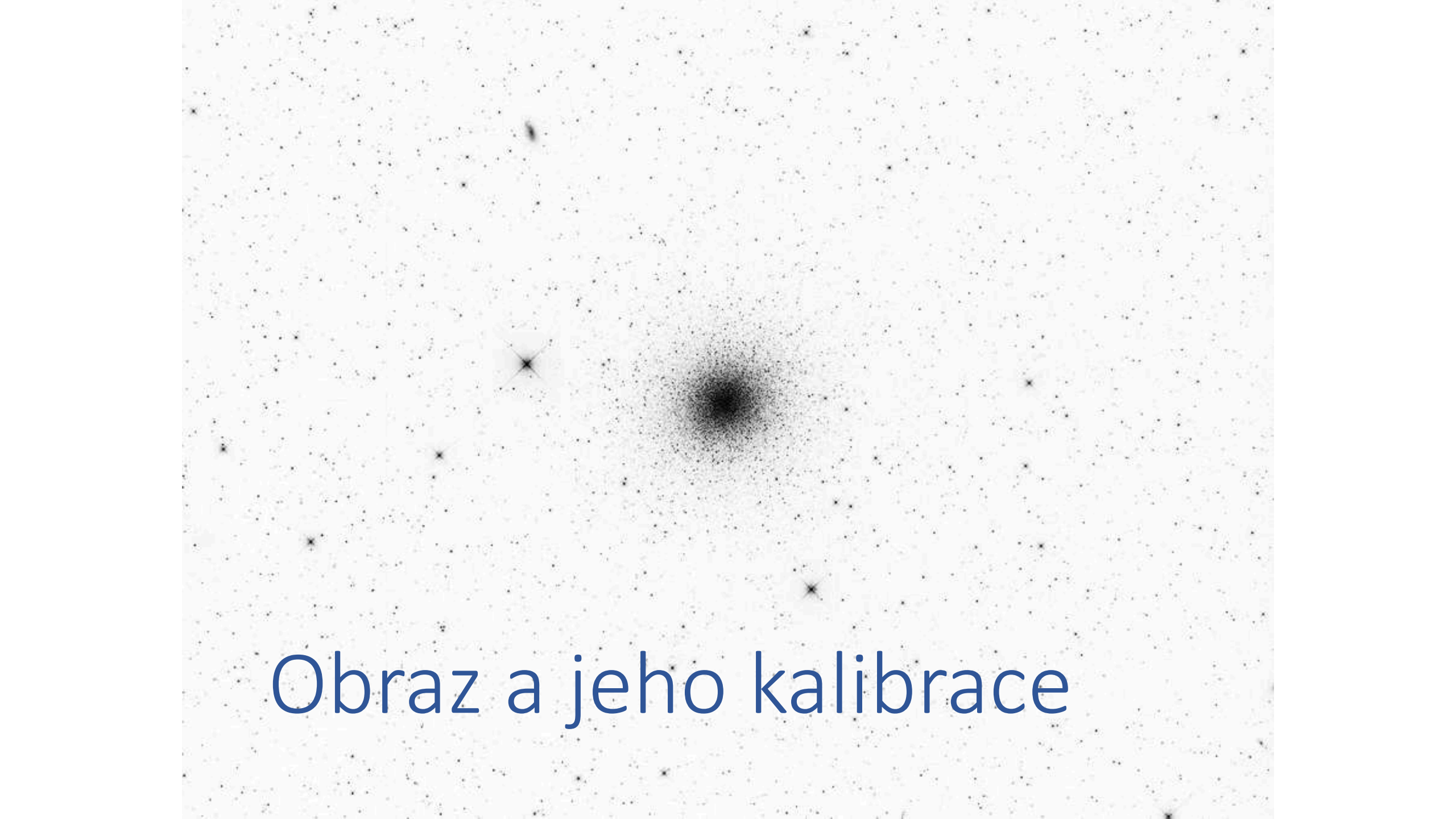
CMOS senzor s rolující závěrkou, řazení sériových expozic



Kamery s GPS přijímači

- GPS přijímač v kameře dovoluje označit čas expozice s přesností $\sim 1 \mu\text{s}$
- U CMOS s rolující závěrkou je třeba čas každého řádku přepočítat



A grayscale astronomical image showing a dense field of stars. In the center, there is a prominent, dark, circular cluster of stars, likely a galactic core or a dense star cluster. The surrounding area is filled with numerous individual stars of varying brightness, some appearing as sharp points and others as slightly blurred disks. The overall distribution of stars is more sparse in the outer regions, creating a radial gradient of density.

Obraz a jeho kalibrace

Data z kamery

- Obraz stažený z kamery je matice čísel, reprezentující osvětlení jednotlivých pixelů
- Rozsah čísel je dán elektronikou
 - 12-14 (někdy i 16) bitů u CMOS kamer
 - 16 bitů u CCD kamer
 - >16 bitů u snímků sečtených, programově binnovaných atd.
- Software v PC dovoluje získat ze snímku požadovaná data
 - Informace o poloze objektů na obloze (astrometrie)
 - Informace o jasů objektů (fotometrie)

Formát FITS (Flexible Image Transport System)

- Historický formát založený ještě na děrných štítcích
 - Hlavička se skládá z bloků 36 řádků po 80 znacích
- Velice flexibilní, dovolující uložit n-rozměrné matice řady numerických typů (celá čísla, plovoucí čárka)
- Kromě několika předepsaných položek dovoluje hlavička definici libovolných uživatelských parametrů
- Absence standardizace těchto parametrů vede na spoustu problémů s kompatibilitou, např.:
 - expozice: EXPTIME, EXPOSURE
 - úhlová velikost pixelu: SECPIX, SECPPIX, PIXSCALE
 - souřadnice: RA, OBJRA, OBJCTRA

X: 1140
Y: 2369
V: 600

FITS Header Editor

C:\FITS\DEMO\2017-11-22 (Aur astrometry)\Aur343_0000.fits

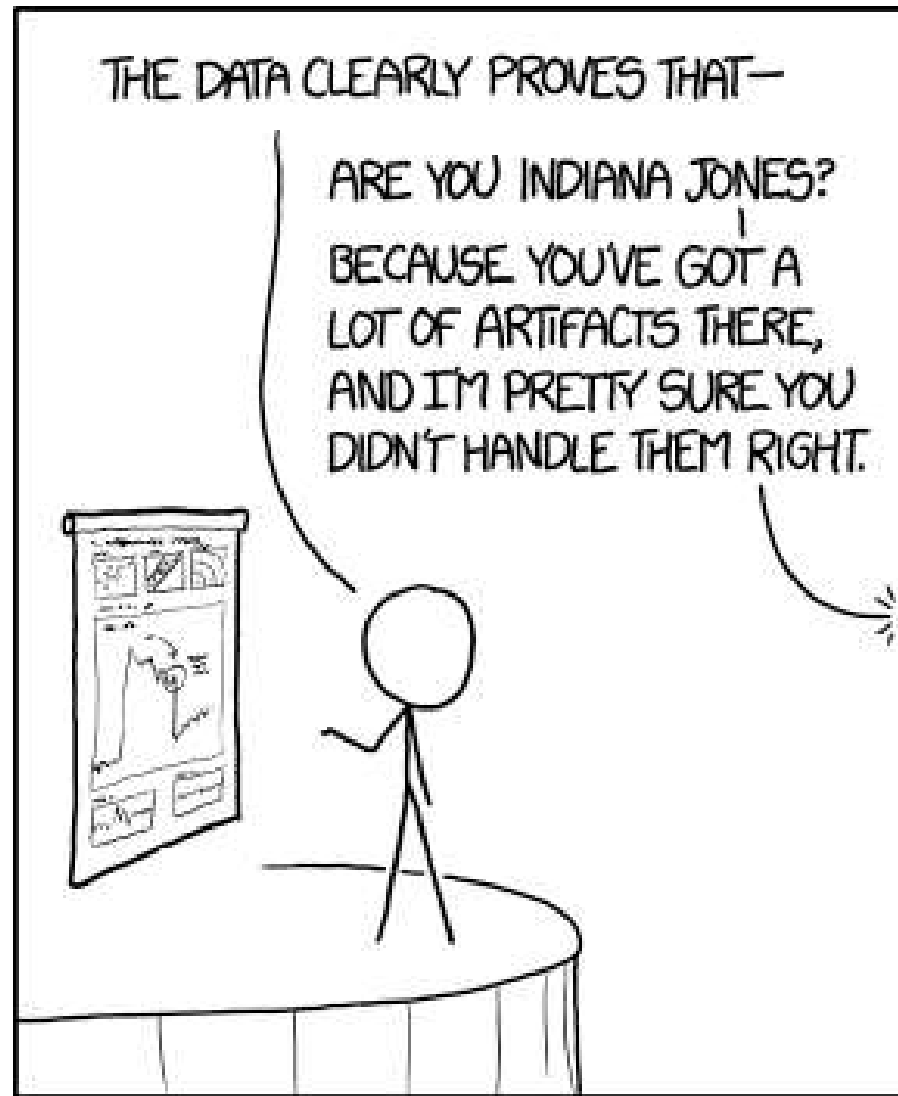
SIMPLE	=	T
BITPIX	=	16
NAXIS	=	2
NAXIS1	=	4096
NAXIS2	=	4096
BZERO	=	32768.00000000
BSCALE	=	1.00000000
EXPTIME	=	90.00000000 / seconds
EXPOSURE	=	90.00000000 / seconds
GAIN	=	1.60000000 / e-/ADU
XBINNING	=	1
YBINNING	=	1
FILTER	=	'NoFilter'
CCD-TEMP	=	-24.96000000 / deg. Celsius
UT	=	'20:42:10.084' / begin of exposure
DATE-OBS	=	'2017-11-22T20:42:10.084' / begin of exposure
JD	=	2458080.36261671 / begin of exposure
DATE-BEG	=	'2017-11-22T20:42:10.084'
DATE-END	=	'2017-11-22T20:43:40.091'
IMAGETYP	=	'OBJECT'
RA	=	'05:48:24.56'
DEC	=	'+30:57:12.3'
XPIXSIZE	=	9.00000000
YPIXSIZE	=	9.00000000
FOCALLEN	=	1408.00000000
OBJECT	=	'CzeV343'
TELESCOP	=	'TCMT'
INSTRUME	=	'G4-16000'
OBSERVER	=	'PC'

1:1 Insert

Apply

Artefakty

- Artefakty v obraze zavádějí chyby a omezují přesnost měření
- Artefakty **systematické** (můžeme je potlačit):
 - Temný proud
 - Vinětace optiky
- Artefakty **náhodné** (nic s nimi nenaděláme):
 - Stopy částic (v astronomickém slangu „kosmíky“)
 - Letadla, družice, planetky, ...
- Něco mezi (musíme s nimi počítat a rozpoznat je):
 - Vliv atmosféry (extinkce)
 - Změny pozorovacích podmínek (seeing, mlha, cirry, ...)



<https://www.xkcd.com/1781/>

Temný proud

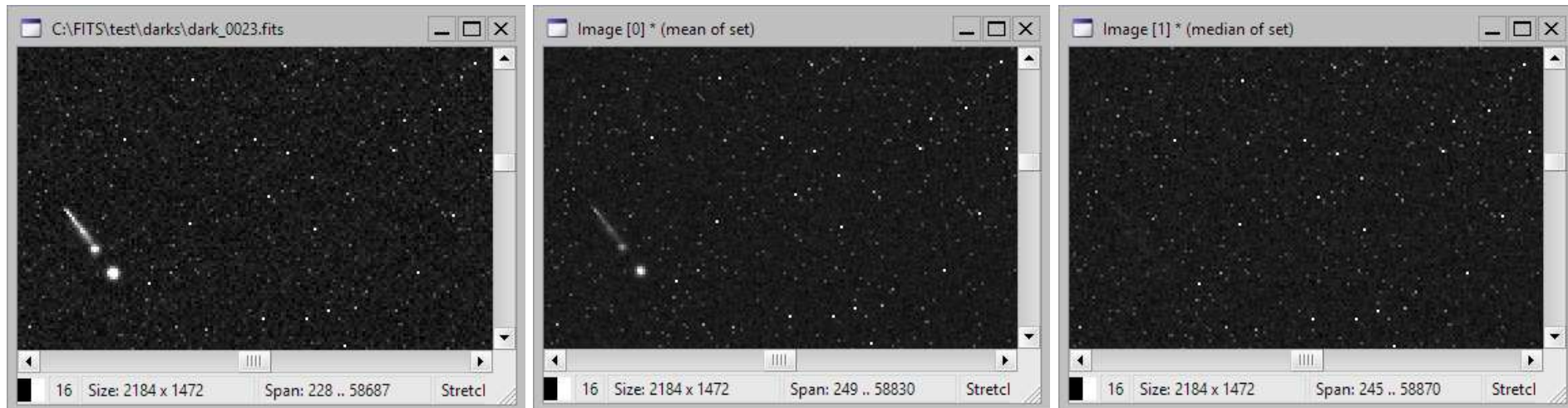
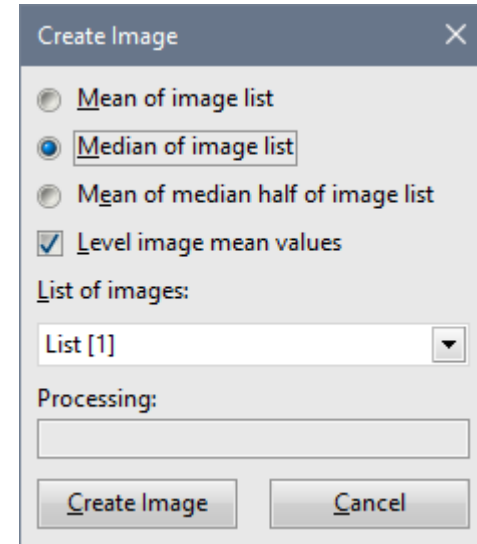
- Vliv temného proudu odstraňujeme odečtením **temného snímku**
- Hodnota pixelů temného proudu závisí:
 - Lineárně na čase
 - Exponenciálně na teplotě
- Optimální je vytvořit temný snímek pro každý expoziční čas a každou teplotu čipu
 - Lineární interpolace podle expozičního času je vždy horší než temný snímek snímaný vždy daným časem
 - U některých horkých pixelů je závislost hodnoty na čase složitější než je prostá lineární závislost

Temný snímek

- Uváděný temný proud platí pro většinu pixelů CCD
 - Určitá část pixelů má výrazně vyšší temný proud
 - Nazýváme je **horké pixely**
- Rozptyl signálu odpovídá $\sqrt{\text{signálu}}$
 - Čím je hodnota pixelu vyšší, tím vyšší jsou rozdíly mezi jednotlivými snímky
- Abychom se co nejvíce přiblížili střední hodnotě temného proudu každého pixelu, vytváříme temný snímek z více jednotlivých expozic
 - Empirické pravidlo doporučuje **minimálně 5 expozic**

Tvorba temného snímku

- Temný snímek vytváříme z jednotlivých expozic jako medián jednotlivých snímků
 - Prostý průměr je ovlivněn stopami částic
- Příklad:
 - Temný snímek se stopou částice (vlevo), průměr (uprostřed) a medián (vpravo)

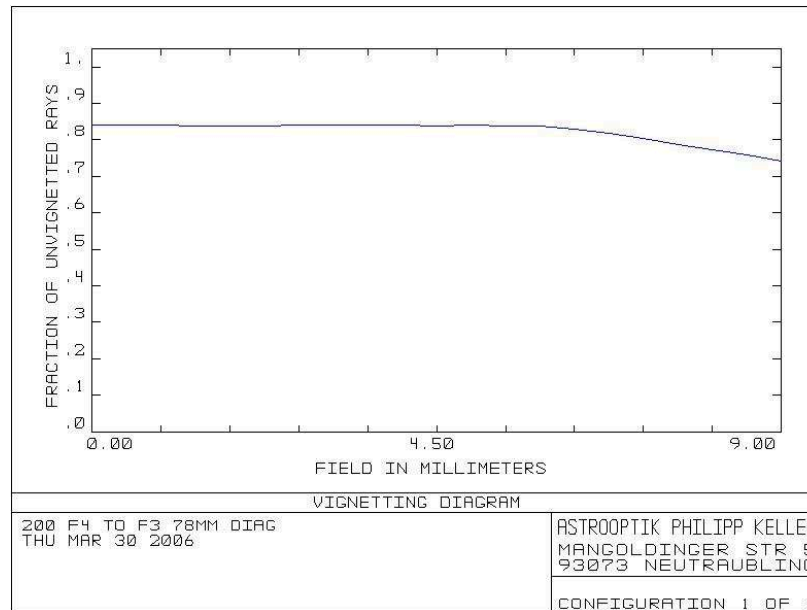


Kdy pořizovat temný snímek?

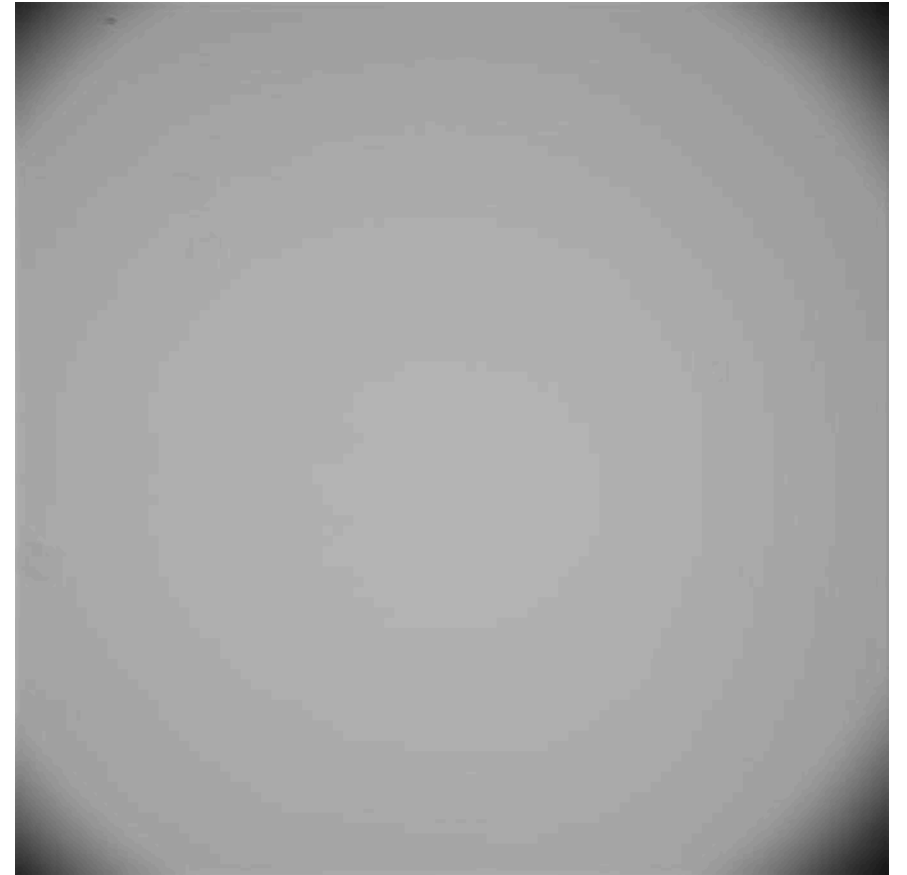
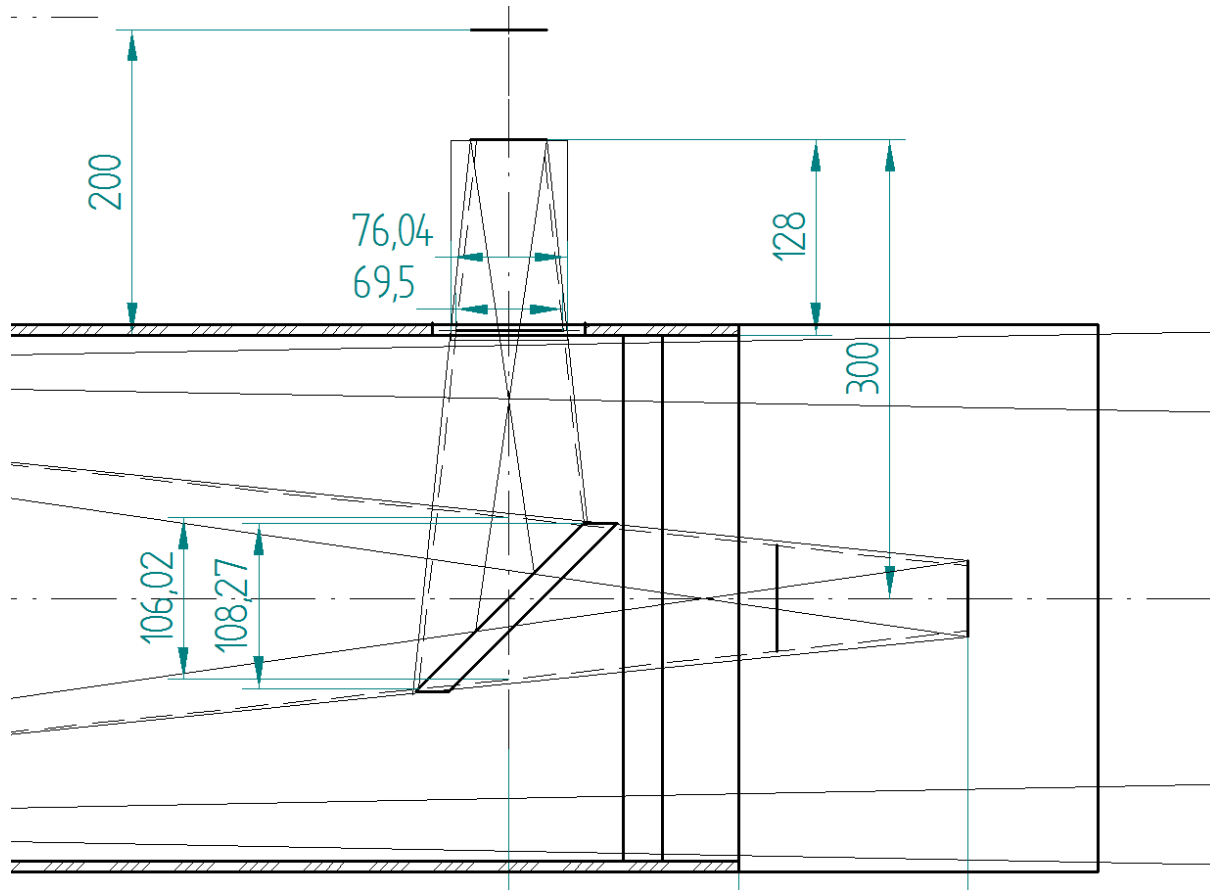
- Temný snímek pořizujeme pro:
 - každou použitou expoziční dobu
 - každou použitou teplotu snímače
 - každý použitý binning
- Charakteristiky snímače se s časem mění, proto by temný snímek neměl být používán déle jak ~měsíc
- Temné snímky je nutné začít pořizovat až po teplotním ustálení kamery (>5 minut), nikoliv okamžitě po dosažení cílové teploty
 - Chlazení senzoru je dynamický jev, uvnitř jsou teplotní toky a gradienty

Vinětace

- Žádná optická soustava nedokáže soustředit stejné množství světla po celé ploše snímáče
 - Nejvíce světla je soustředěno ve středu snímku
 - K okrajům snímek tmavne
 - Tmavnutí okrajů je označováno jako „vinětace“

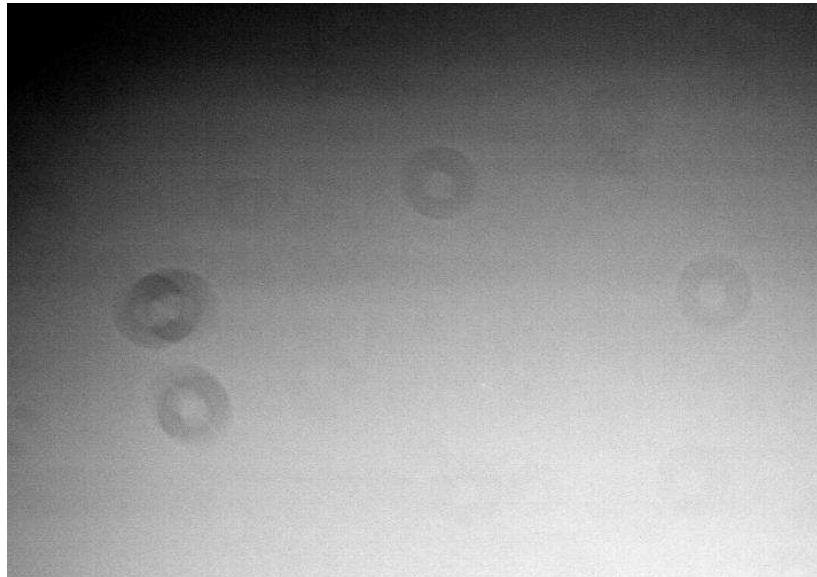


Příklad vinětace 30cm f/4 Newtonova dalekohledu s korektorem



Stopy prachových částic

- Nečistoty zákonitě ulpívají na čelním skle komory CCD, na filtrech, na korektoru atd.
- Ve snímku jsou stopy částic viditelné tím více, čím:
 - jsou blíže senzoru (mají menší průměr a jsou tmavší)
 - je dalekohled méně světelný (kužel dopadajícího světla je užší)



Flat-field

- **Flat-field** je snímek, reprezentující přenos světla optickou soustavou
- Získáme jej snímáním rovnoměrně osvětlené plochy
 1. Snímání oblohy za soumraku nebo za úsvitu
 2. Snímání umělého, **rovnoměrně** osvětleného povrchu
- V obou případech by střední hodnota snímku měla být asi $\frac{1}{2}$ dynamického rozsahu kamery (asi 30000 až 40000 ADU)
- Stejně jako u temného snímku i flat-field by měl vzniknout kombinací alespoň 5 snímků

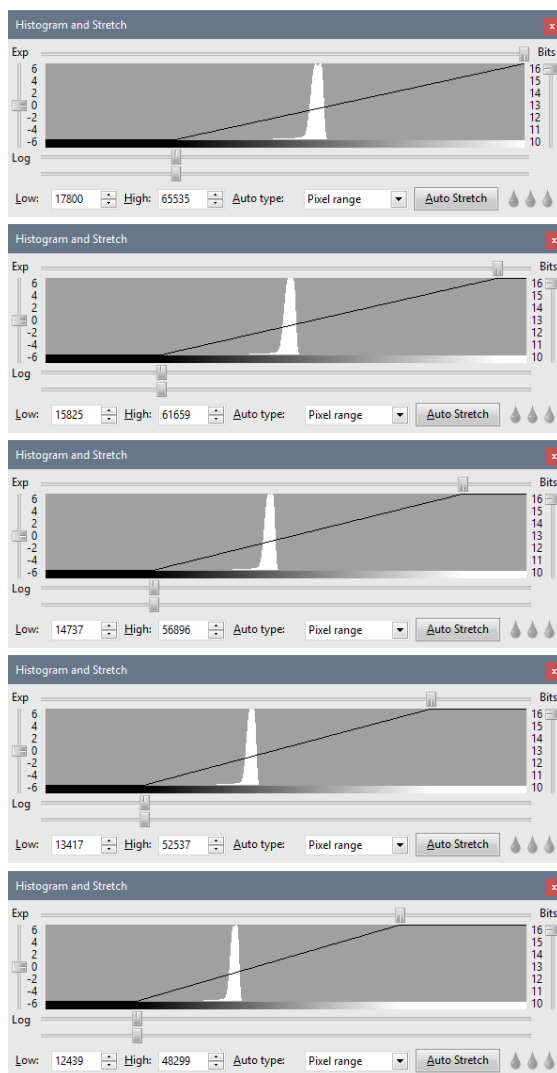
Snímání flat-field na obloze

- Obloha musí být zcela jasná, bez jakékoliv oblačnosti
- Rovnoměrná obloha je asi 120° od Slunce
 - Níže k obzoru obloha zjasňuje
 - Směrem ke Slunci také zjasňuje
 - Místo rovnoměrného jasu závisí na průzračnosti atmosféry
- Problém je, že jas oblohy se velmi rychle mění
 - Je nezbytné vystihnout poměrně krátký okamžik a pořídit všechny potřebné snímky
 - Flat-field je nutno pořídit pro všechny používané filtry (případně bez filtru), nejméně 5 snímků pro každý filtr
 - Pořadí filtrů je vhodné volit podle propustnosti modré oblohy

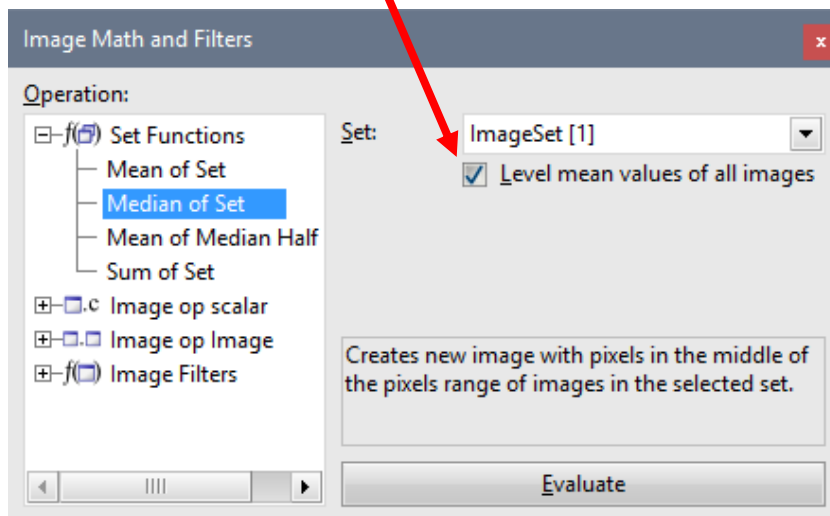
Snímání flat-field na obloze

- Při snímání flat-field by dalekohled měl být zaostřený
 - zaostření ovlivňuje průchod světla celou soustavou
- Zejména při delších expozicích flat-field na obloze (jednotky sekund) se v obraze objevují hvězdy
 - Flat-field na obloze je vhodné snímat s vypnutým pohonem montáže
 - Mezi jednotlivými snímky je vhodné mírně změnit polohu dalekohledu (namířit kousek vedle)
 - Stopy hvězd pak odstraní mediánová kombinace jednotlivých snímků

Tvorba flat-field snímaného na obloze



- Při dané expozici se střední hodnota snímku mění
- Před výpočtem mediánu je nutné střední hodnoty srovnat, jinak je výsledek prakticky shodný s prostředním snímkem



Tvorba **flat-field** snímaného na rovnoměrně osvětlené ploše

- Jas plochy musí být zcela rovnoměrný, jinak zavedeme do snímků chybu
- CCD kamery s FF senzory a pomalou závěrkou nemusí být schopny krátkých expozic
 - Nejkratší expozice ($<1s$) mohou být nerovnoměrné vlivem nerovnoměrného chodu závěrky
 - Jas plochy musí být dostatečně malý, aby dovolil dostatečně dlouhou expozici
- Výhodou je nezávislost na počasí a denní době
 - Osvětlení snímané plochy ale nesmí rušit další okolní světlo



Kdy pořizovat flat-field?

- Flat-field musíme pořídit pro každý používaný filtr a pro každý používaný binning
 - Flat-field pochopitelně nezávisí na teplotě senzoru nebo expoziční době při pořizování dat
- Pokud provedeme jakoukoliv mechanickou změnu pozorovací sestavy, musíme flat-field pořídit znovu
 - Po každém sundání (a nasazení) kamery
 - Po kolimaci optiky
 - Po manipulaci s filtry
- Pokud je sestava pevná, můžeme flat-field používat značnou dobu (měsíce)

Aplikace flat field

- Aplikace flat field obrazu spočívá v dělení každého pixelu syrového obrazu odpovídajícím pixelem flat field obrazu
 - Pixely jasnější díky nerovnoměrnému osvětlení pole jsou tedy poděleny větší hodnotou flat field obrazu, jasnějšího ze stejných důvodů, a naopak
- Dělení ale zmenšuje škálu obrazu, proto je každý pixel současně vynásoben průměrnou hodnotou flat field obrazu
 - Pokud je výpočet prováděn s celými čísly, násobení pochopitelně musí předcházet dělení, jinak by ztráta přesnosti po celočíselném dělení zcela zničila obraz

Kalibrace astronomických snímků

- Kalibrace astronomických snímků zahrnuje 2 kroky:
 1. Odečtení **dark frame**
 2. Aplikace **flat field**
- I při tvorbě samotných flat field snímků je velice vhodné odečíst dark frame, odpovídající expoziční době flat field snímků, od každého snímku
 - I dark frame pro flat field je vhodné vytvořit jako medián alespoň 5 temných snímků o expoziční době odpovídající expozici flat field
- Pokud používáme binning, kalibrační snímky je nezbytné pořizovat v daném binningu

Poznámka k „bias“ snímkům

- Jako „bias“ je označován temný snímek s nulovou expoziční dobou
 - Vzhledem k nenulové době digitalizace ale nulová expoziční doba nelze dosáhnout
 - I v bias snímku je obsažen temný proud, pro první digitalizovaný řádek nejméně, pro poslední digitalizovaný řádek nejvíce
 - I bias snímek tedy závisí na teplotě senzoru
- Bias snímek reprezentuje „základní“ odezvu kamery
 - V bias snímku je obsažena např. elektroluminiscence výstupního zesilovače během digitalizace apod.

„Bias“ snímky a kalibrace

- V astronomické komunitě se traduje použití bias snímků pro kalibraci
 - Od temného snímku se odečte (master)bias
 - Od datového (light) snímku se odečte (master)bias
 - Od datového snímku (bez biasu) se odečte temný snímek (také bez biasu)
- Smyslem má být možnost škálovat temný snímek podle expoziční doby (temný proud závisí na expoziční době lineárně)
 - Škálování ale vždy vede k horším výsledkům než použití temného snímku s expozicí odpovídající light snímku
- CMOS senzory škálování temného snímku zcela vylučují

„Bias“ snímky a kalibrace

- Bias snímek je v kalibraci nadbytečný

$$(\text{light} - \text{bias}) - (\text{dark} - \text{bias}) =$$

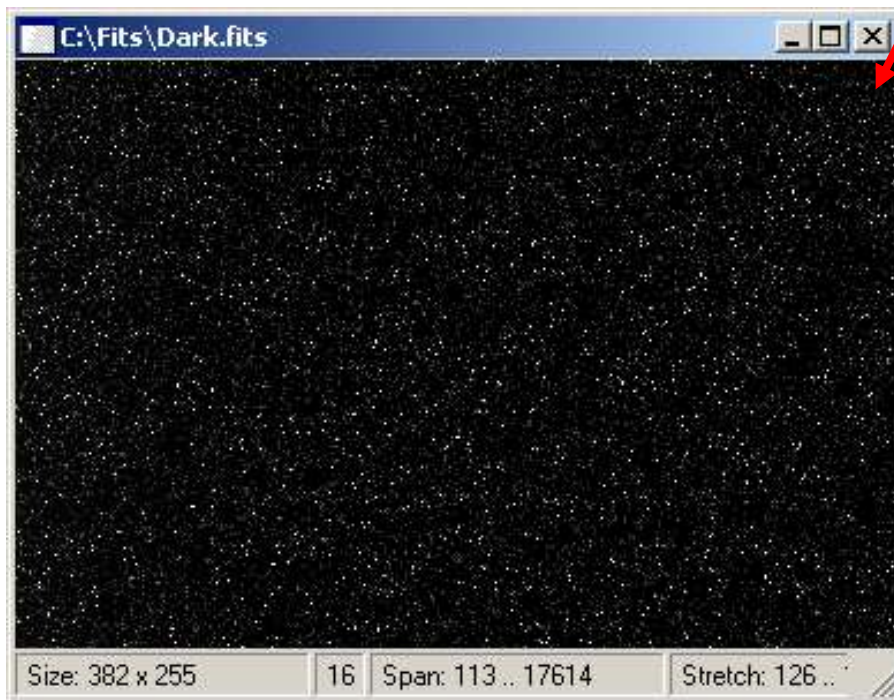
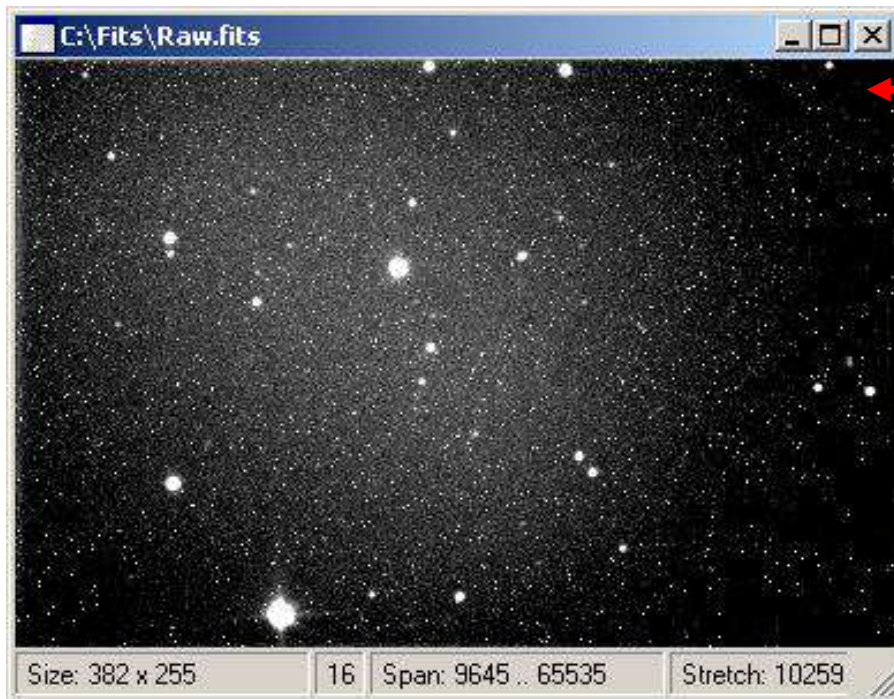
$$\text{light} - \text{bias} - \text{dark} + \text{bias} =$$

$$\text{light} - \text{dark}$$

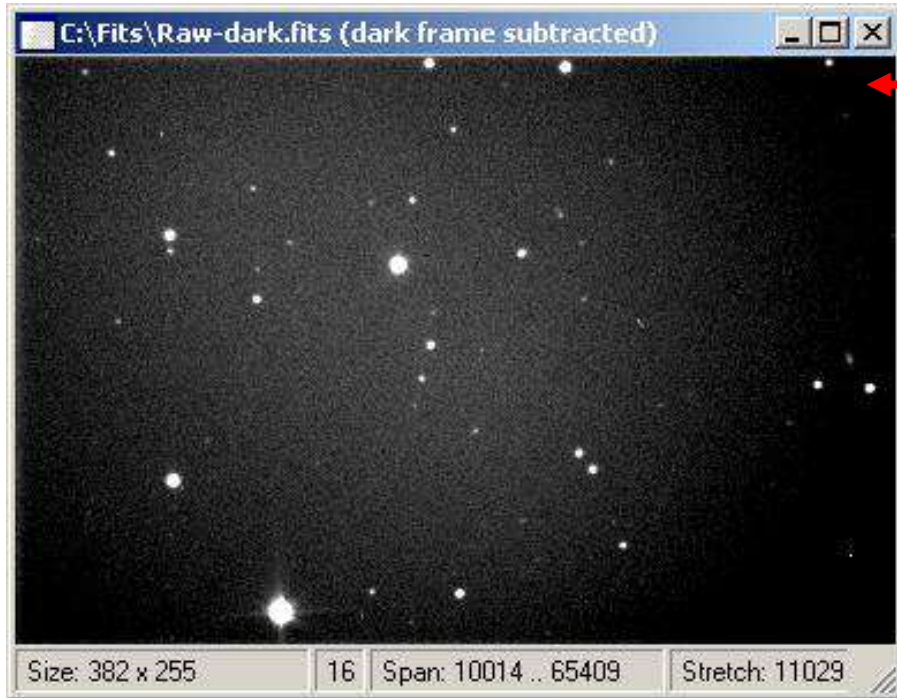
- Aditivní operace zvyšují šum snímku

$$\sigma_{result} = \sqrt{\sigma_{frame1}^2 + \sigma_{frame2}^2}$$

- Nahrazení 1 aditivní operace 3 operacemi je kontraproduktivní
- Použití bias snímků pro kalibraci není tedy pouze nadbytečné, ale přímo škodlivé



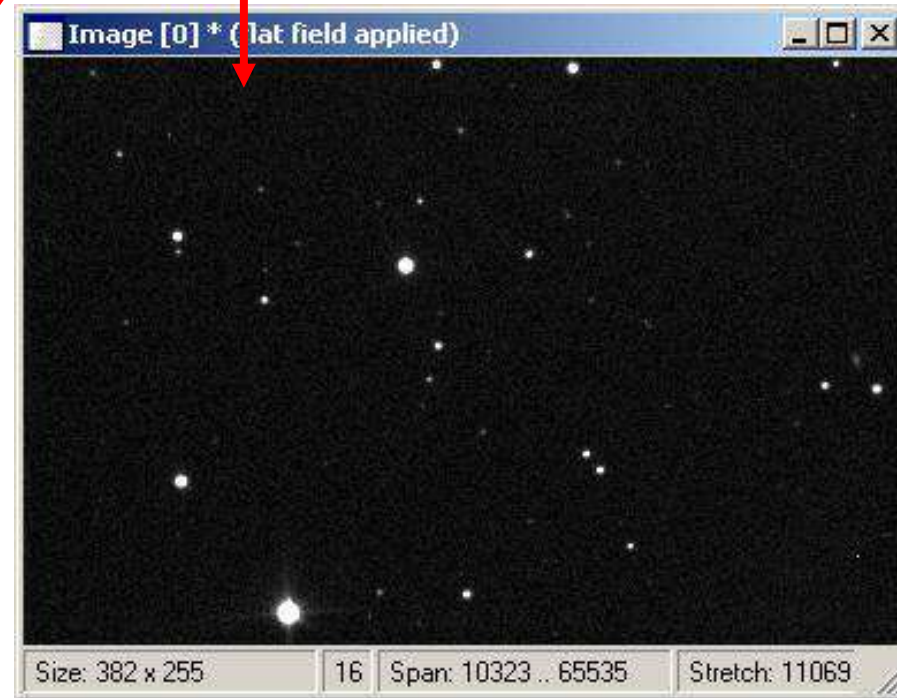
- Raw (syrový) snímek
- Temný snímek
- Výsledek po odečtení temného snímku od syrového snímku



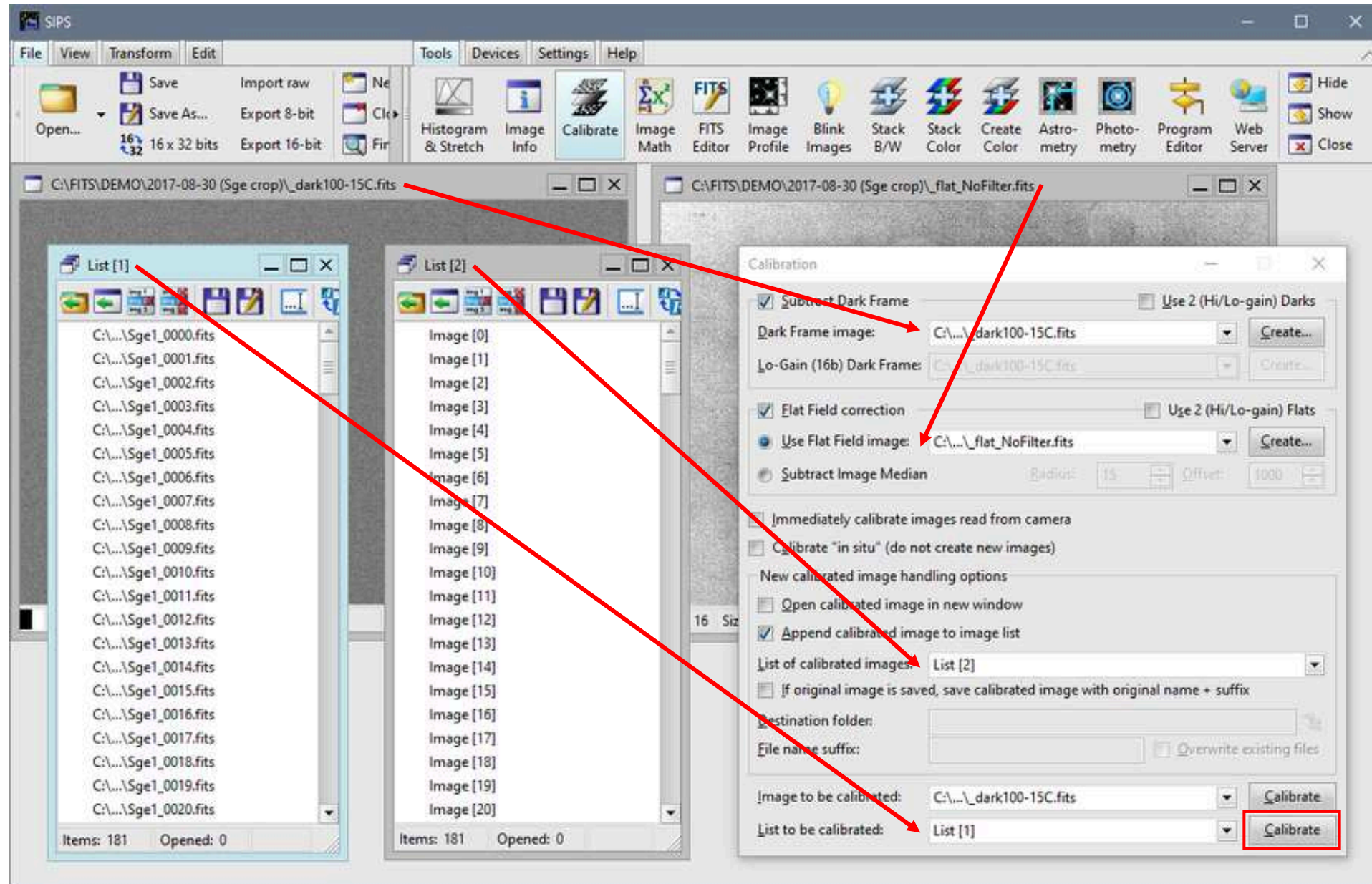
- Snímek po odečtení temného snímku

- Flat field

- Výsledek po aplikaci flat field



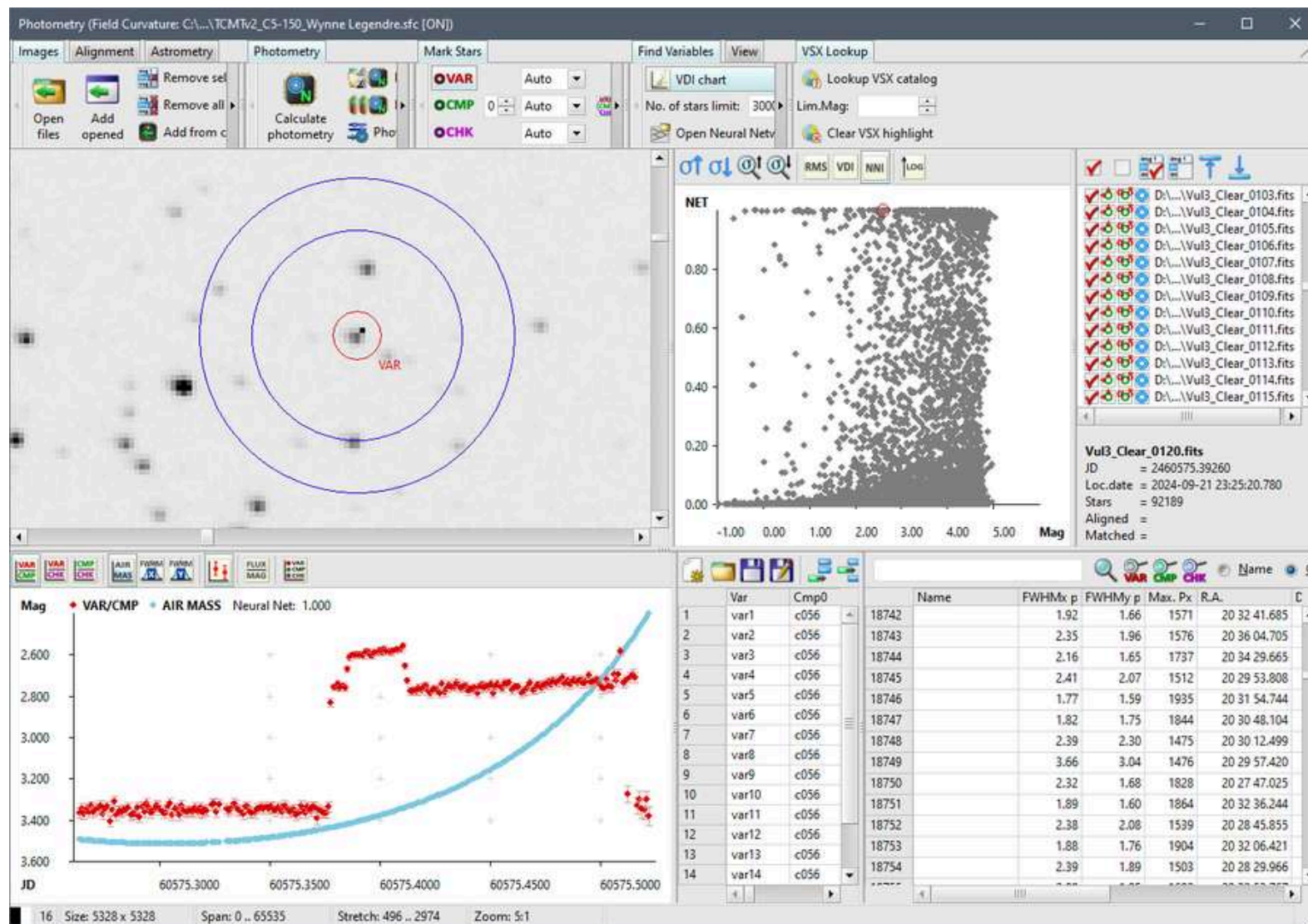
Kalibrace dat v SIPS



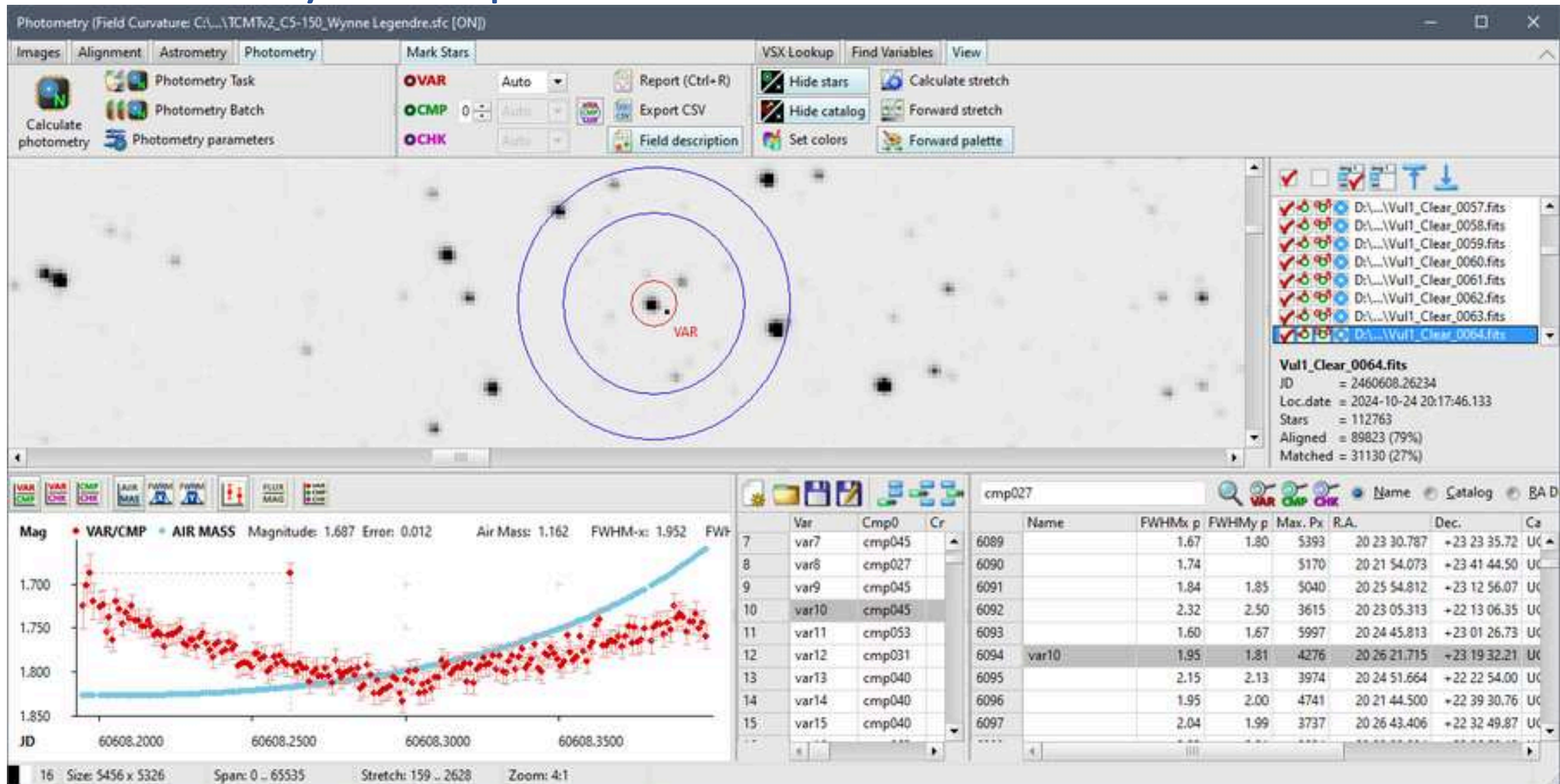
„Horký pixel“ (hot-pixel)

- Pixel s vyšším temným proudem než je průměr
- Často vykazuje „nevyzpytatelné“ chování
 - Hodnota horkého pixelu někdy není závislá na čase přesně lineárně
 - Některé horké pixely vznikají v důsledku překryvů řídicích signálů CCD atd.
- Horké pixely nelze zcela odstranit odečtením temného snímku
 - Připomeňme, že rozptyl signálu odpovídá $\sqrt{\text{signálu}}$
- U nezvyklých jevů ve světelné křivce je nezbytné prohlédnout aperturu

„Nevyzpytatelné“ chování horkého pixelu



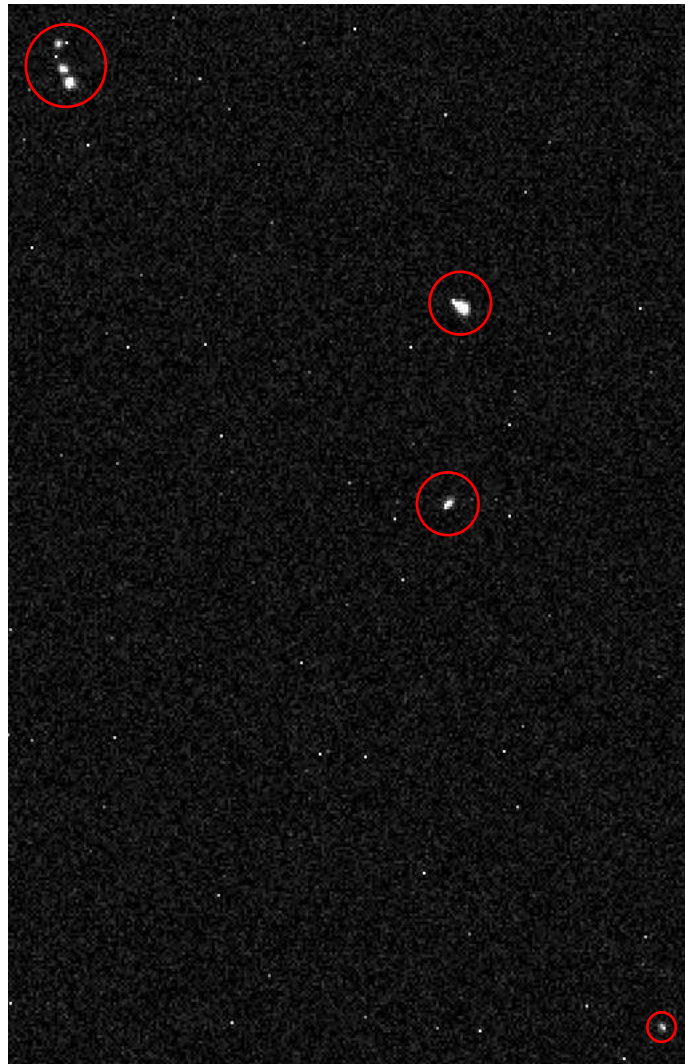
Náhodný hot-pixel



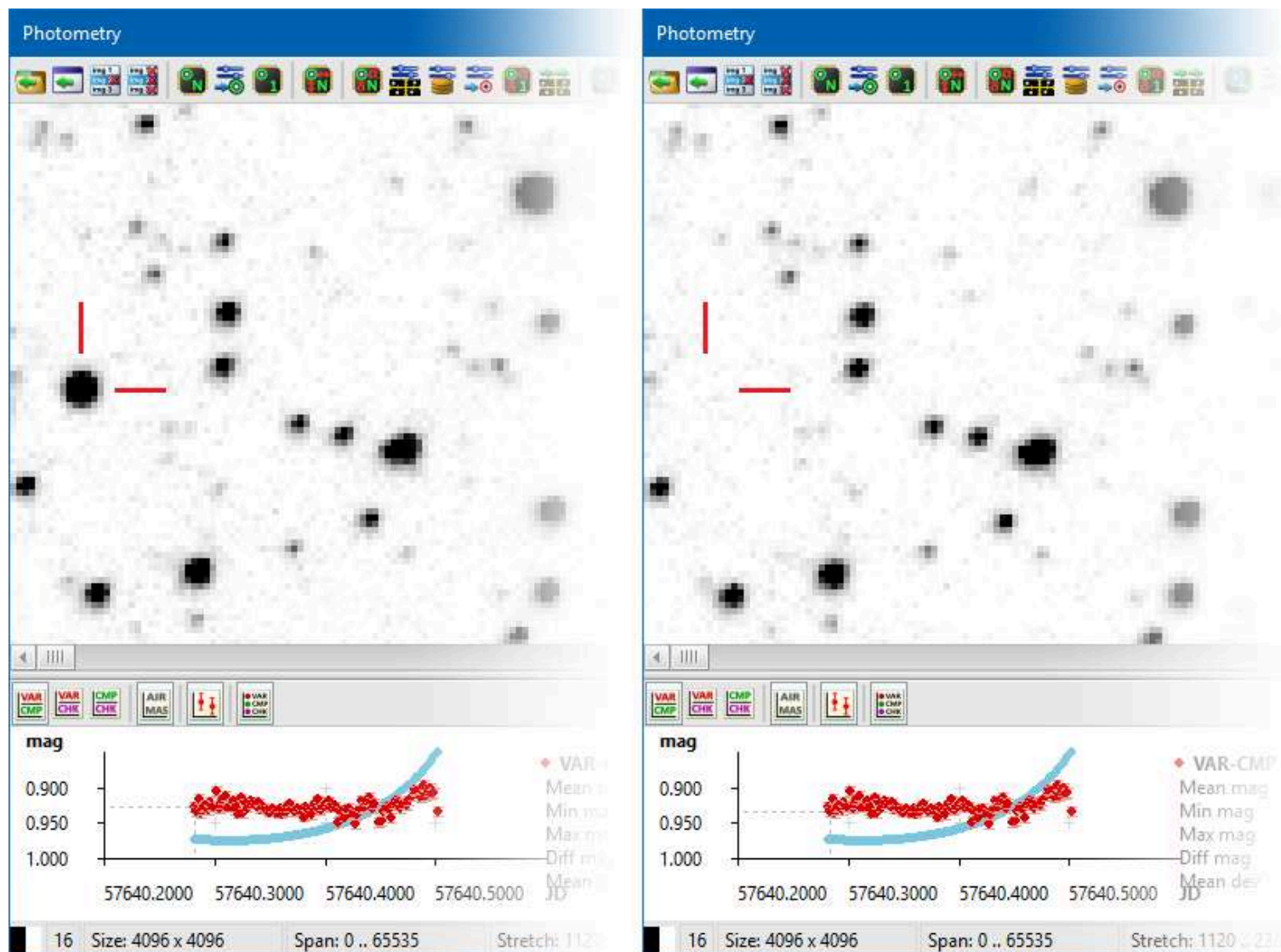
Stopy částic

- Elektrony se do nábojových pastí pixelů mohou dostat díky excitaci po průchodu částice čipem
 - Křemíkový čip funguje jako detektor částic
 - Hodně urychlovačů používá i detektory založené na podobném principu
 - Prolétající částice ionizuje atomy křemíku
 - Kladné ionty rekombinují s elektrony dodanými elektrodami nebo substrátem
 - Elektrony zůstávají v nábojových pastech (pixelech)
- Stopy částic mohou výrazně ovlivnit jednotlivý snímek
- CMOS sensory jsou (v závislosti na konstrukci pixelů) mnohem odolnější proti zachycení částic

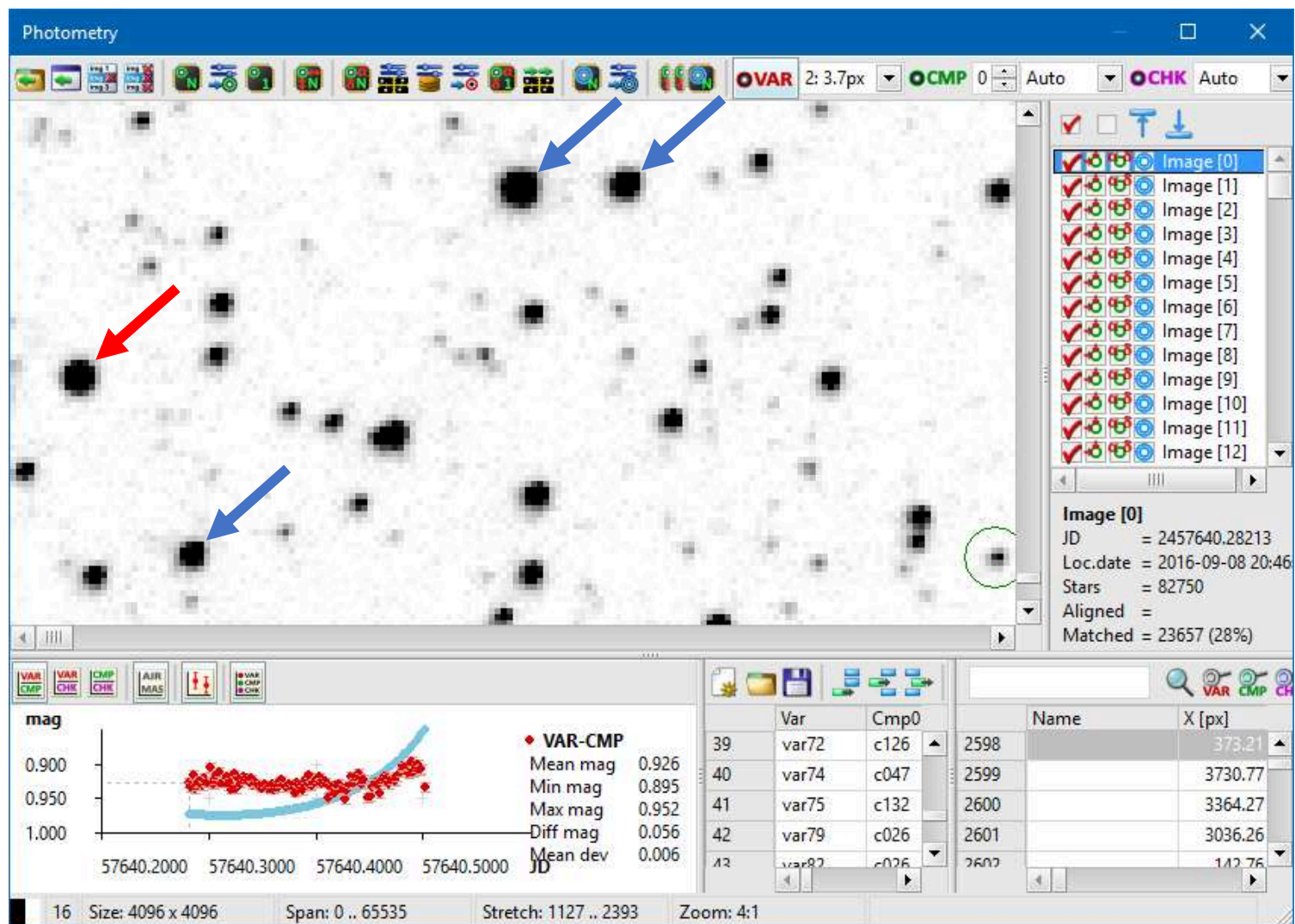
Stopy částic na temných snímcích



Stopy částic na snímcích oblohy

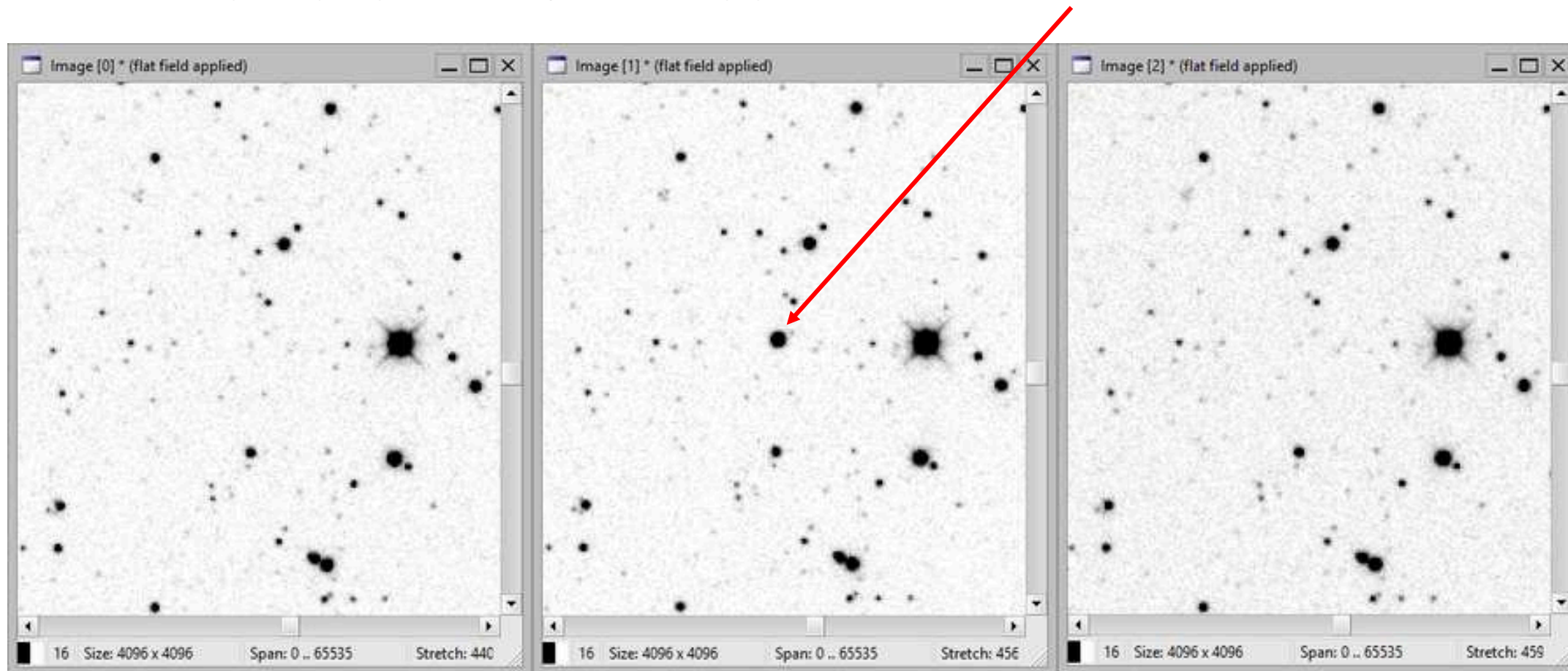


Rozdíly ve tvaru proti hvězdám

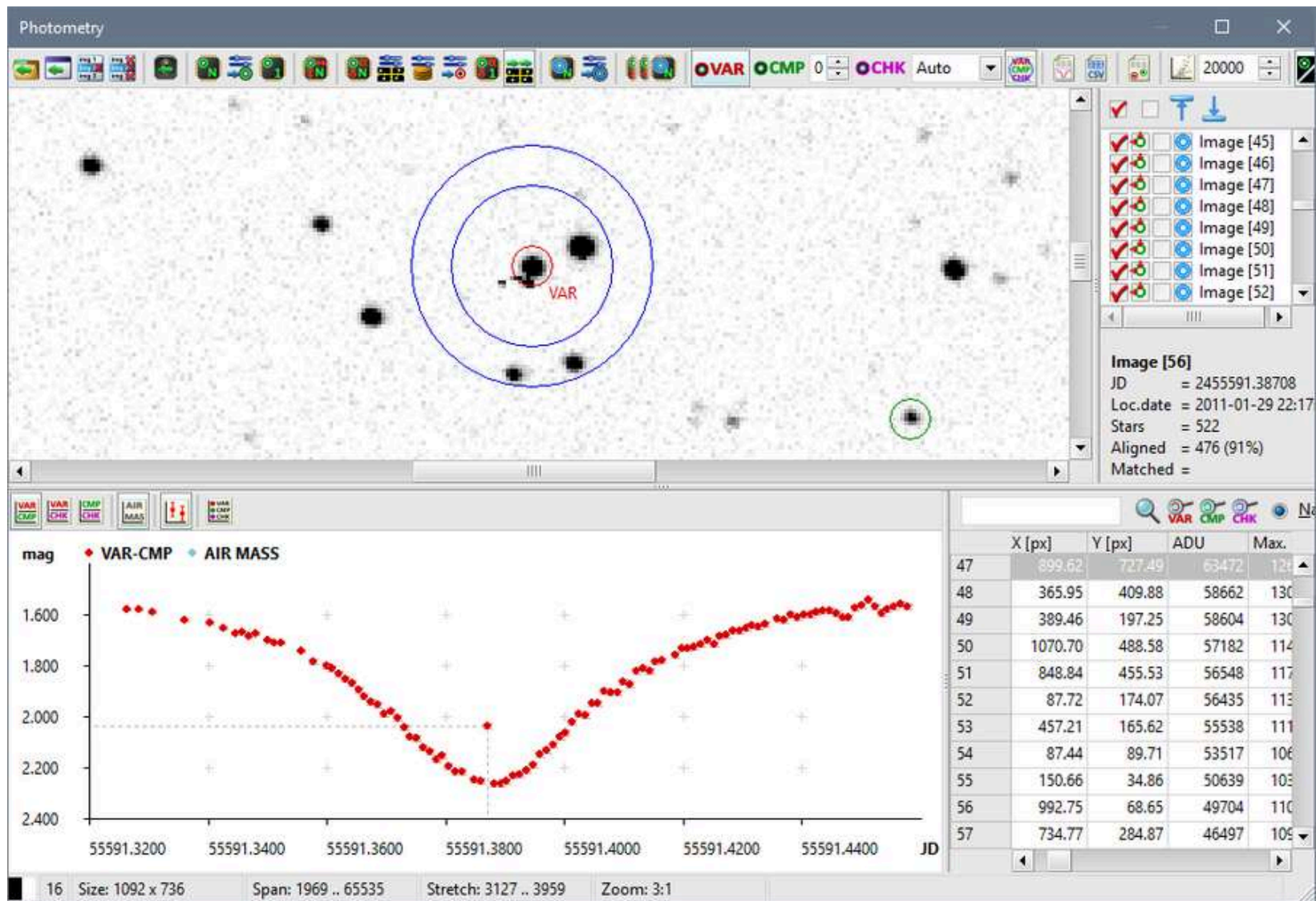


Stopy částic na snímcích oblohy

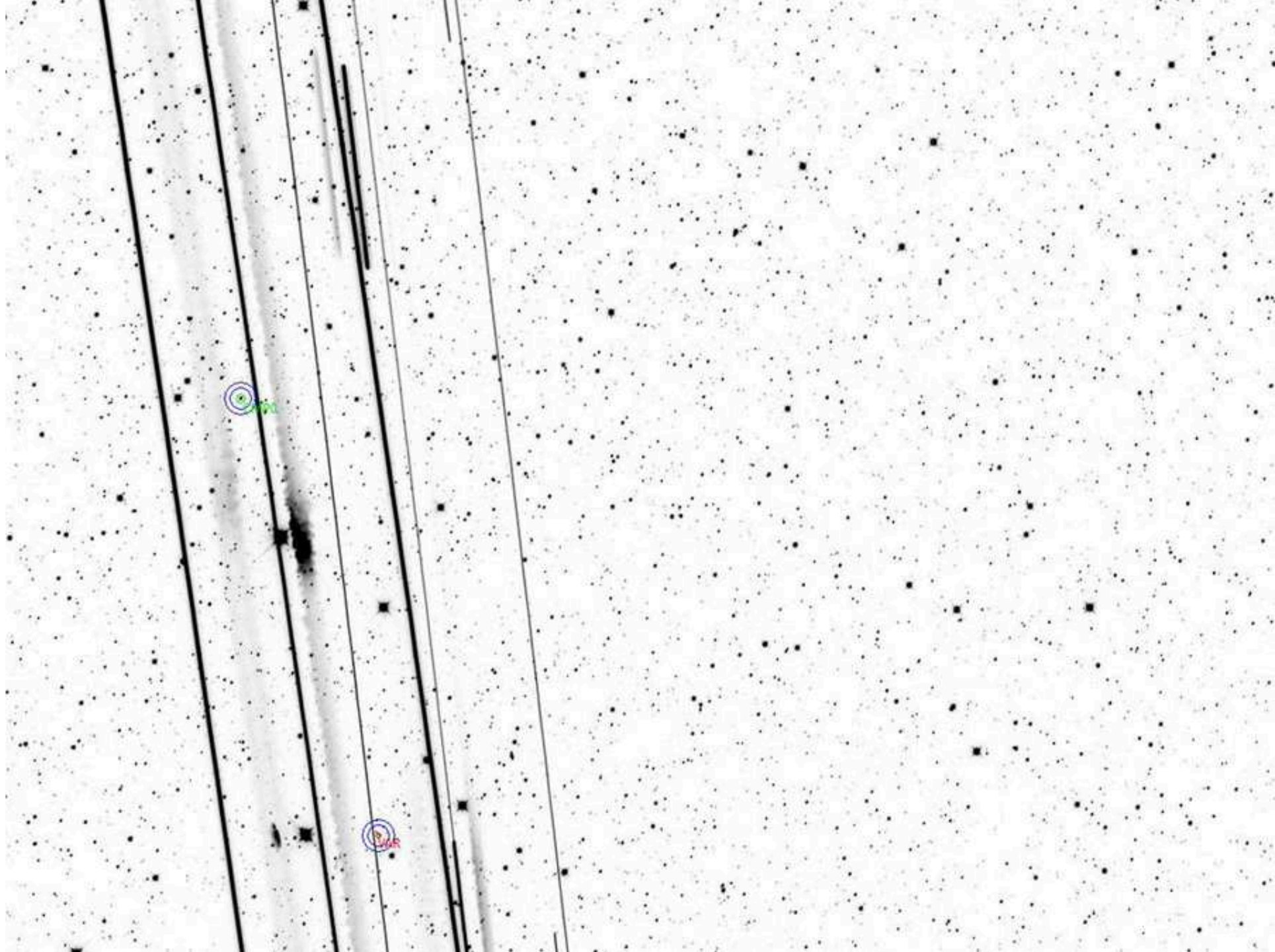
- V některých případech jsou stopy částic téměř nerozlišitelné od hvězd



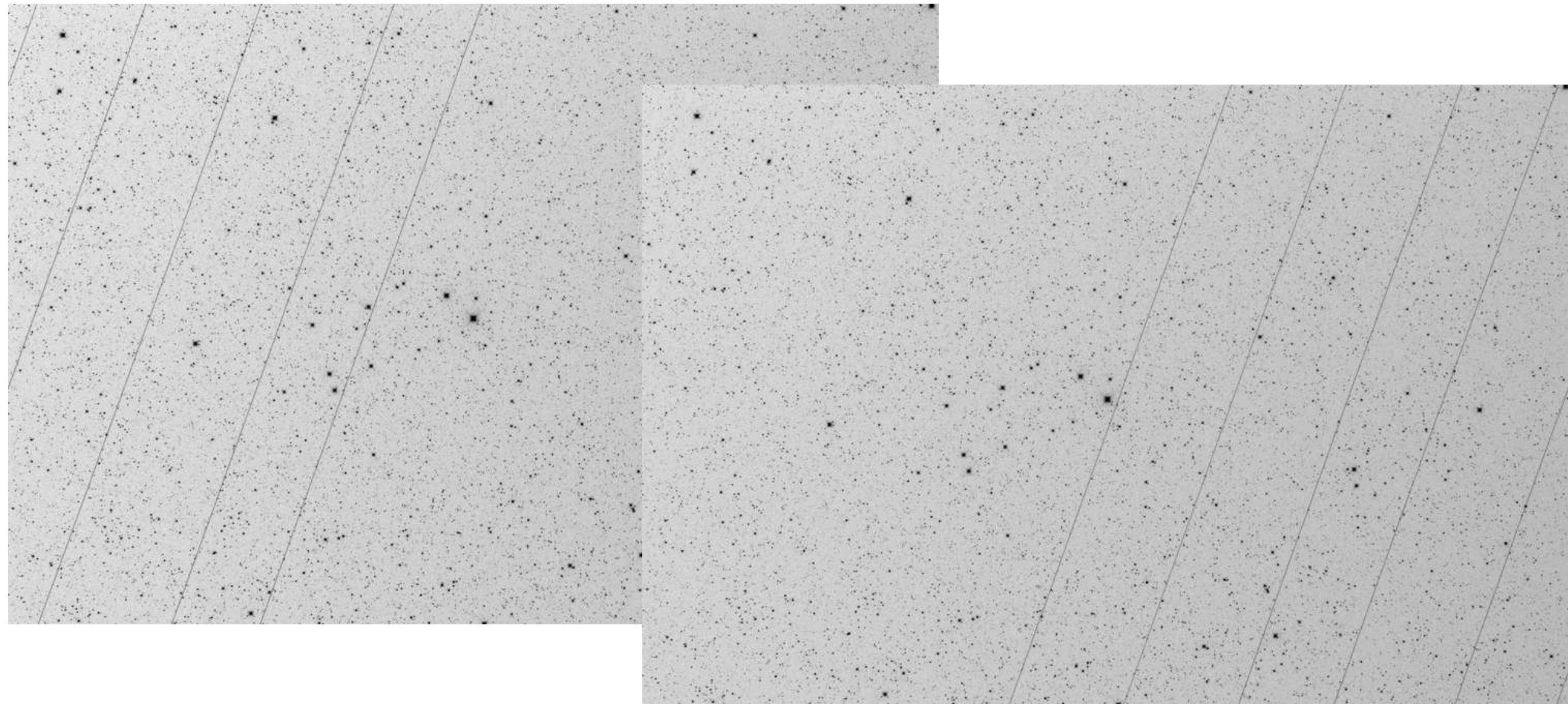
Stopa částice v apertuře



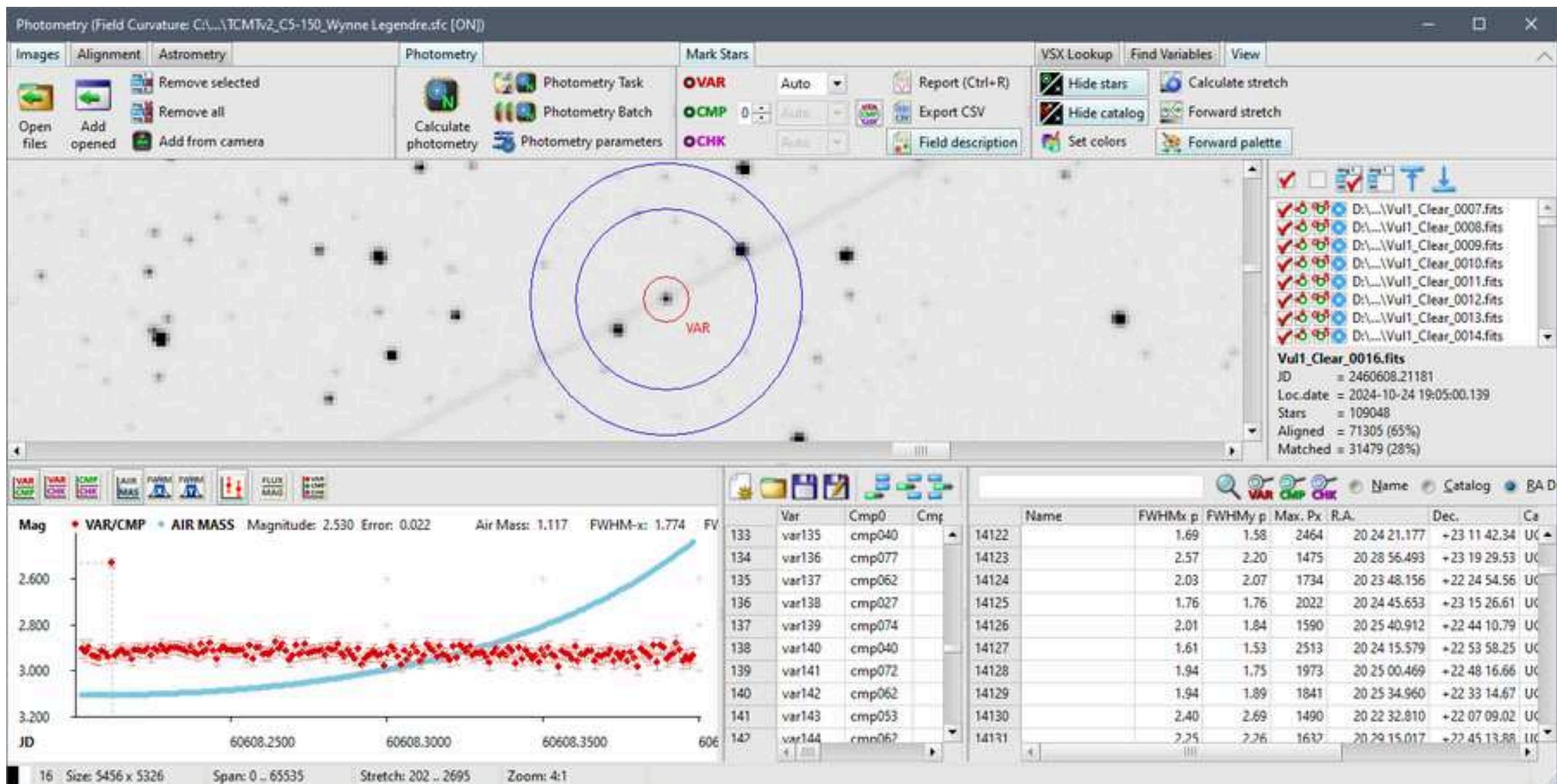
Letadla



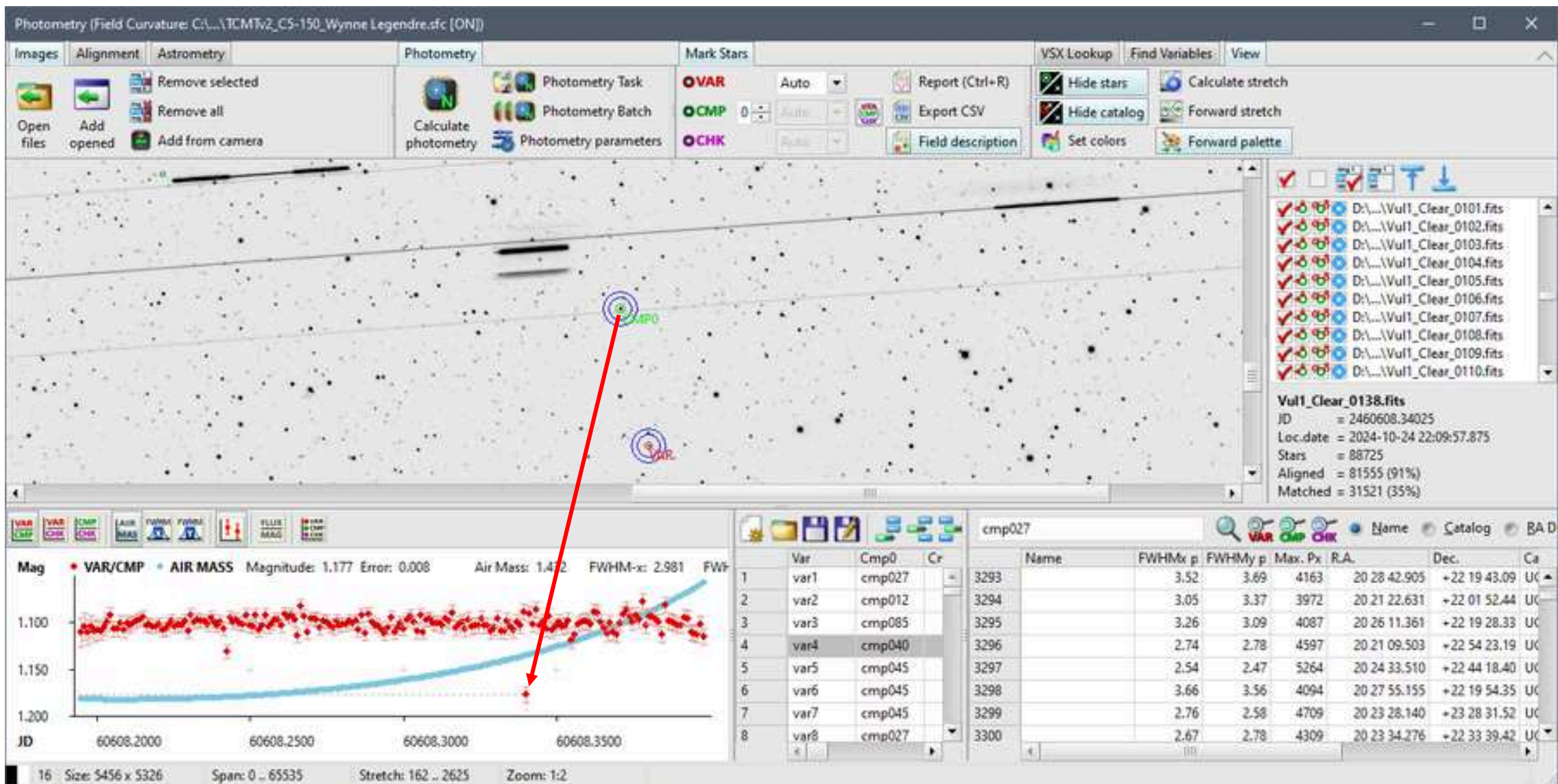
Družice (Starlink ~24h po vypuštění)



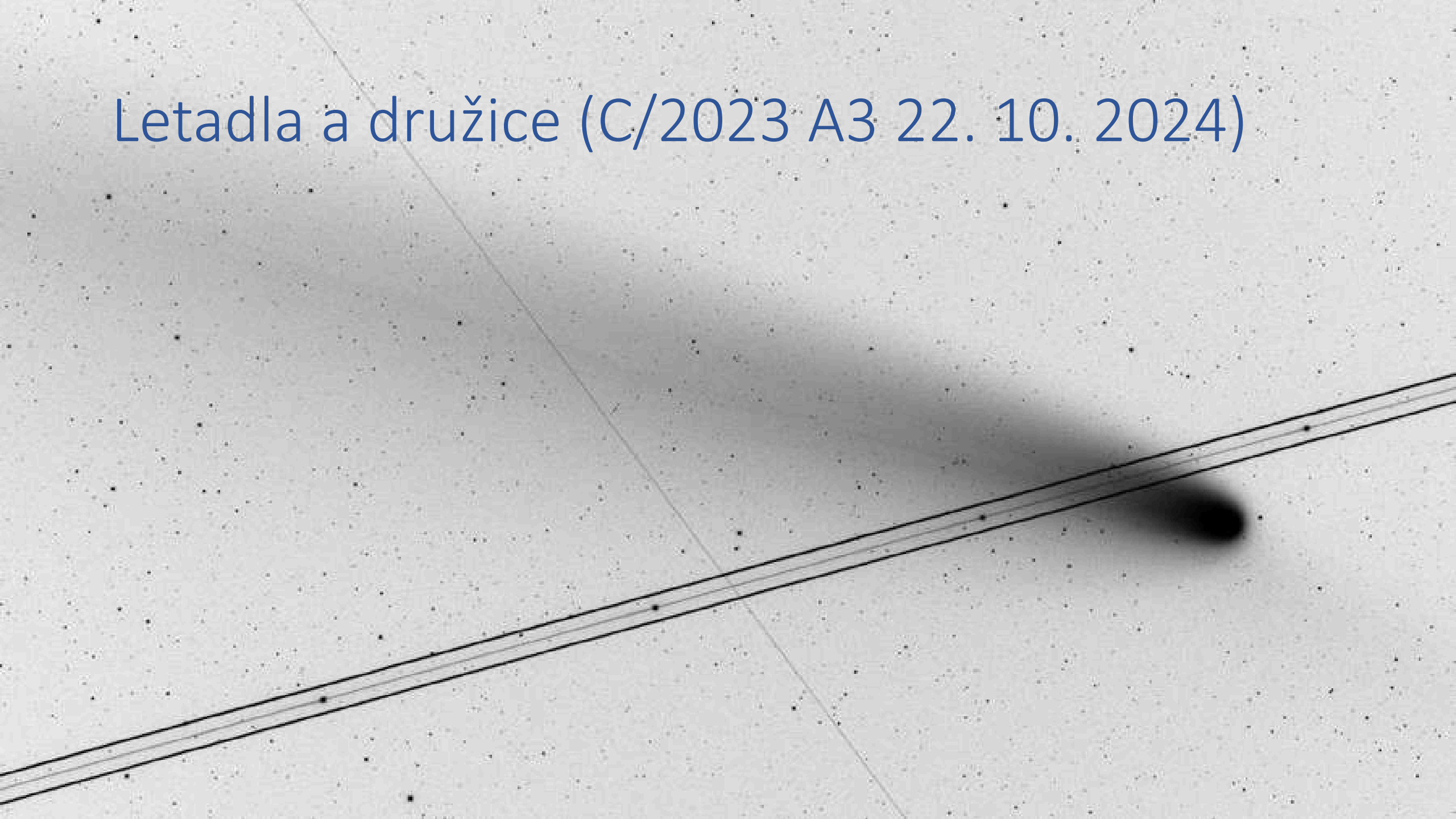
Družice v apertuře



Letadlo v apertuře srovnávací hvězdy



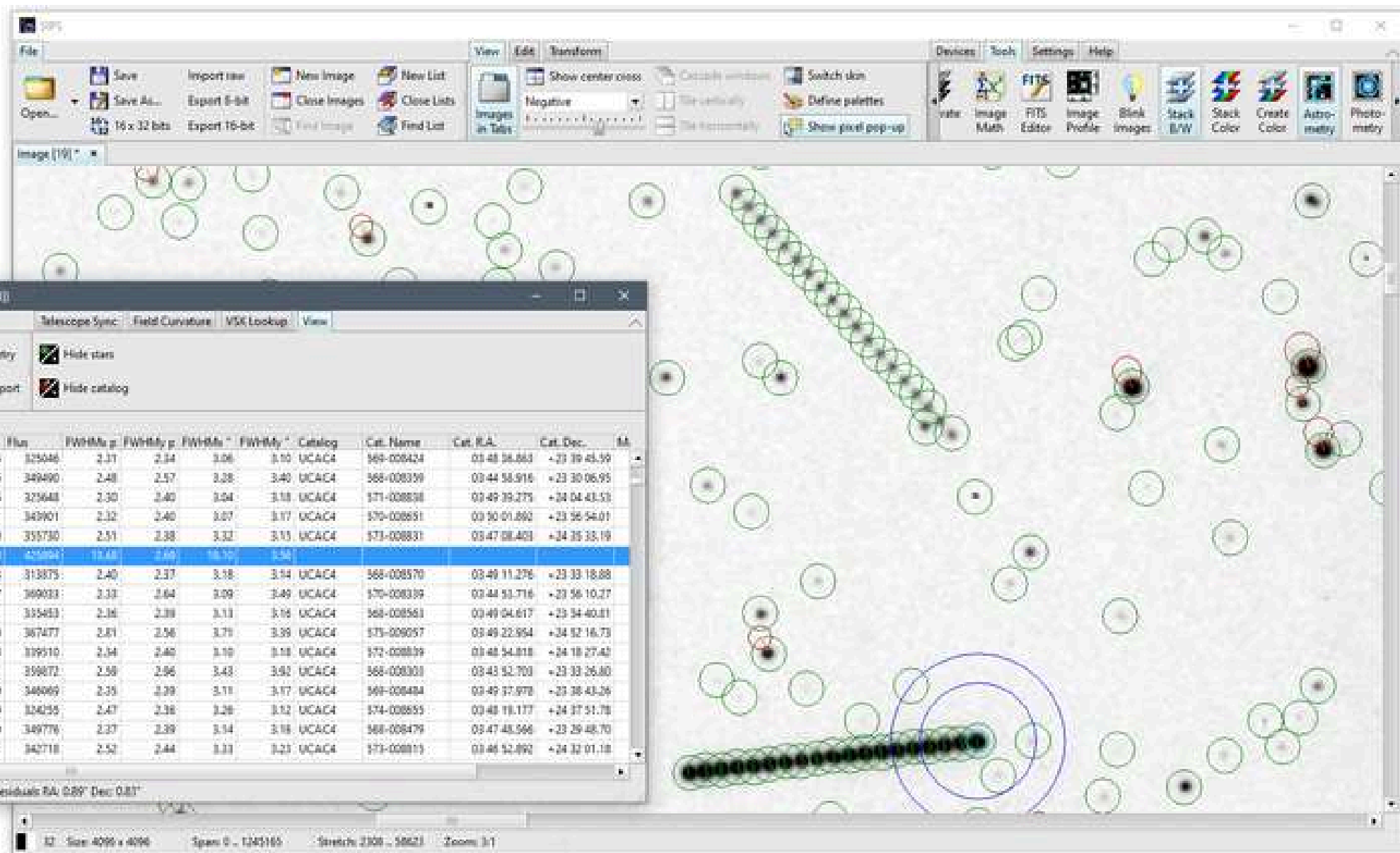
Letadla a družice (C/2023 A3 22. 10. 2024)



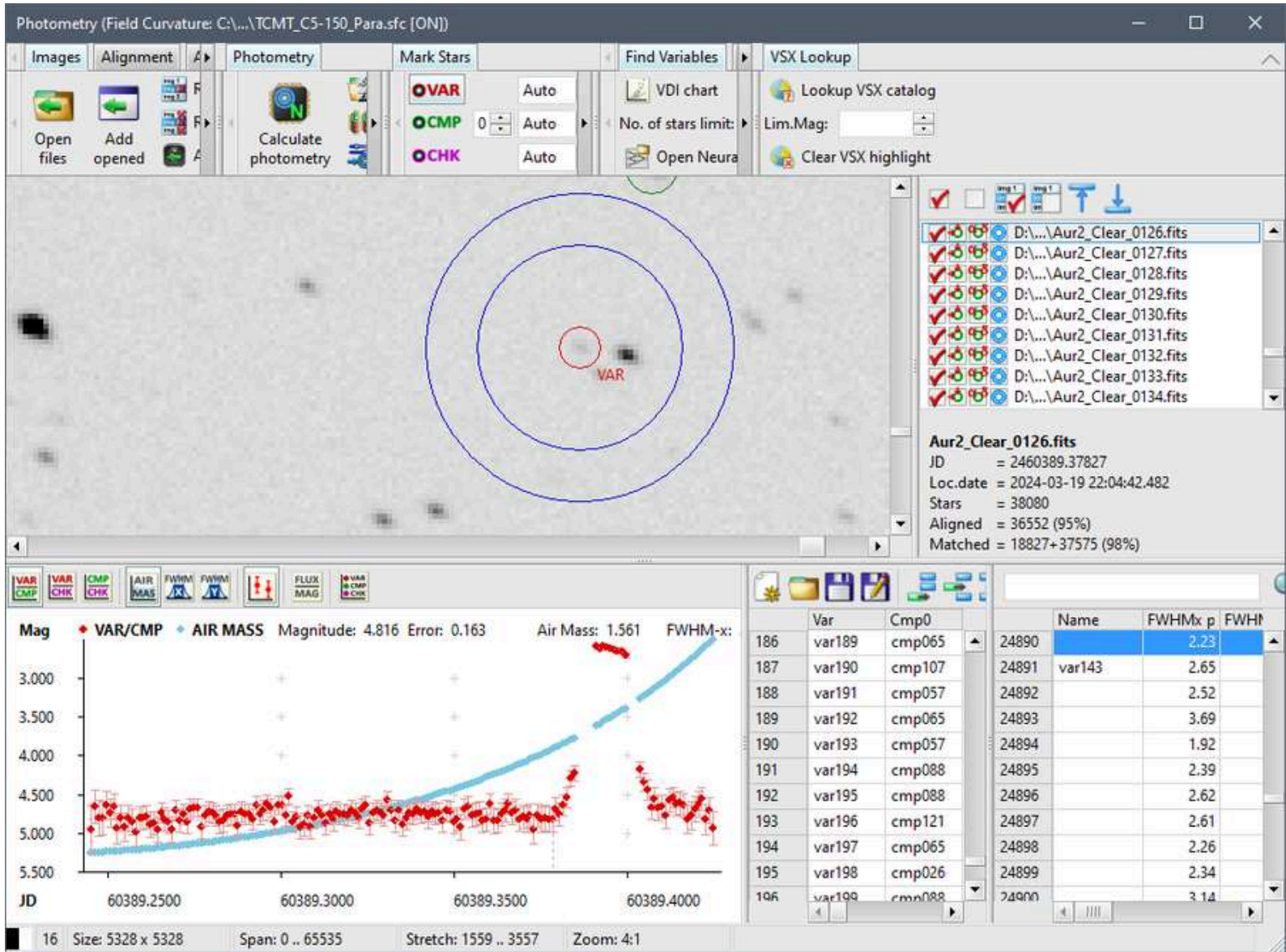
Zánik
umělého
kosmického
tělesa v
atmosféře?



Planetky



Planetka (394) Arduina prochází přes aperturu



Planetky v poli
CzeV343
2013-12-27

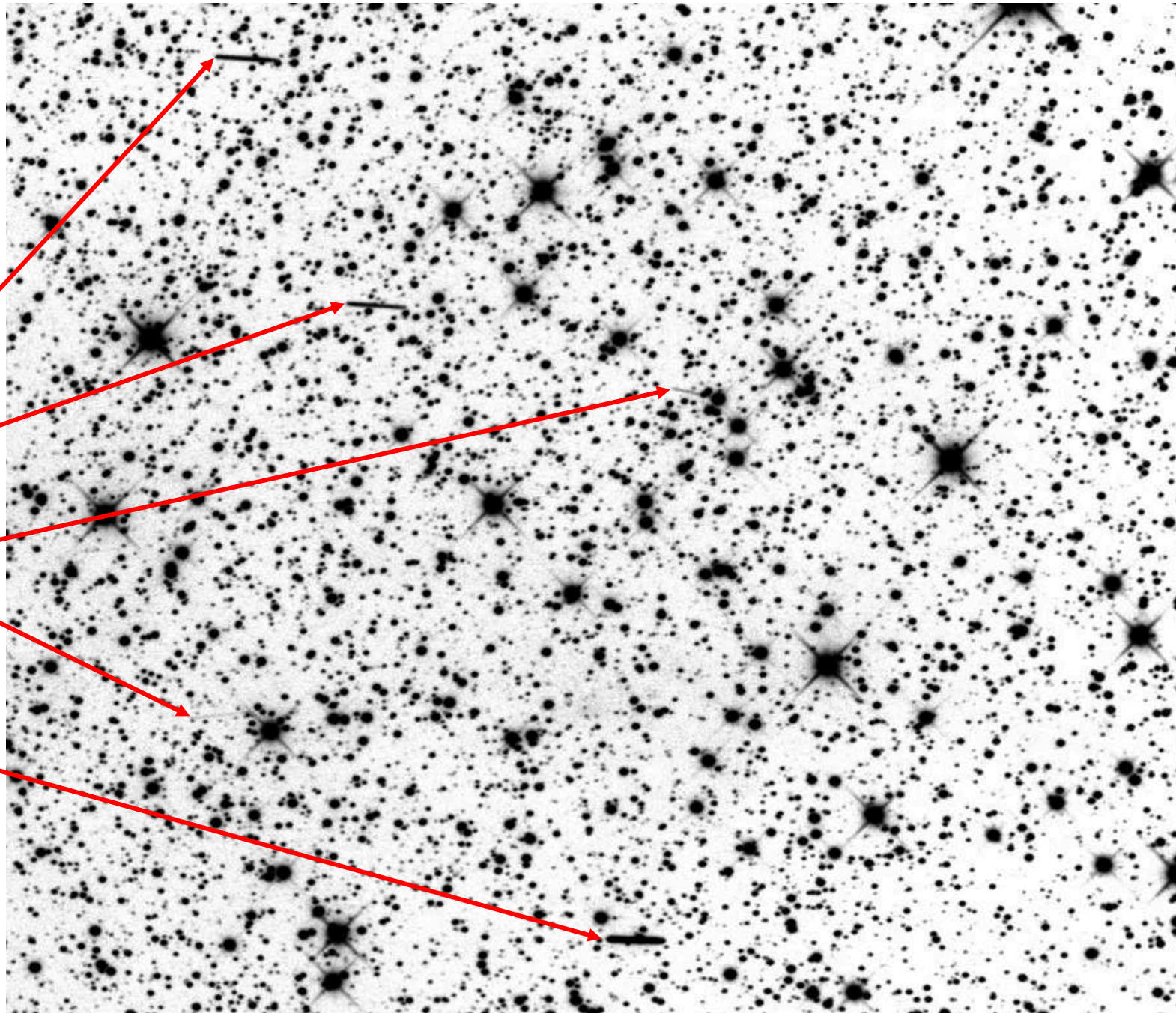
(1700) Zvezdara 14.9 mag

(1381) Danubia 15.1 mag

(18610) Arthurdent 16.3 mag

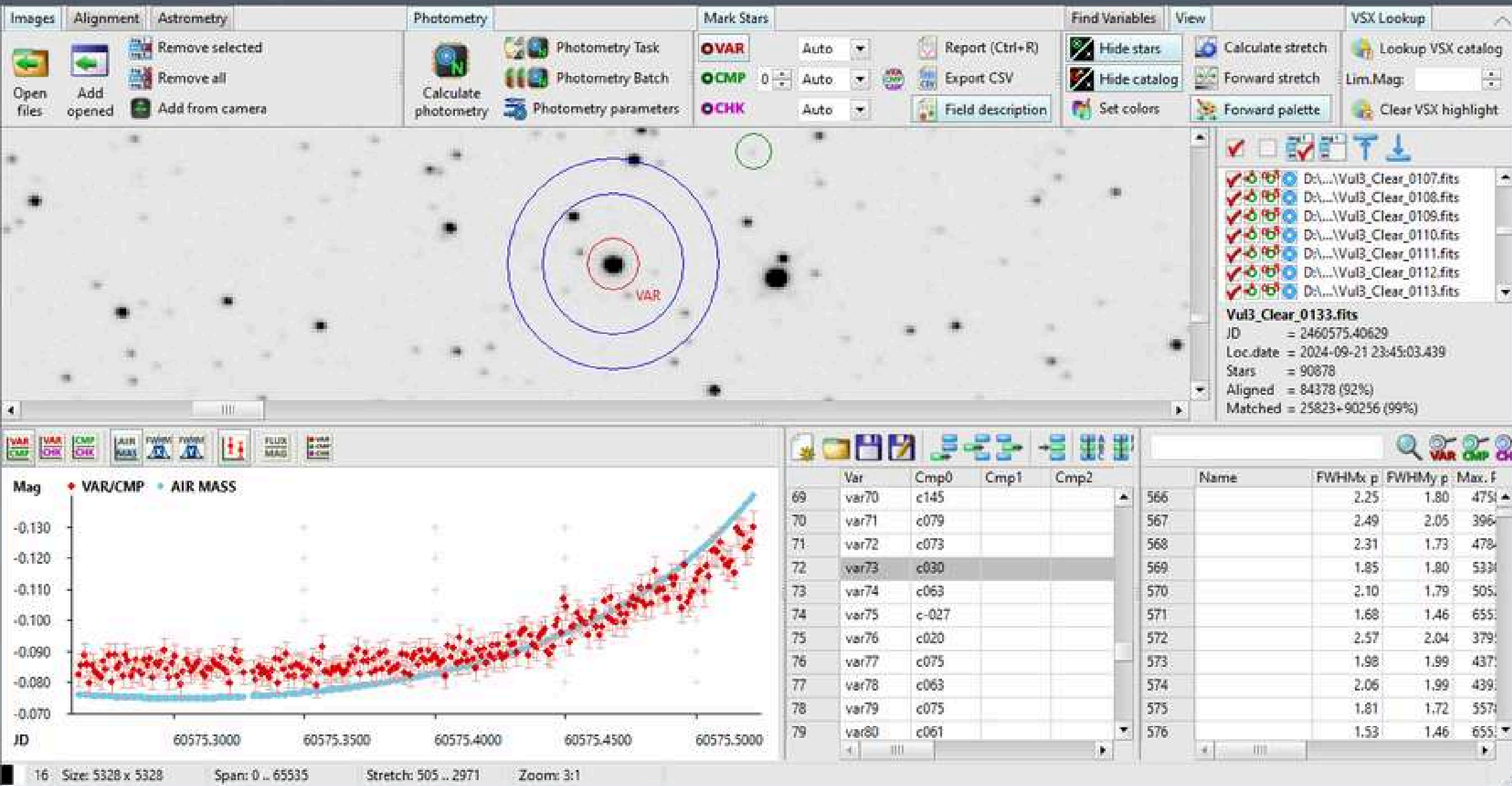
(21459) Chrisrussel 17.6 mag

(497) Iva 13.3 mag



Atmosférická extinkce

- Atmosféra rozptyluje krátké vlnové délky (modrou) a propouští dlouhé vlnové délky (červenou)
- V různé výšce nad obzorem prochází světlo různě silnou vrstvou vzduchu a v něm rozptýlených částic (vodní pára, prach, ...)
 - Vrstva vzduchu (anglicky **air mass**) je udávána v jednotkách zenitové vrstvy (v zenitu je $\text{air mass} = 1$)
- Pokud mají dvě hvězdy **rozdílnou barvu**, v různé výšce nad obzorem se jejich **vzájemná jasnost mění**
 - Modré hvězdy blíže k obzoru tmavnou více než červené
 - V případě proměnné a srovnávací hvězdy to vede na falešné změny jasnosti

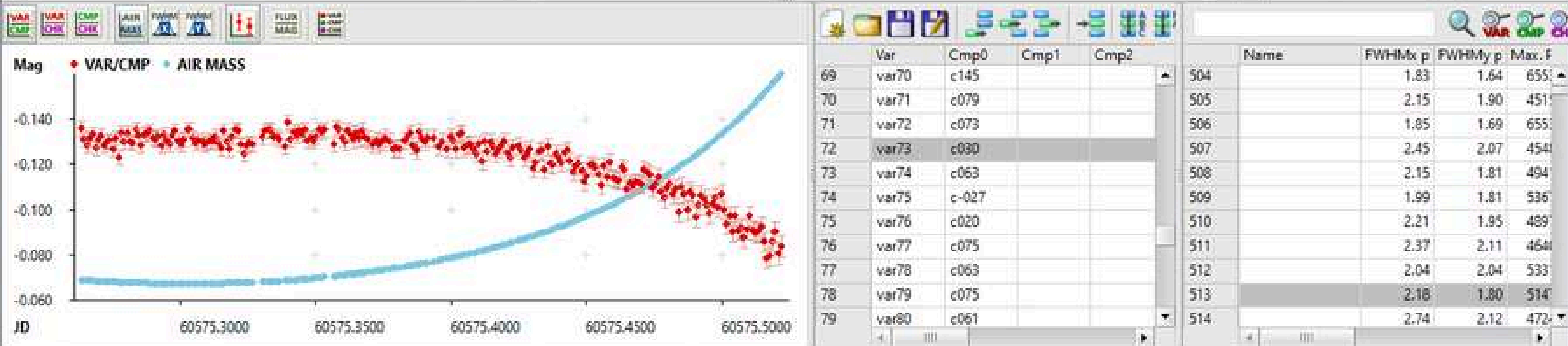
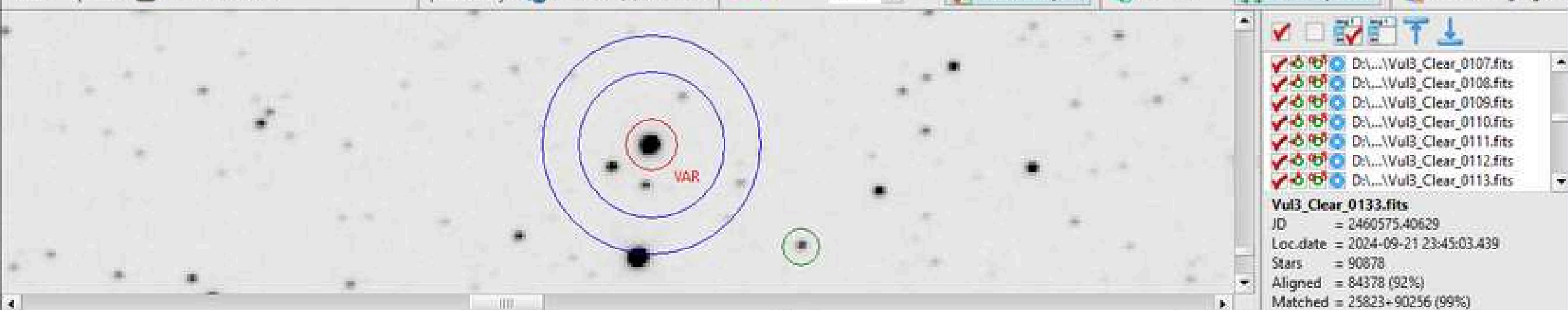


Images Alignment Astrometry Photometry Mark Stars Find Variables View VSX Lookup

Open files Add opened Add from camera Remove selected Remove all Calculate photometry Photometry Task Photometry Batch Photometry parameters

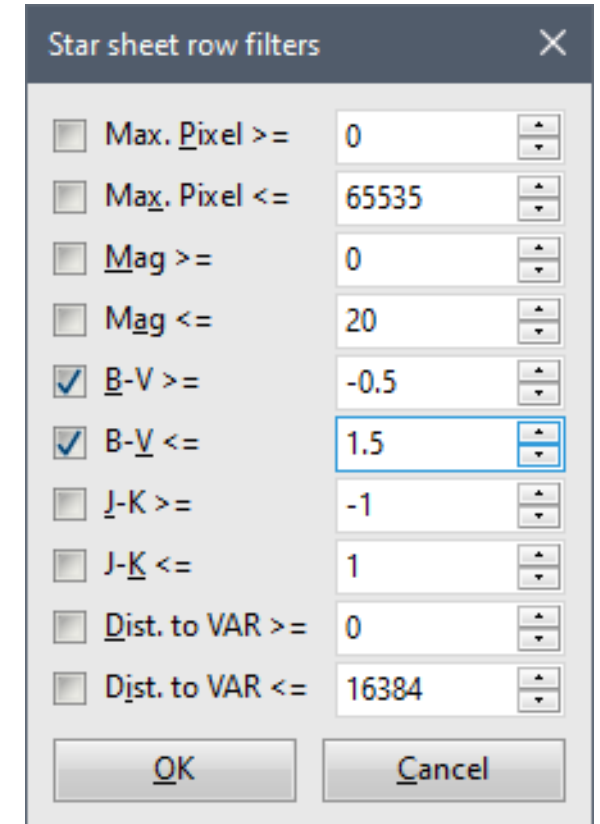
VAR CMP 0 Auto Report (Ctrl+R) Export CSV Field description

Hide stars Hide catalog Set colors Calculate stretch Forward stretch Forward palette Lookup VSX catalog Lim.Mag: Clear VSX highlight



Co s atmosférickou extinkcí?

- Vliv extinkce je výrazně omezen použitím filtrů
 - Čím užší je propustné pásmo filtru, tím je vliv extinkce menší
- Při pozorování bez filtru je nutné volit proměnnou a srovnávací hvězdu stejné (co nejpodobnější) barvy
 - Barva hvězdy je indikována barevným indexem, např. B-V
- Fotometrie SIPS dovoluje v tabulce hvězd zobrazit barevné indexy a také filtrovat hvězdy podle barevného indexu



Star sheet row filters

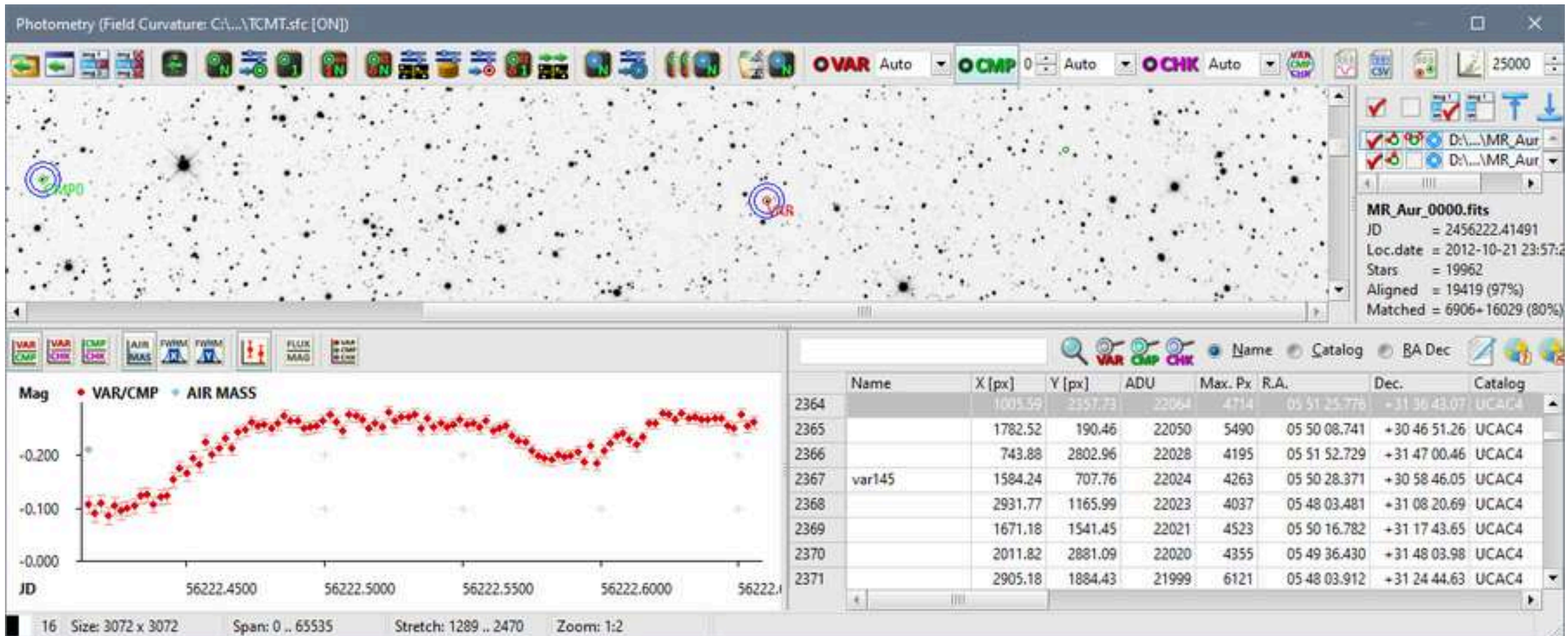
☐	Max. Pixel >=	0
☐	Max. Pixel <=	65535
☐	Mag >=	0
☐	Mag <=	20
☒	B-V >=	-0.5
☒	B-V <=	1.5
☐	J-K >=	-1
☐	J-K <=	1
☐	Dist. to VAR >=	0
☐	Dist. to VAR <=	16384

OK Cancel

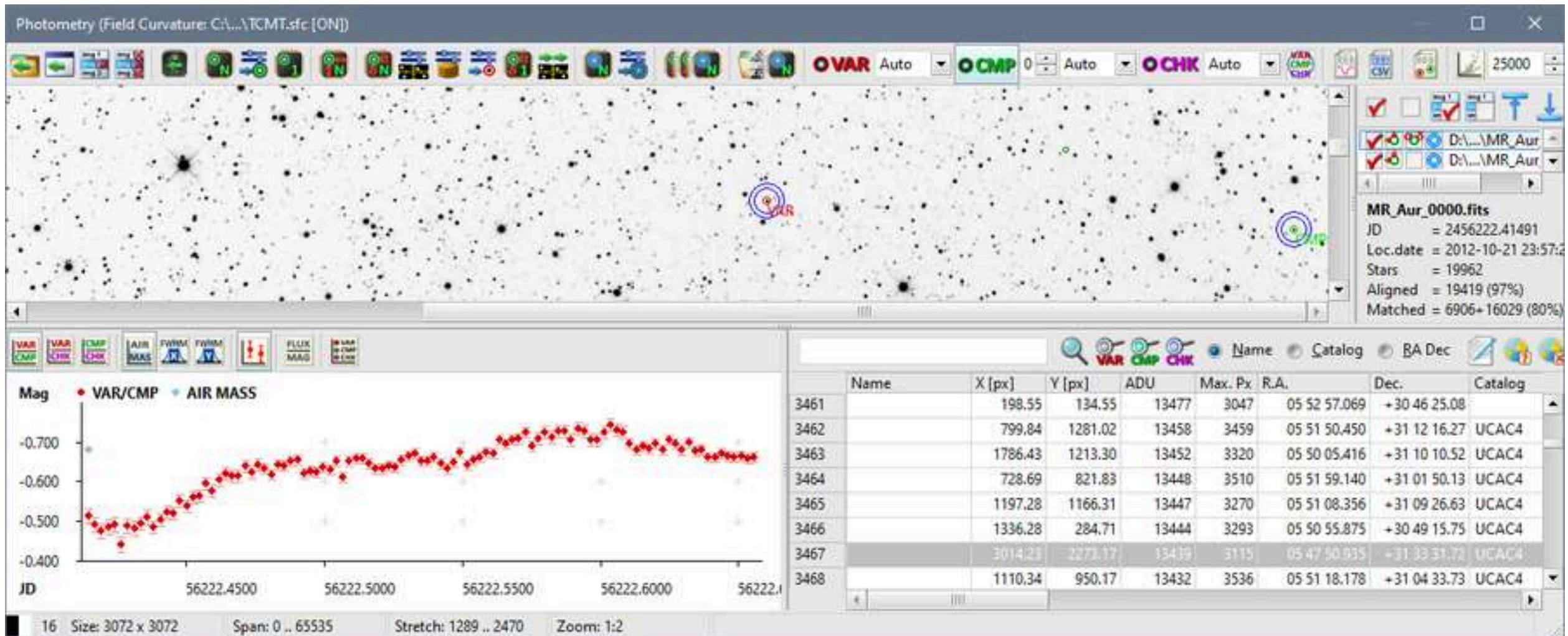
Vlivy počasí

- Změny počasí jsou příčinou velkého množství artefaktů
- Vliv počasí je umocněn svitem Měsíce a světelným znečištěním
- Vysoká oblačnost, mlha, změny seeingu atd.:
 - Zvyšují rozptyl měření
 - Vytváření falešná minima (nebo naopak maxima)
- Vliv počasí samozřejmě závisí na poměru signál/šum
 - Velmi jasné hvězdy jsou ovlivňovány méně

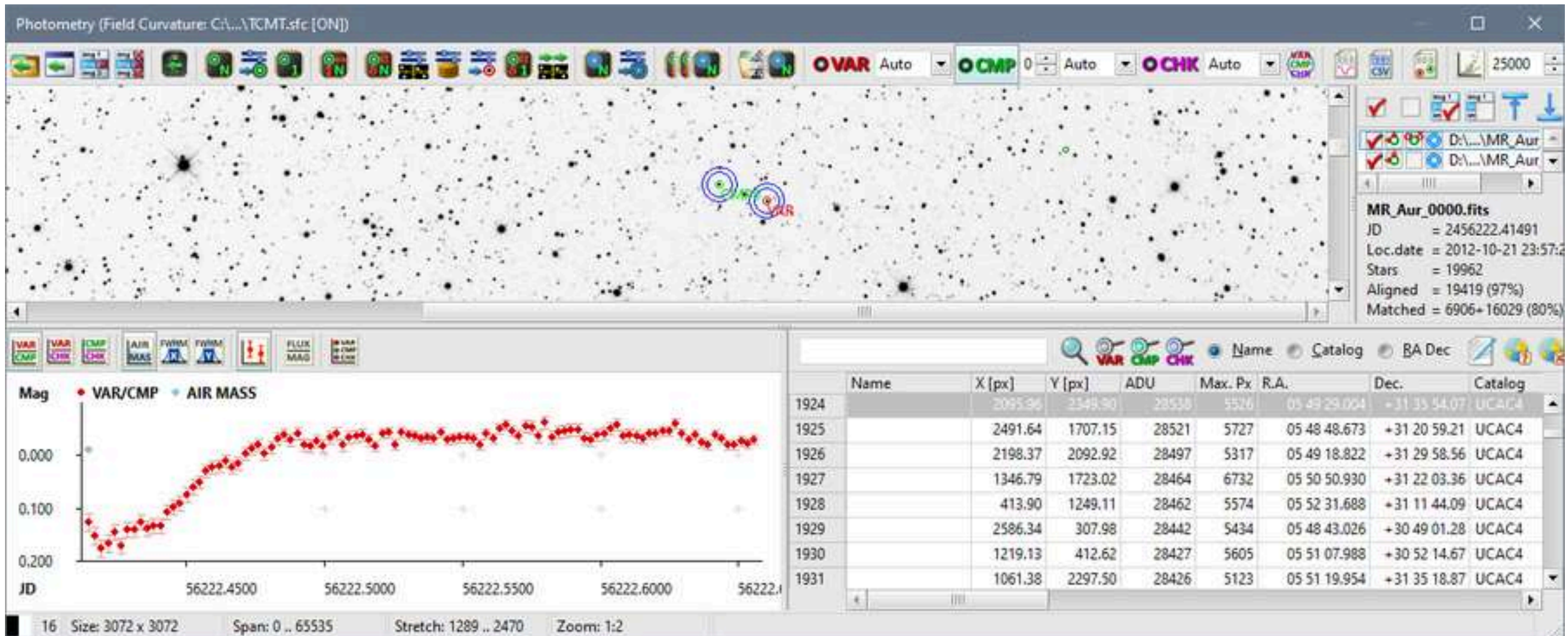
CzeV515 Aur 21.-22. 10. 2012



CzeV515 Aur 21/22. 10. 2012

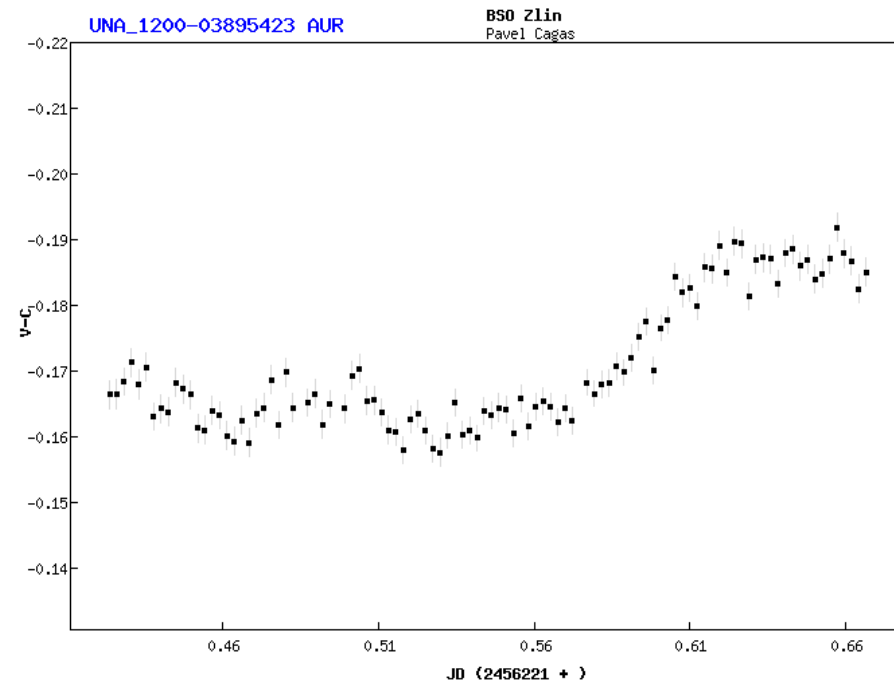
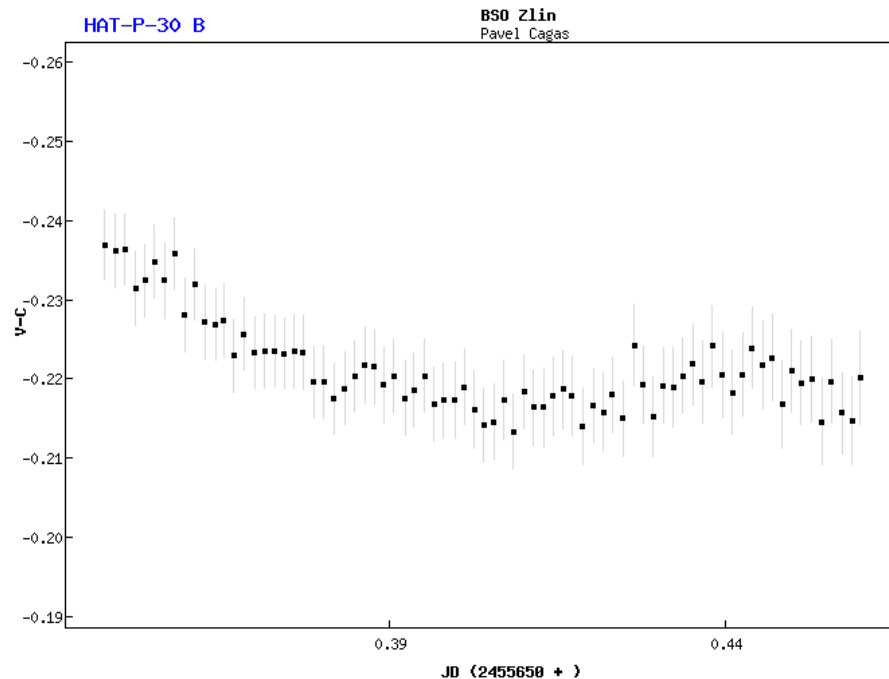


CzeV515 Aur 21/22. 10. 2012

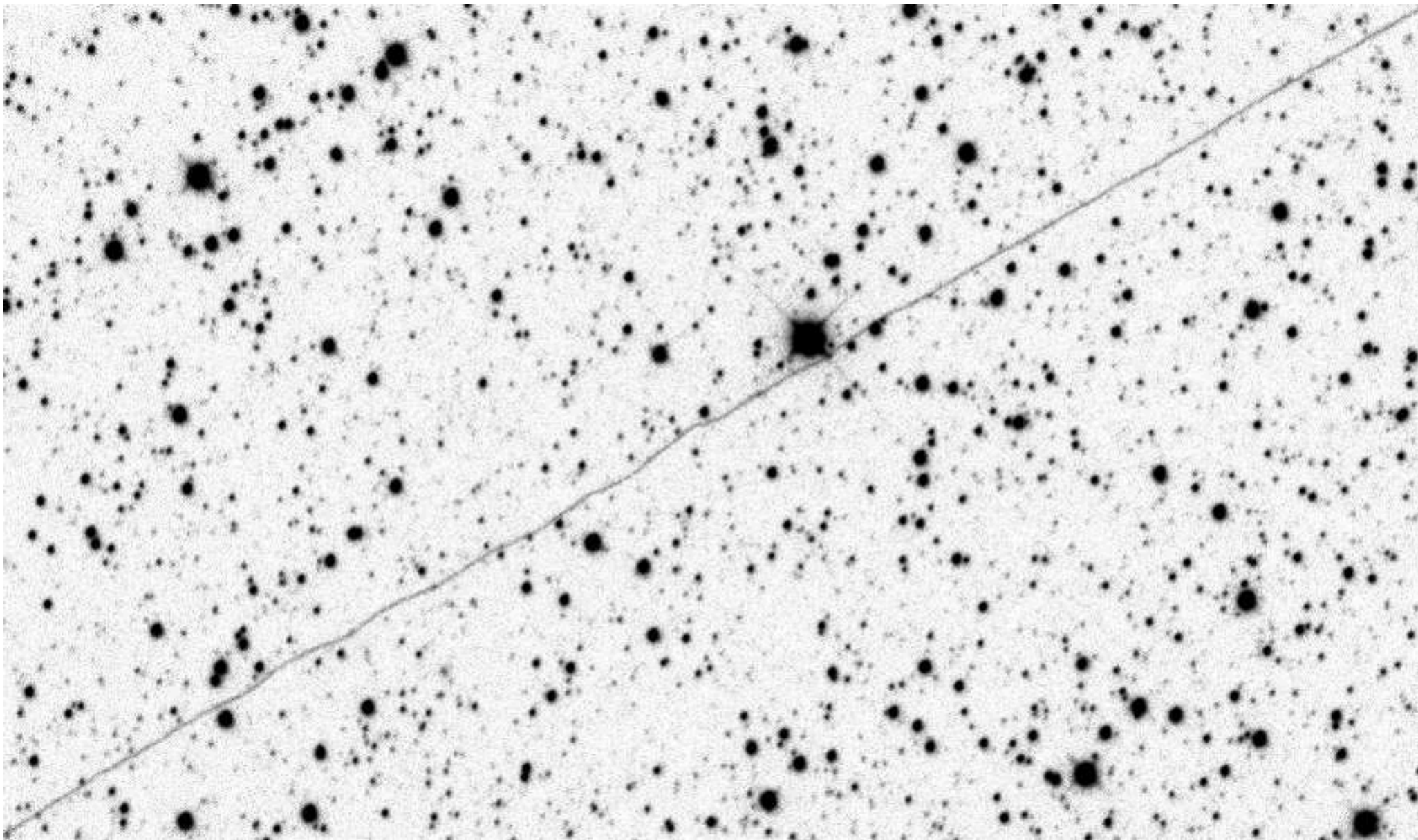


Skutečný vs. falešný tranzit

- Vysoký B-V index (červená hvězda) nabádá k opatrnosti
- Změna nesmí záviset na průměru clonky
- Změna se nesmí opakovat i u jiných hvězd v poli



Vítr



Další možné příčiny falešných minim

- **Zarosení** optického okna chladné komory senzoru
 - Světlo hvězdy procházející přes vodní kapky na skle to rozptylováno a tlumeno
- Výrazná **změna seeingu** během noci
 - Rozmazání obrazu hvězdy rozptýlí více signálu mimo fotometrickou clonku
- **Saturace** pixelu
 - Nelze zpětně určit, kolik signálu bylo ztraceno (přeteklo) když pixel dosáhl maximálního nasycení
 - Kamery Cx poskytují informaci i saturační hodnotě (FITS hlavička DATAMAX)
 - SIPS při kalibraci zachovává saturované pixely (odečtení dark frame)
 - Fotometrie SIPS vyřazuje měření pokud je i jedna hvězda saturovaná
 - Firmware kamer Cx i SIPS dokáže **zachovat informaci o saturaci při binningu**

Fotometrické zpracování snímků

```
#pragma omp parallel for
for ( i = 0; i < Depth; :
    int j;
    double ix, ix2;
    double iy, iy2;
    double rp;
    unsigned int * PPixel;

    iy = (double) (i - Dep
    iy2 = iy * iy;
    PPixel = (unsigned int

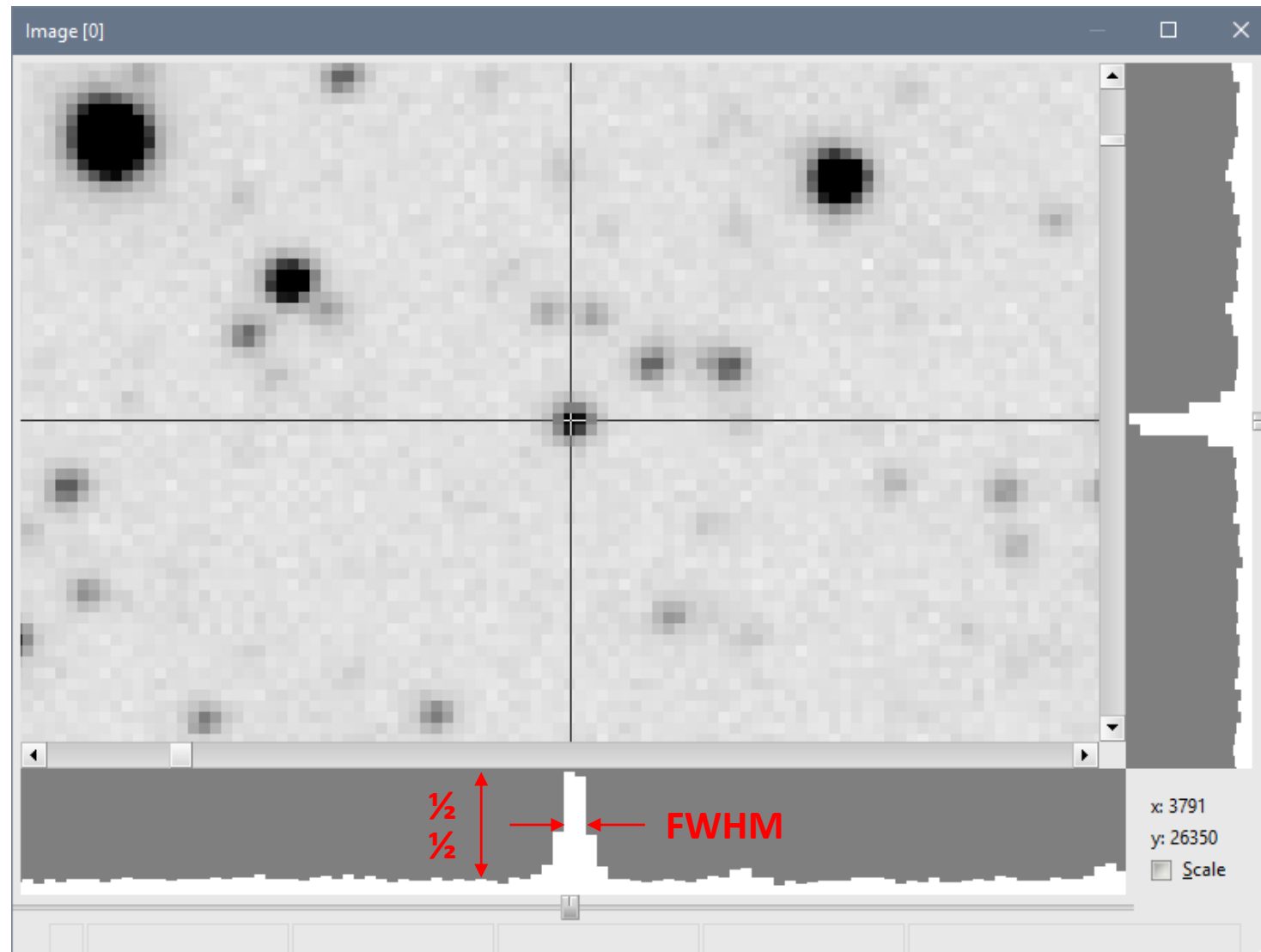
    for ( j = 0; j < Width
        ix = (double) (j -
        ix2 = ix * ix;
        rp = ix * ix2 * x3
        rp = rp * Scale;
        rp = rp * 100.0 + (
        if (rp < 0) {
            (*PPixel) = 0;
        } else if (rp > (dc
            (*PPixel) = (uns
        } else {
            (*PPixel) = (uns
        }

        PPixel++;
    }
}
```

Rozptylová funkce (PSF – Point Spread Function)

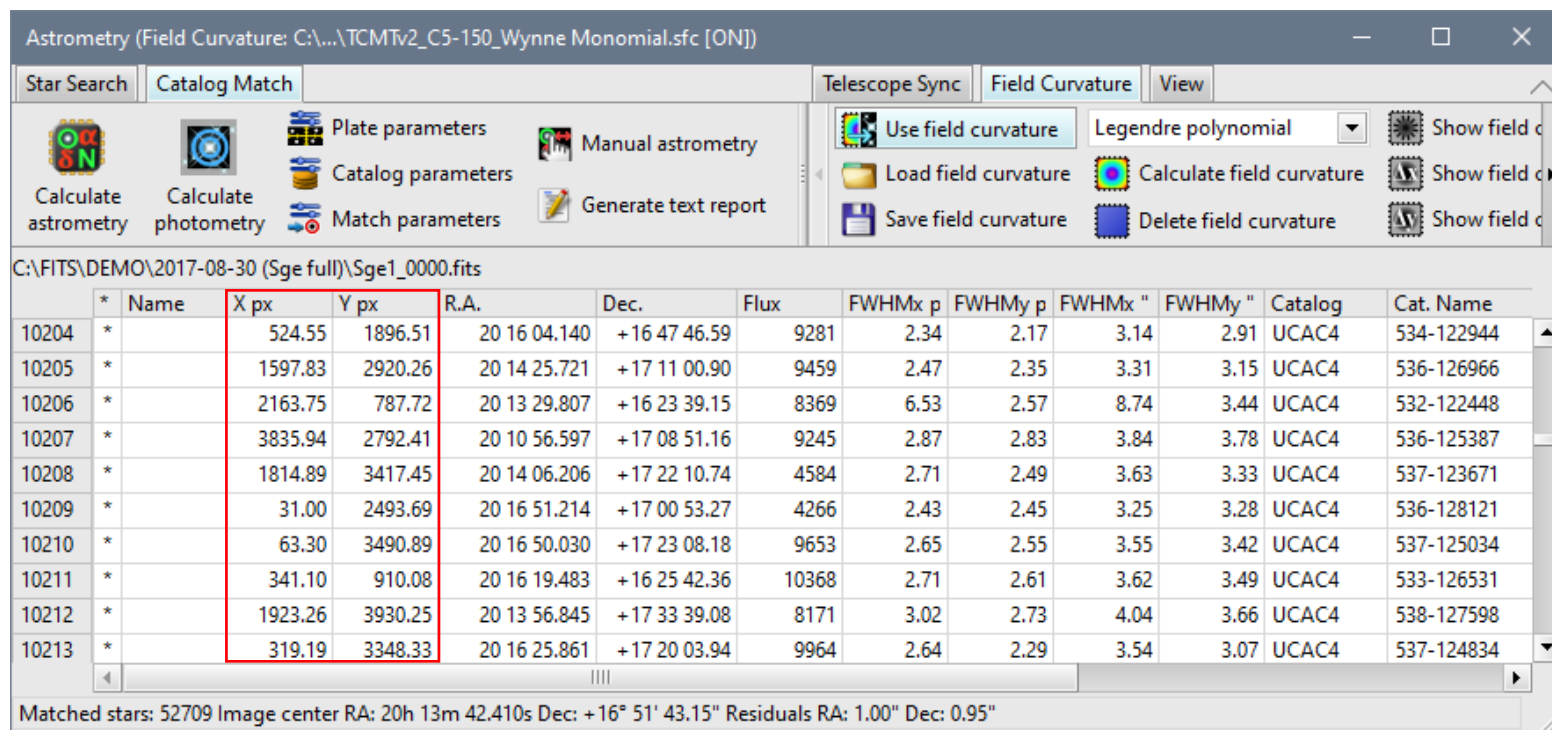
- Bodový zdroj světla není zobrazen do bodu, ale je „rozmazán“ do řady pixelů
- Rozmazání je způsobeno:
 - Vlnovou povahou světla (náš detektor má omezený průměr)
 - Nedokonalostí optiky (Strehl ratio < 1)
 - Neklidem atmosféry (anglicky **seeing**)
 - Nedokonalostí vedení za hvězdami, deformacemi tubusu a montáže atd.
- Funkce popisující „rozmazání“ je nazývána **Rozptylová funkce** (anglicky **Point Spread Function – PSF**)

Hvězda zobrazená vzorkováním 1,3"/px



Těžiště hvězdy

- Těžiště je vážený průměr pozice hvězdy
 - Váhou je hodnota (ADU) pixelu
- Vážený průměr dovoluje určit polohy hvězdy s přesností lepší jak 0,1 pixelu



The screenshot shows the 'Astrometry' software window. The 'Catalog Match' tab is active, displaying a table of matched stars. The table has columns for Name, X px, Y px, R.A., Dec., Flux, FWHMx p, FWHMy p, FWHMx ", FWHMy ", Catalog, and Cat. Name. The first 13 rows of the table are highlighted with a red border. The status bar at the bottom indicates 'Matched stars: 52709 Image center RA: 20h 13m 42.410s Dec: +16° 51' 43.15" Residuals RA: 1.00" Dec: 0.95"'. The file path in the title bar is 'C:\FITS\DEMO\2017-08-30 (Sge full)\Sge1_0000.fits'.

	*	Name	X px	Y px	R.A.	Dec.	Flux	FWHMx p	FWHMy p	FWHMx "	FWHMy "	Catalog	Cat. Name
10204	*		524.55	1896.51	20 16 04.140	+16 47 46.59	9281	2.34	2.17	3.14	2.91	UCAC4	534-122944
10205	*		1597.83	2920.26	20 14 25.721	+17 11 00.90	9459	2.47	2.35	3.31	3.15	UCAC4	536-126966
10206	*		2163.75	787.72	20 13 29.807	+16 23 39.15	8369	6.53	2.57	8.74	3.44	UCAC4	532-122448
10207	*		3835.94	2792.41	20 10 56.597	+17 08 51.16	9245	2.87	2.83	3.84	3.78	UCAC4	536-125387
10208	*		1814.89	3417.45	20 14 06.206	+17 22 10.74	4584	2.71	2.49	3.63	3.33	UCAC4	537-123671
10209	*		31.00	2493.69	20 16 51.214	+17 00 53.27	4266	2.43	2.45	3.25	3.28	UCAC4	536-128121
10210	*		63.30	3490.89	20 16 50.030	+17 23 08.18	9653	2.65	2.55	3.55	3.42	UCAC4	537-125034
10211	*		341.10	910.08	20 16 19.483	+16 25 42.36	10368	2.71	2.61	3.62	3.49	UCAC4	533-126531
10212	*		1923.26	3930.25	20 13 56.845	+17 33 39.08	8171	3.02	2.73	4.04	3.66	UCAC4	538-127598
10213	*		319.19	3348.33	20 16 25.861	+17 20 03.94	9964	2.64	2.29	3.54	3.07	UCAC4	537-124834

Matched stars: 52709 Image center RA: 20h 13m 42.410s Dec: +16° 51' 43.15" Residuals RA: 1.00" Dec: 0.95"

Astrometrie

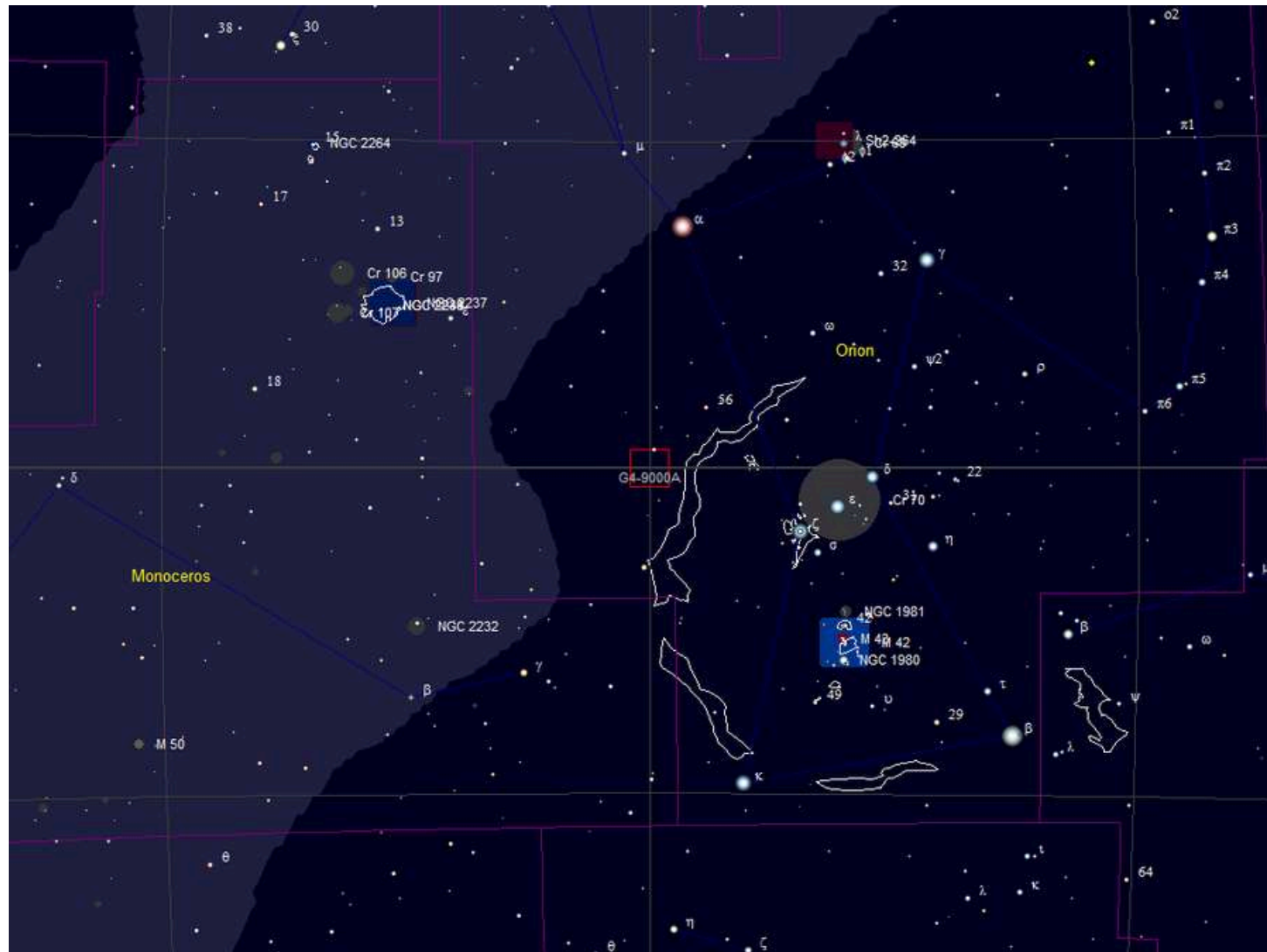
- Cílem astrometrické redukce je získat souřadnice pozorovaného objektu
- Astrometrie je vždy relativní, tedy vztažená vzhledem k jiným objektům (hvězdám) v poli, jejichž poloha je dobře známa
 - Hvězdy jsou obsaženy v katalogu včetně svých souřadnic α , δ (rektascenze a deklinace)
- Kalibrace souřadného systému snímku pomocí známých hvězd dovolí určit souřadnice α , δ libovolného dalšího objektu v obraze

Vztah mezi souřadnicemi snímku (x, y) a (α, δ)

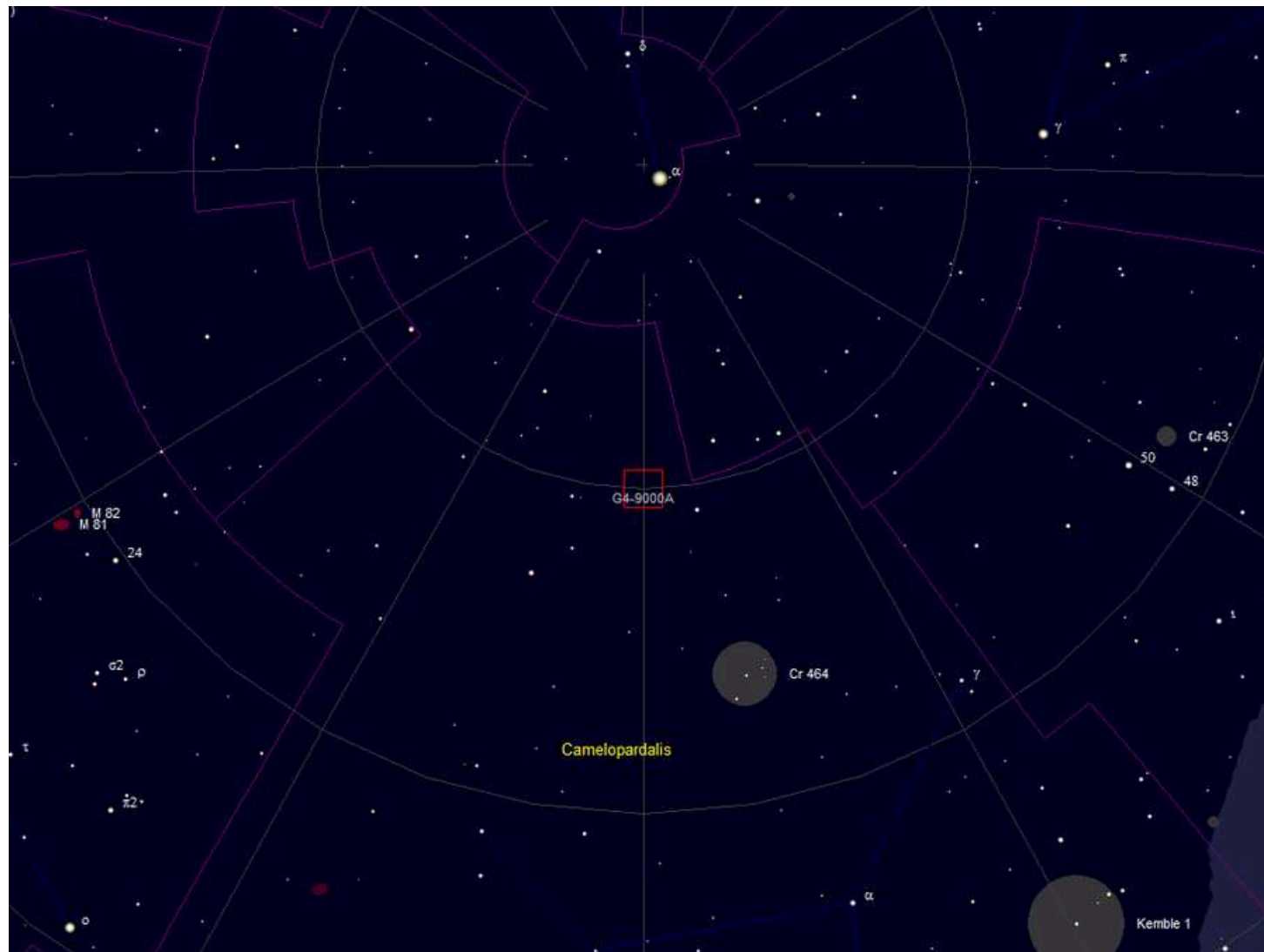
- Nebeská sféra je promítnuta na rovinu čipu, je nutno zvolit transformaci souřadnic
- Pro malá zorná pole dobře vyhovuje tangenciální projekce
 - Plocha obrazu je v jednom bodě ve středu snímku „přiložena“ na kulový povrch nebeské sféry



Blízko rovníku je zkreslení malé



Směrem k pólům zkreslení roste

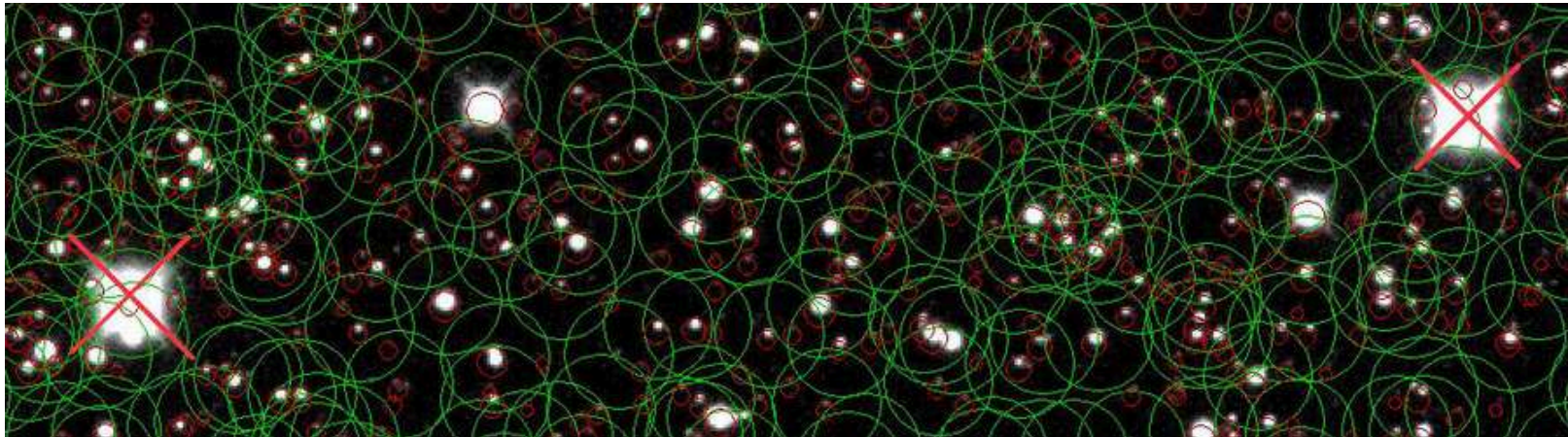


Astrometrie ve fotometrii

- Astrometrická redukce není pro fotometrii nutná
 - Uživatel pak ale musí ručně označit proměnnou, srovnávací a případně kontrolní hvězdu aby získal světelnou křivku
 - Pro jedinou křivku v pozorovací řadě to není problém
- Astrometrická redukce přináší možnost automatického zpracování, bez nutnosti zásahů uživatele
 - Také eliminuje případné chyby a přehlédnutí
- U řady hvězd ve velkých polích dokáže automatické označování ušetřit velké množství času

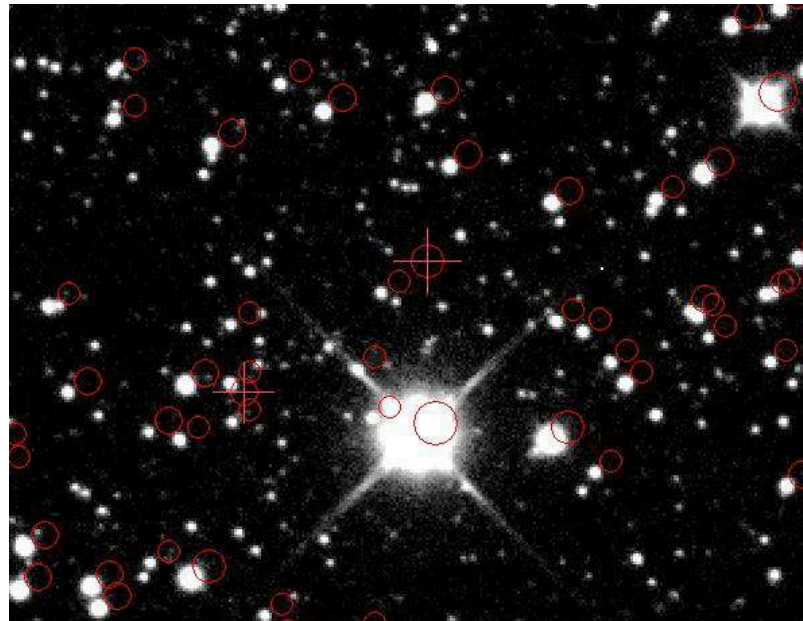
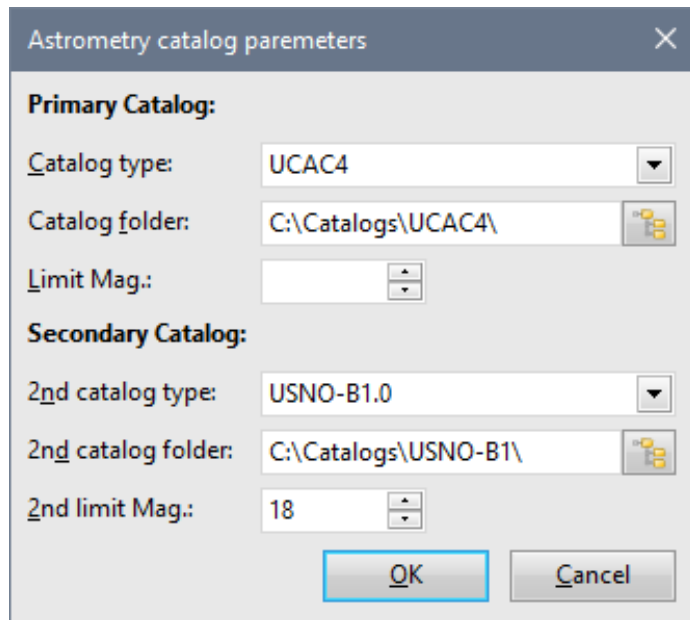
Astrometrický katalog

- Astrometrická redukce potřebuje referenční katalog, se kterým páruje hvězdy na snímku
- SIPS (momentálně) podporuje katalogy UCAC4, UCAC5, USNO-A2.0 a USNO-B1.0
 - USNO-A2.0 není katalog vhodný pro astrometrii, protože v něm chybí řada jasných hvězd



Astrometrický katalog

- UCAC4 je v současnosti nejsnáze dostupný astrometrický katalog
 - <ftp://cdsarc.u-strasbg.fr/pub/cats/I/322A/UCAC4/>
- Chyby v UCAC4 představují nadbytečné hvězdy, což pro astronomickou redukci nevadí tak, jako když jasné hvězdy chybí



Astrometrie v programu SIPS

- Pro úspěšné sesazení s hvězdami je zapotřebí znát alespoň **přibližné souřadnice** středu snímku
- Dále potřebuje SIPS znát **přibližné měřítko**:
 - Buď přímo úhlovou velikost pixelu
 - Nebo fyzickou velikost pixelu a ohniskovou vzdálenost
- Mezi astronomy panuje neshoda, jestli fyzická velikost pixelu ve FITS zahrnuje **binning** nebo ne

Plate astrometry information

Coordinates of the image center:

R.A.: 2 h 4 m 4.18 s

Dec.: 32 ° 49 ' 0.8 "

Camera parameters:

X pixel scale: 2.065 arcsec

Y pixel scale: 2.065 arcsec

☒ Defined pixel size includes binning

X pixel size: 13.6 um X binning: 2

Y pixel size: 13.6 um Y binning: 2

Connected camera X pixel size: 10.00 um

Connected camera Y pixel size: 10.00 um

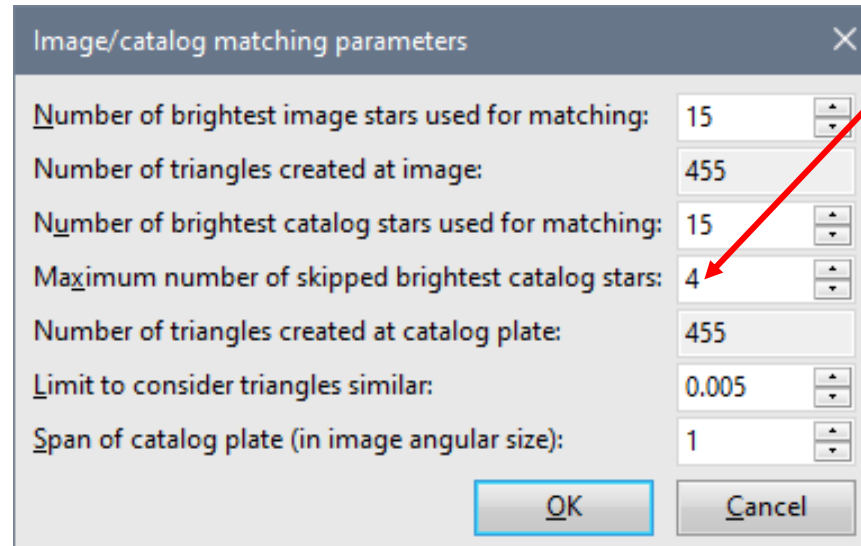
Telescope parameters:

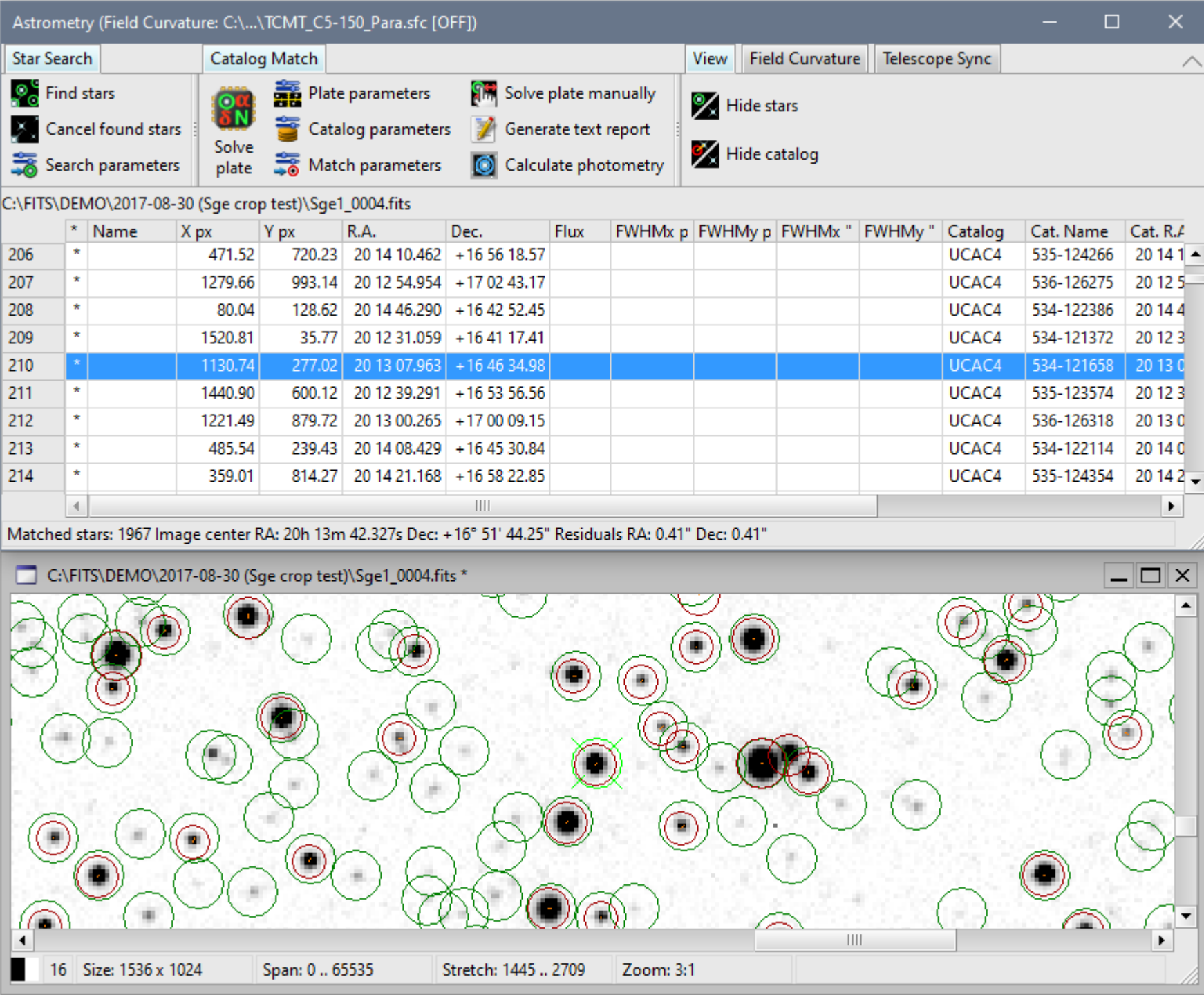
Focal length: 1350 mm

Update Image Cancel

Astrometrie v programu SIPS

- Pokud jsou souřadnice středu snímku nepřesné (chyba $> \sim \frac{1}{4}$ velikosti zorného pole), je nutné zvolit větší oblast katalogu
 - Velikost prohledávané oblasti katalogu je zadávána v násobcích zorného pole
- Pro případ, že SIPS **nedokáže nalézt nejjasnější** hvězdy v poli (např. jsou poškozeny boomingem), může astrometrie **přeskočit** nejjasnější hvězdy z katalogu





Použití dvou katalogů

- SIPS podporuje použití dvou katalogů současně
 - Jeden katalog je **primární**, pokud je s ním hvězda sesazena, používá se primární označení
 - **Sekundární** katalog slouží k označení hvězd nenalezených v primárním katalogu
- Jako primární je vhodné označit katalog s bohatými informacemi o hvězdě – jasnosti v řadě fotometrických filtrů, vlastní pohyb, ...
 - Vhodný je např. UCAC4
- Sekundární pak slouží k vytvoření cross-identifikace hvězd, která v primárním katalogu nejsou obsaženy
 - Vhodný je např. USNO-B1.0

Dva astrometrické katalogy

Astrometry catalog parameters

Primary Catalog:

Catalog type: UCAC4

Catalog folder: C:\Catalogs\UCAC4\

Limit Mag.:

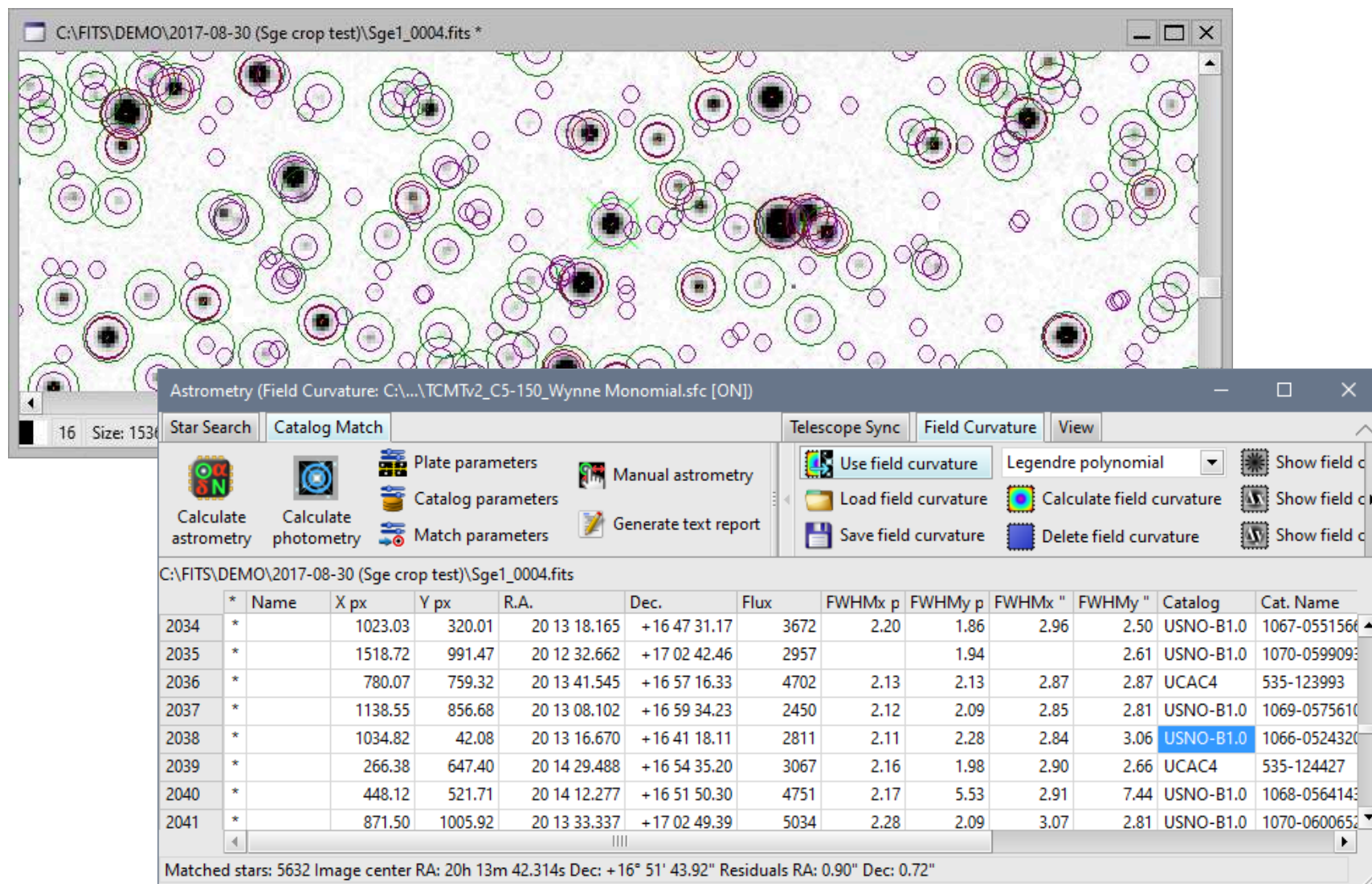
Secondary Catalog:

2nd catalog type: USNO-B1.0

2nd catalog folder: C:\Catalogs\USNO-B1\

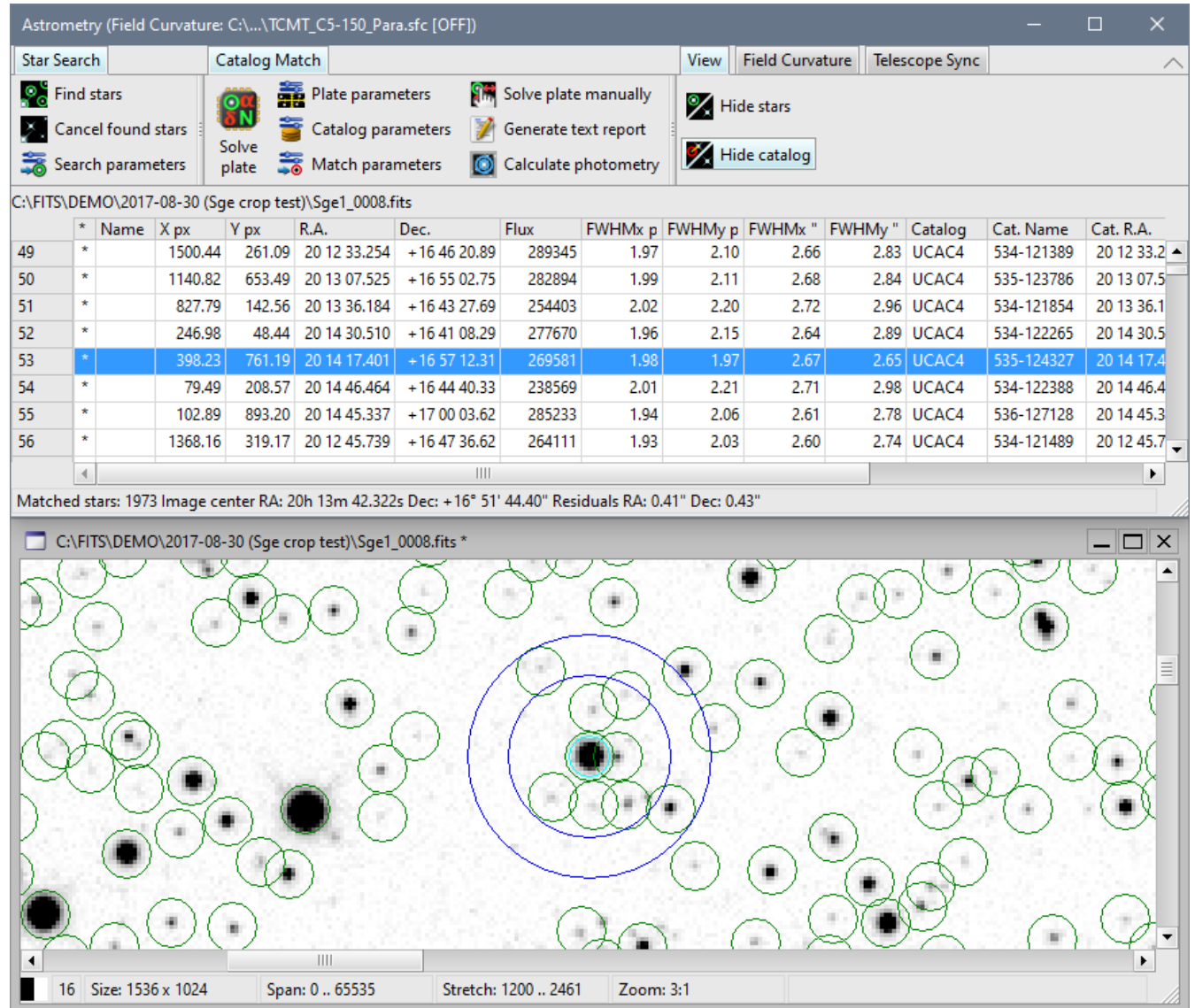
2nd limit Mag.: 18

OK Cancel



Fotometrie v Astrometrii

- Nástroje Astrometrie dovoluje spočítat pro vybraný snímek fotometrii
- Fotometrie určí **FWHM** hvězd v osách X a Y
- Dále určí **přesný flux** hvězd



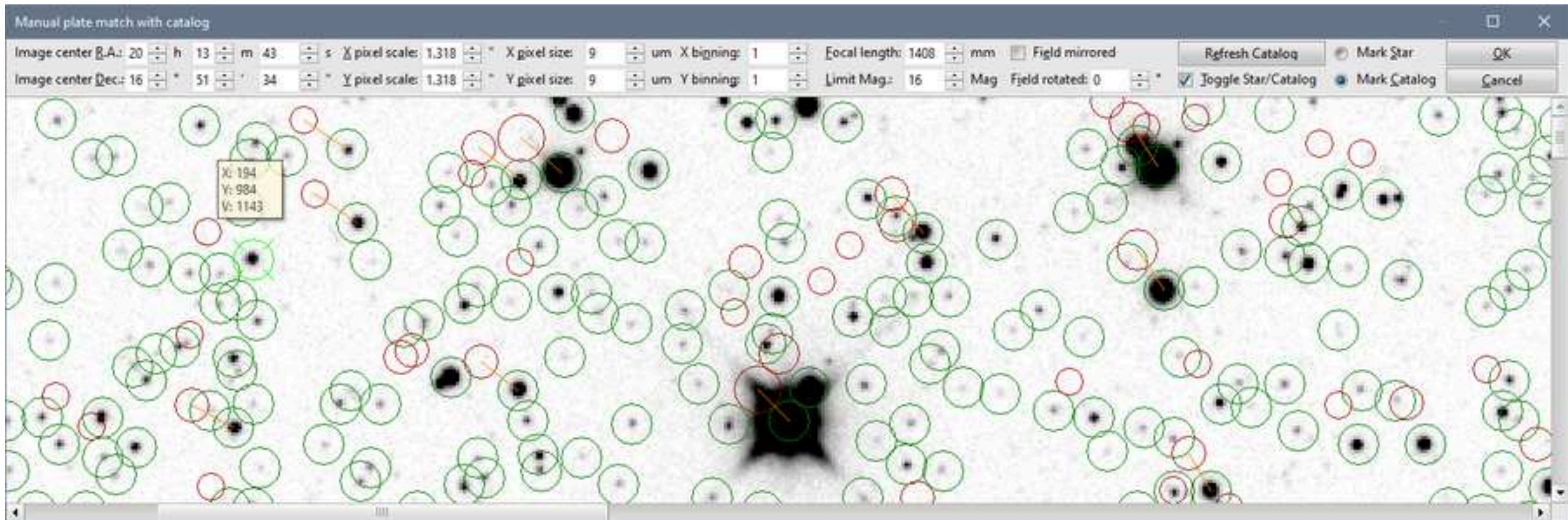
Popis deformace pole

- Kamery s velkými senzory vyžadují optické korektory, zajišťující vykreslení velkého zorného pole bez aberací
- Širokoúhlé optické soustavy ale zpravidla nedokáží přesně dodržet tangenciální projekci
 - Pokud je odchylka polohy hvězd od tangenciální projekce $< \text{FWHM}$ hvězd, není nutné se jí zabývat
 - Větší odchylka (násobek FWHM hvězd) ale může způsobit selhání astrometrických algoritmů
 - Pokud se pole během snímání fotometrické řady posouvá, může selhávat i vzájemné sesazení snímků během zpracování fotometrie

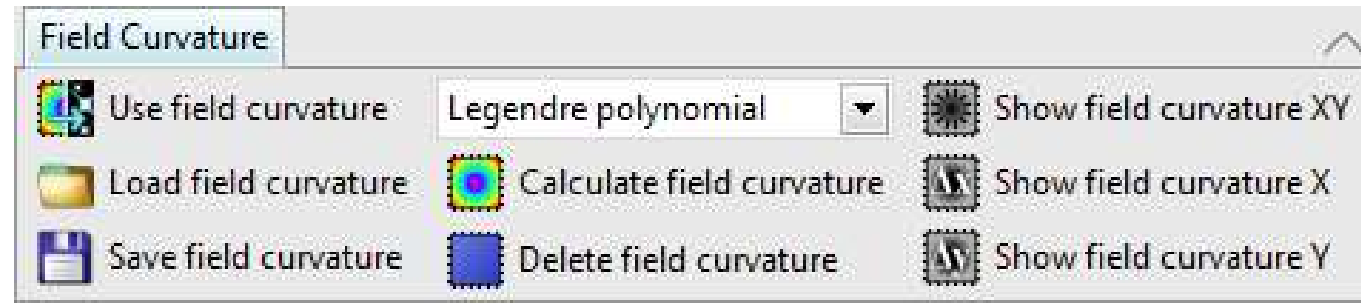
Korekce deformace pole v SIPS

- Korekce pole je v SIPS implementována dvěma plošnými (2D) polynomy 3. stupně nezávisle pro zkreslení v ose X a v ose Y
- Tvorbu těchto korekčních polynomů zajišťuje nástroj **Astrometrie**, nástroj **Fotometrie** pak korekční polynomy pouze používá
 - Zkreslení je určeno podle rozdílů polohy hvězd na snímku a v katalogu
 - U velkých zkreslení ale není automatické sesazení možné (Hlava 22)
 - Astrometrie proto nabízí možnost manuálního sesazení

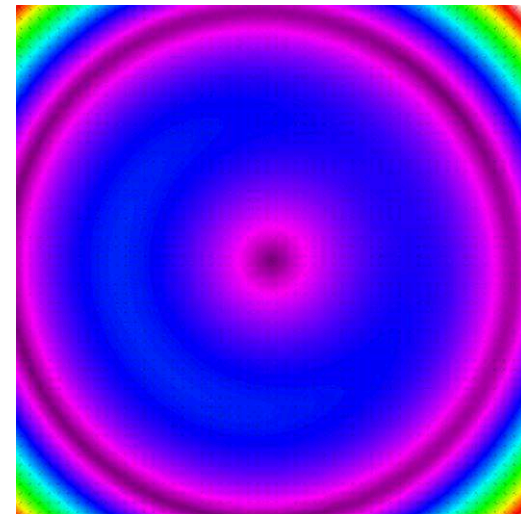
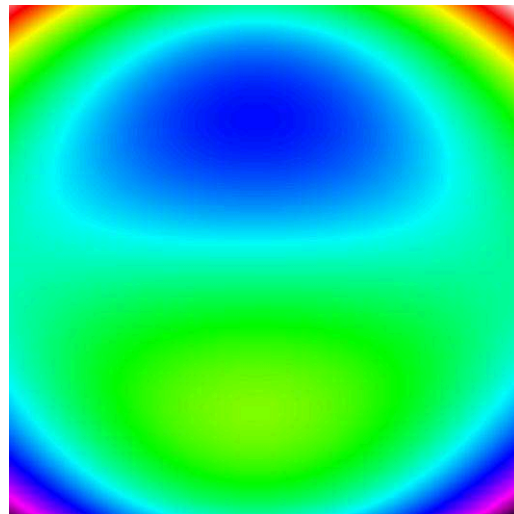
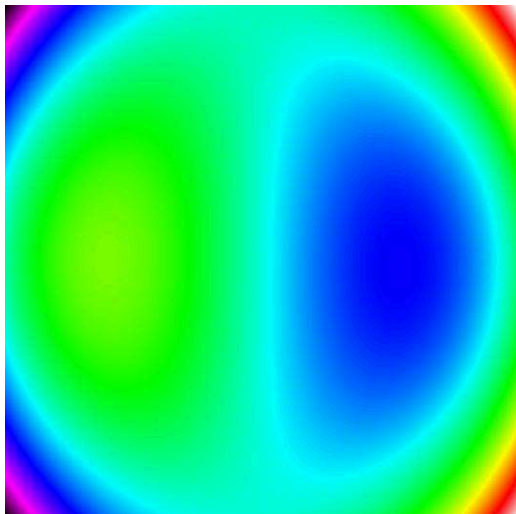
Nástroj pro manuální sesazení snímku s katalogem



Výpočet a ukládání korekčních polynomů v nástroji Astrometrie

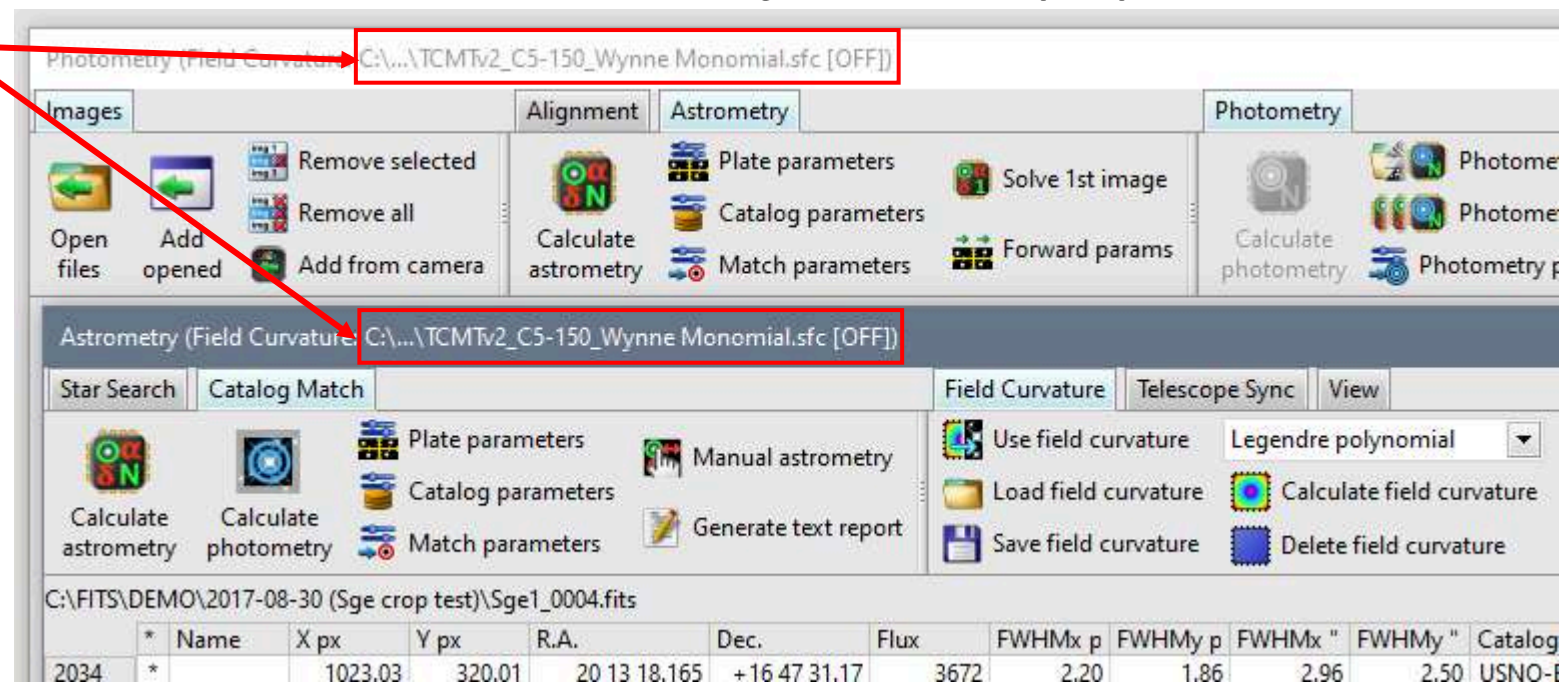


Vizualizace odchylek v osách x, y a celková odchylka



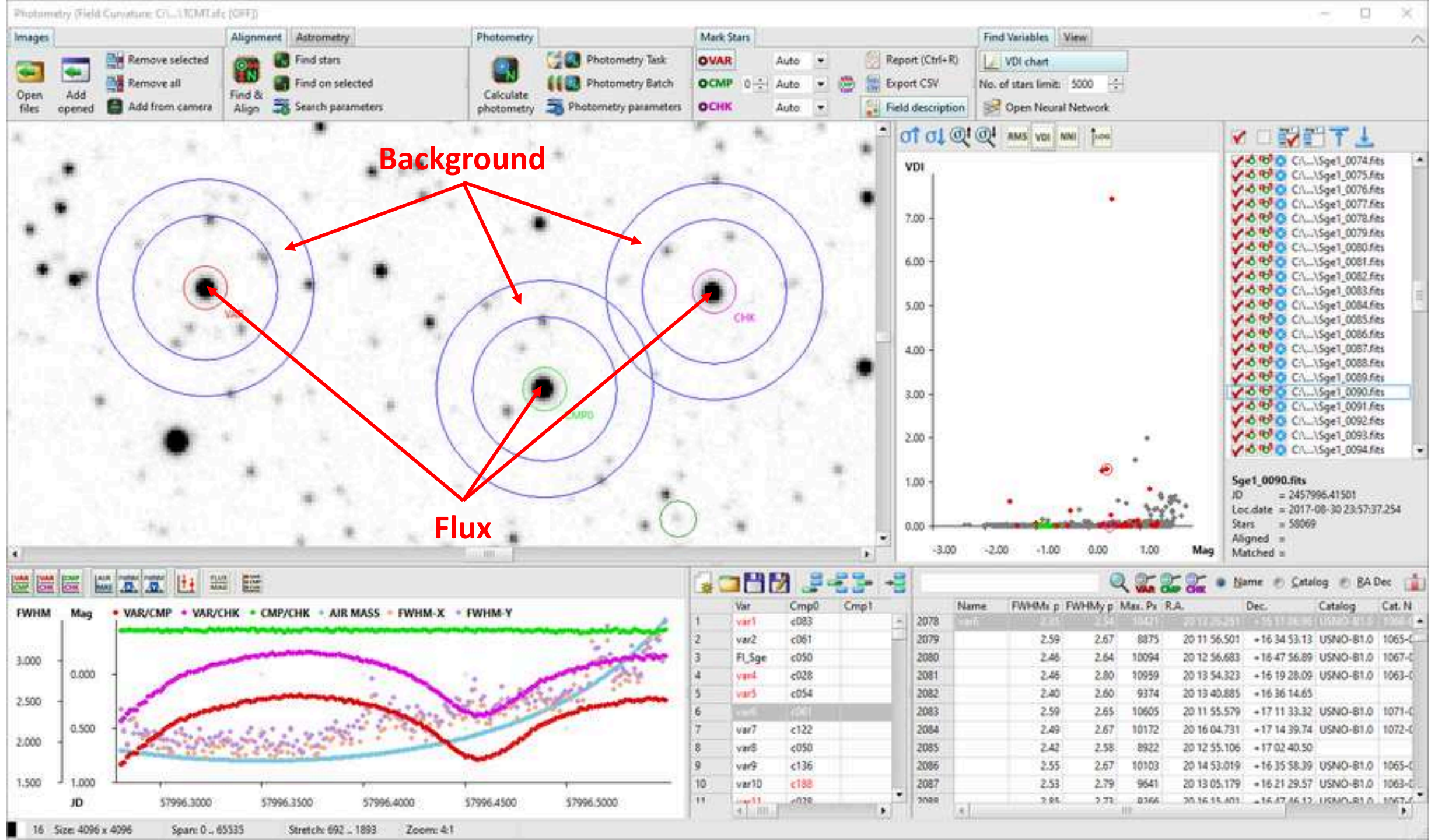
Indikace použití korekce deformace pole

- Použití popisu deformace pole je ovládáno výhradně z nástroje **Astrometrie**
 - Zvolená korekce deformace pole je ale používána i nástrojem **Fotometrie**
- Nástroje Astrometrie i Fotometrie indikují aktivní popis deformace pole v titulku



Fotometrie (aperturní)

- Světelný tok hvězdy (anglicky **flux** [flʌks]) je spočítán jako součet hodnot všech pixelů v kružnici o zadaném poloměru (**apertuře**)
- Příspěvek každého pixelu je počítán jako rozdíl mezi hodnotou pixelu a hodnotou pozadí
- Pozadí je určeno jako průměrná hodnota jasu oblohy spočítaná v mezikruží obklopující měřenou hvězdu
 - Prostý průměr nestačí, v mezikruží může být řada rušivých vlivů – horké pixely, stopy částic, jiné hvězdy, ...



Role apertur

- Správné určení apertur hraje velkou roli při měření
 - Příliš malá apertura nezahrnuje veškerý jas hvězdy
 - Příliš velká apertura zahrne hodně pixelů nepatřících hvězdě a zhoršuje tak poměr signál/šum
- Někdy se podobným problémům nelze vyhnout
 - Hvězda během měření mění FWHM, např. soustava se rozostřuje, mění se atmosférické podmínky (zhoršuje se seeing) apod.

Apertura a jas proměnné a srovnávací hvězdy

- Pro nejlepší dosažitelný poměr signál/šum je žádoucí, aby měřená i srovnávací hvězda vyplnily dynamický rozsah kamery
 - Kamera zpravidla digitalizuje pixely v rozsahu 0..65535 ADU
 - Pokud byť jediný pixel dosáhne 65535, je saturován a přesnost měření je omezena (nelze totiž zjistit kolik ADU nad 65535 chybí)
 - Velmi nízké hodnoty (stovky ADU) na druhé straně hodně snižují odstup signálu od šumu pozadí
- Proměnná i srovnávací hvězda by měly optimálně vyplňovat zvolenou aperturu

Flux (světelný tok)

- Suma pixelů v apertuře hvězdy nad úrovní pozadí reprezentuje množství světla zachycené z dané hvězdy
- Flux se během noci mění se změnou výšky nad obzorem, ale i se změnami počasí atd.
- Proto se jas sledované hvězdy (typicky **proměnná hvězda, variable, VAR**) vztahuje k vybrané **srovnávací hvězdě (comparison, CMP)**
- Abychom vyloučili, že srovnávací hvězda je také proměnná, volíme ještě další **kontrolní hvězdu (check, CHK)**

Hvězdná velikost

- Hvězdná velikost vyjadřuje jasnost hvězdy
 - S velikostí hvězdy tedy nemá nic společného ☺
 - Jednotkou hvězdné velikosti je magnituda (Mag nebo ^m)
- **Rostoucí** hvězdná velikost znamená **menší jasnost**
- Hvězdná velikost je **logaritmická** jednotka
 - Hvězda, jejichž flux je 100× menší, je o 5 magnitud slabší
 - Hvězda slabší o 1 magnitudu je $\sqrt[5]{100} = \sim 2,512\times$ slabší
- Referenční hvězdou na obloze je Vega (α Lyr) s jasností 0 Mag
 - Naneštěstí Vega je proměnná typu δ Sct s rozsahem jasností -0,02 až 0,07 Mag

Standardní a přístrojová hvězdná velikost

- Standardní hvězdná velikost je jasnost vztažená k některému fotometrickému systému (barvě)
- Přístrojová hvězdná velikost je jasnost vztažená ke zvolené referenční (srovnávací) hvězdě
 - Odhad standardní hvězdné velikosti proměnné hvězdy můžeme získat jako standardní hvězdnou velikost srovnávací hvězdy plus přístrojovou hvězdnou velikost proměnné hvězdy
- Problematika určení standardní hvězdné velikosti v některém fotometrickém systému je poměrně komplexní a přesahuje rámec této prezentace

Přístrojová hvězdná velikost

- Hvězdnou velikost určuje **Pogsonova rovnice**:

$$\text{Mag} = -2,5 \cdot \log_{10} \frac{\text{Flux}_{VAR}}{\text{Flux}_{CMP}}$$

- Přístrojová hvězdná velikost je naprosto vyhovující pro velké množství různých typů měření
 - Určení času minima
 - Určení typu proměnnosti
 - Určení periody, hledání změn O-C
 - Fyzikální modelování proměnných hvězd
- Standardní hvězdná velikost je vhodná k dlouhodobému sledování jasu hvězdy více přístroji na více pracovištích

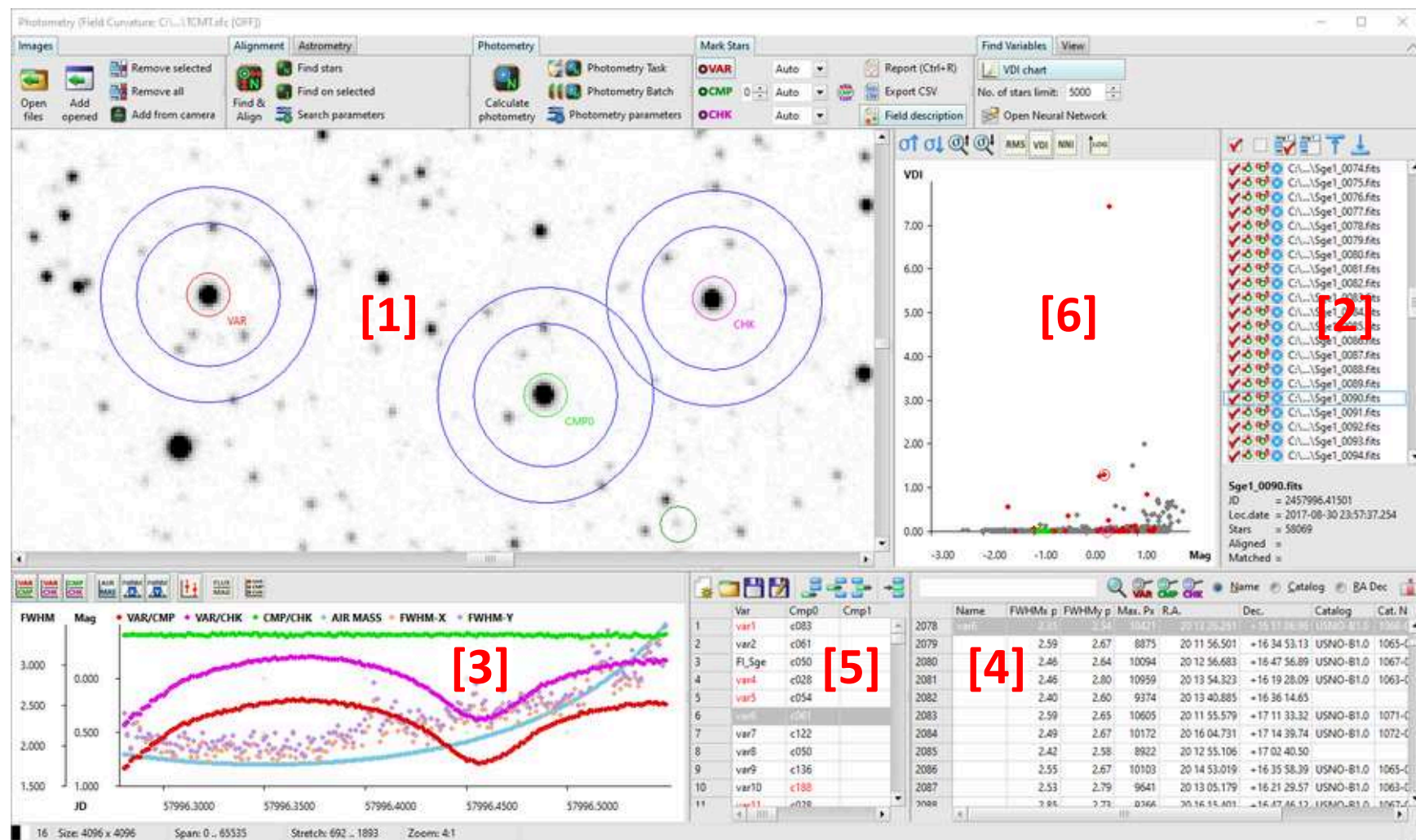
Jak se dostat ke světelné křivce (zpracování fotometrie v programu SIPS)

Funkce programu SIPS:

- Ovládání hardware (hlavní, pointační a kontextová kamera, filtrové kolo, montáž dalekohledu, ostření, kopule, klapky, spínače, GPS, ...)
- Zobrazení snímků (histogram, barevná paleta, zoom, ...)
- Kalibrace a transformace obrazů (rotace, překlápění, ...)
- Matematické operace se snímky a obrazové filtry (medián, průměr, ...)
- Manipulace s FITS (definice a editace hlaviček), export (JPG, PNG, ...)
- Blikání a skládání snímků (monochromní i RGB)
- **Astrometrie a Fotometrie**

Nástroj Fotometrie v SIPS

1. Vybraný snímek
 2. Seznam snímků
 3. Světelná křivka
 4. Tabulka hvězd
- Volitelné panely:
5. Popis pole
 6. Hledání proměnných hvězd



Dvě cesty zpracování fotometrické řady

1. Otevřít snímky do seznamu
2. Zkalibrovat snímky v seznamu
 - a. Otevřít kalibrační snímky
 - b. Nástrojem **Calibrate** množinu zkalibrovat
3. Snímky přidat do nástroje **Photometry**
4. Spustit hledání hvězd a sesazení
5. Spustit astrometrii (volitelně)
6. Spustit fotometrii

Body 4, 5 a 6 lze spustit najednou jako **Photometry Batch**

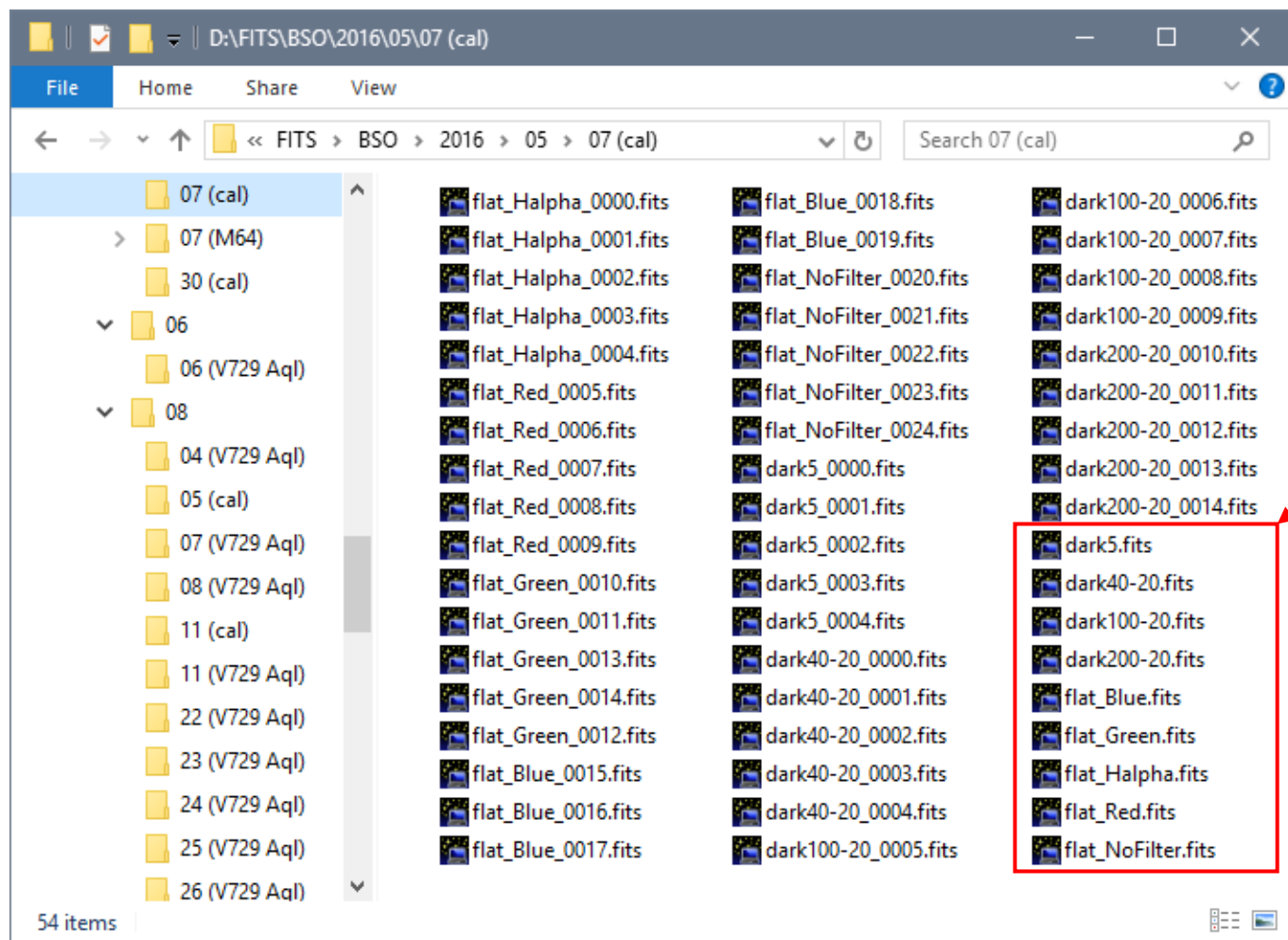


1. Vyplnit potřebné parametry **Photometry Task**
 - Případně popis **Photometry Task** uložit do souboru pro další použití
 2. Spustit **Photometry Task**
-
1. Při opětovném zpracování pouze otevřít a spustit **Photometry Task**

Kalibrace dat

- Z pozorovací noci máme řadu FITS snímků pole obsahující měřenou hvězdu
 - Předpokládáme, že hvězdy jsou přiměřeně zaostřeny, sledovaná hvězda nesaturuje, ale má dostatečný poměr signál/šum
- Dále máme k dispozici alespoň 5 temných snímků stejné expoziční doby pořízených při stejné teplotě a binningu jako datové snímky
- Měli bychom mít alespoň 5 flat-field snímků a k nim odpovídajících 5 temných snímků
 - Nutnost flat-field korekce závisí na zorném poli

Příklad sady kalibračních snímků

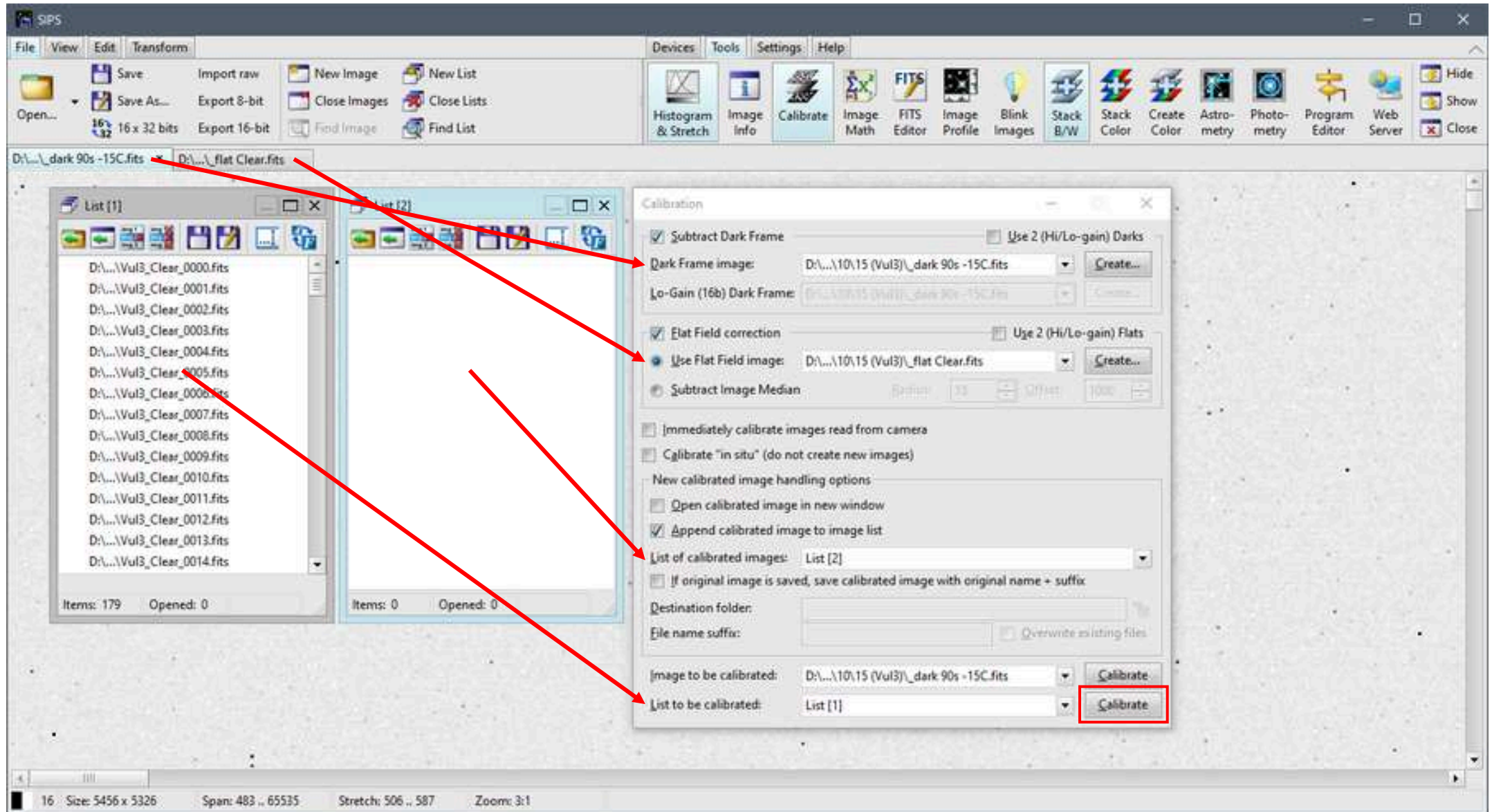


Zpracované
„master“
kalibrační
snímky

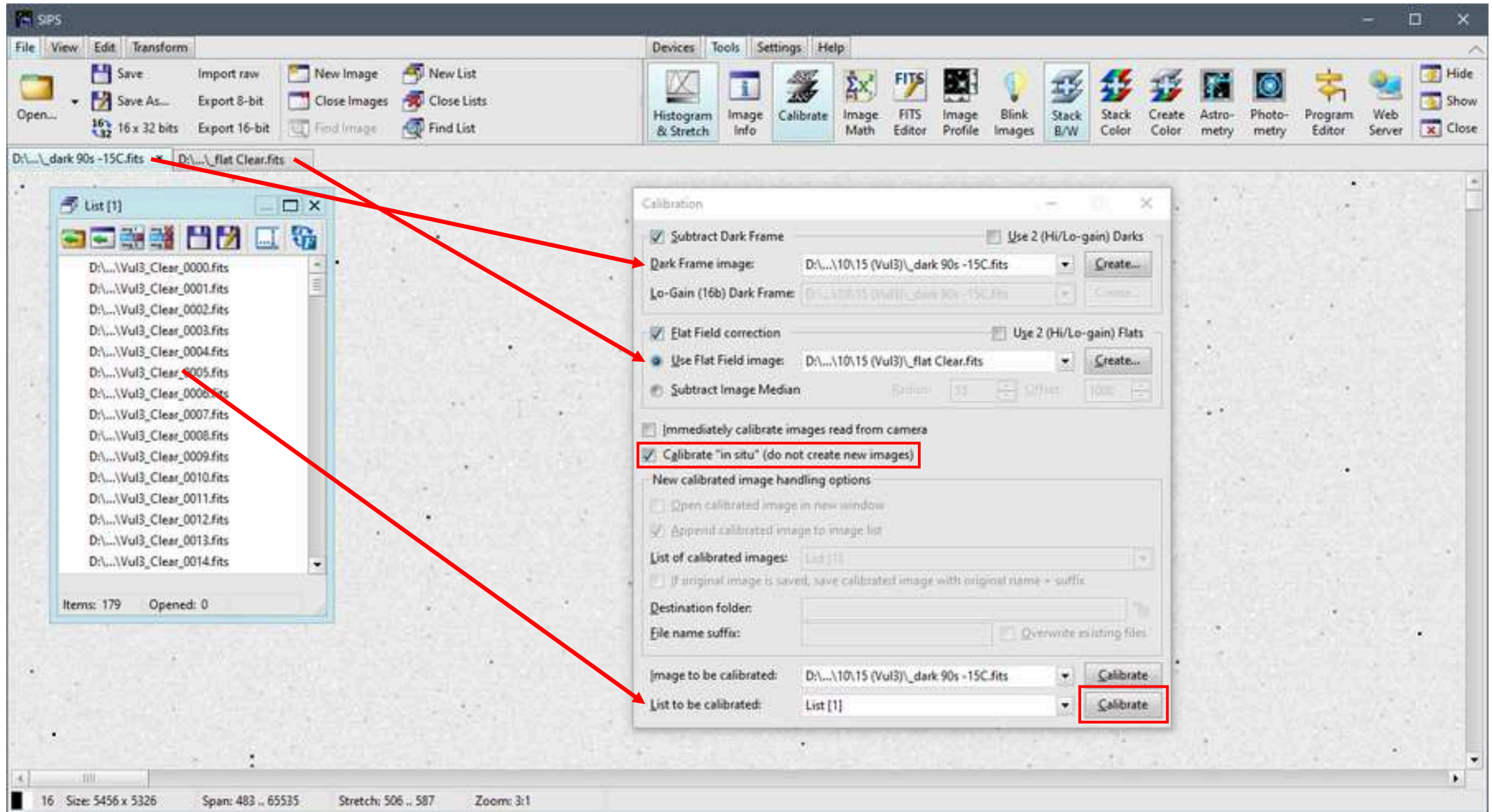
Kalibrace dat

- SIPS pracuje s konceptem seznamů snímků (**image list**)
 - Manipulace s více obrazy tedy nepracuje přímo s diskovými soubory, ale se seznamy v paměti PC
 - Snímky v seznamu mohou mít různé názvy, mohou pocházet z různých adresářů atd.
 - Snímky vůbec nemusí existovat jako soubory na disku
- Řada nástrojů (Fotometrie, Blink, Image add, ...) obsahuje **implicitní seznam** snímků
- Každý snímek je v paměti jen jednou, bez ohledu na to v kolika je seznamech nebo jestli je zobrazen v okně apod.
 - Vysoká rychlost je vykoupěna náročností na paměť

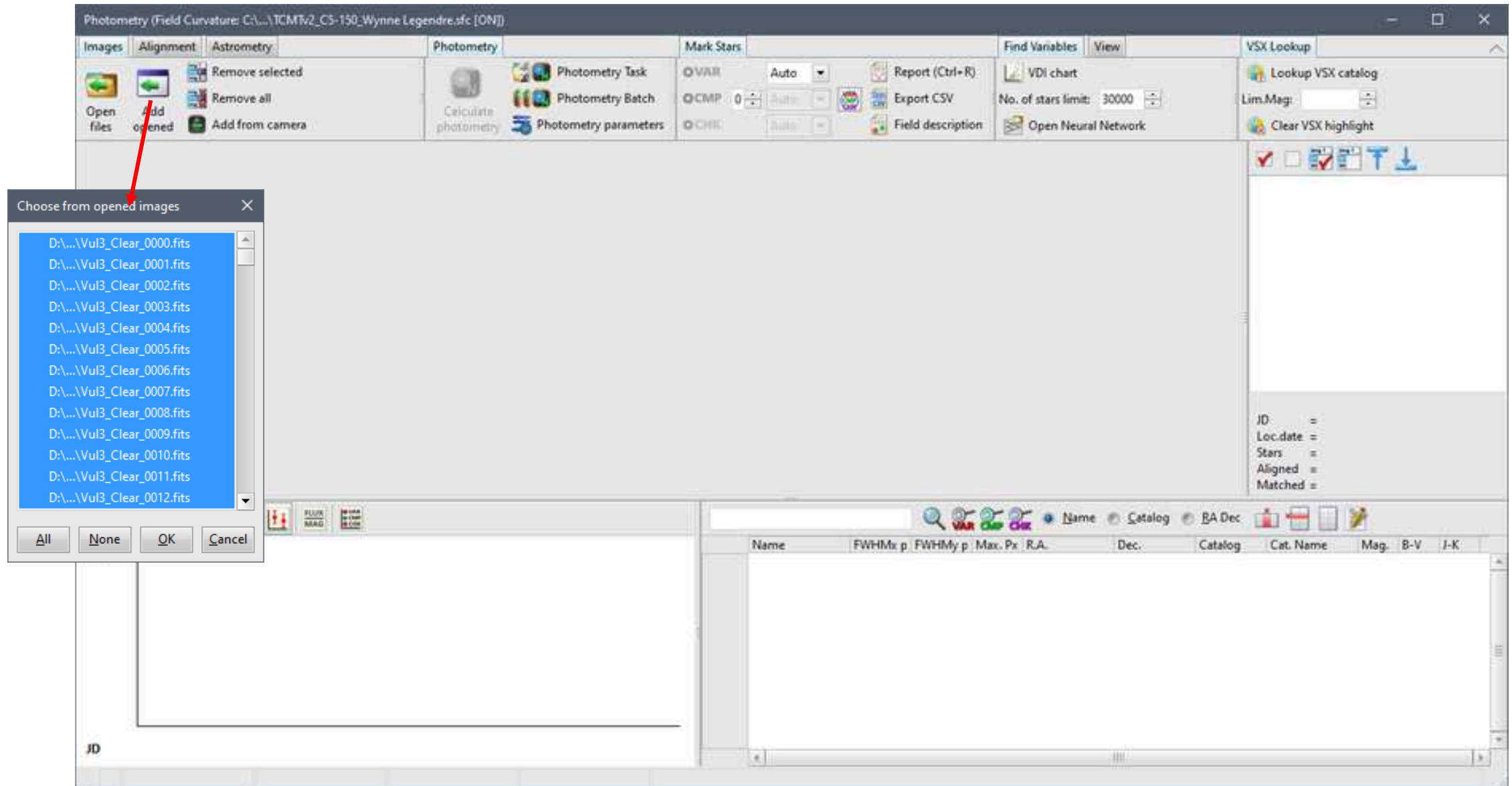
Kalibrace snímků do nového seznamu zdvojnásobuje požadované množství paměti, v jednom okamžiku jsou v paměti syrové i kalibrované snímky



Kalibrace „in situ“ nahradí v seznamu syrové snímky kalibrovanými, je nutno dát pozor, aby nebyly syrové snímky na disku přepsány

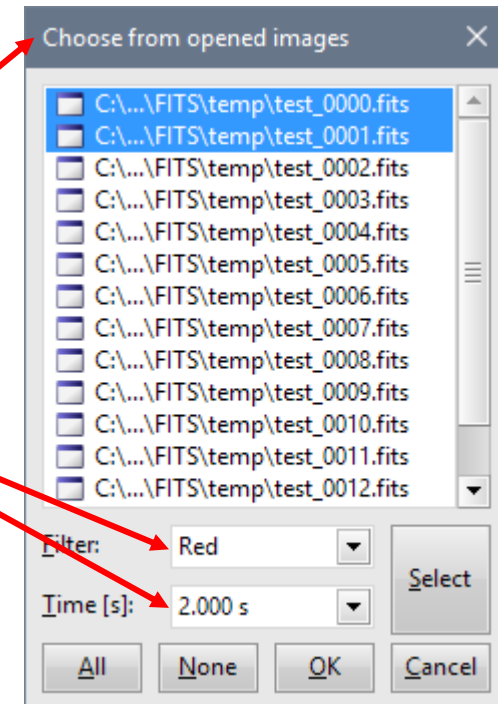
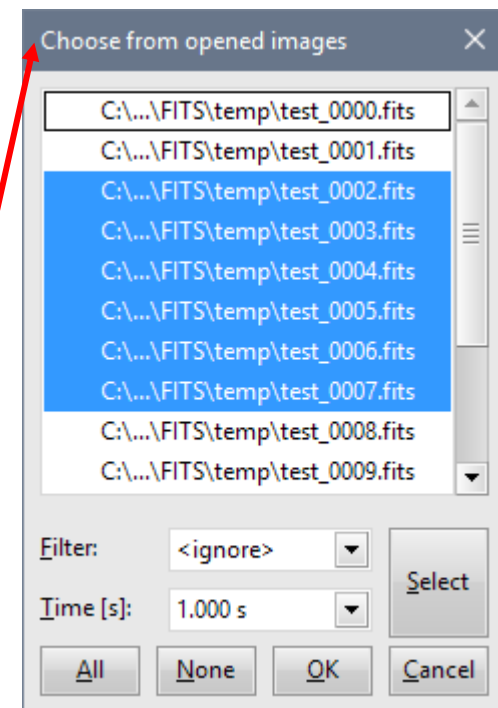


Kalibrované snímky musíme přidat to seznamu snímků nástroje
Fotometrie

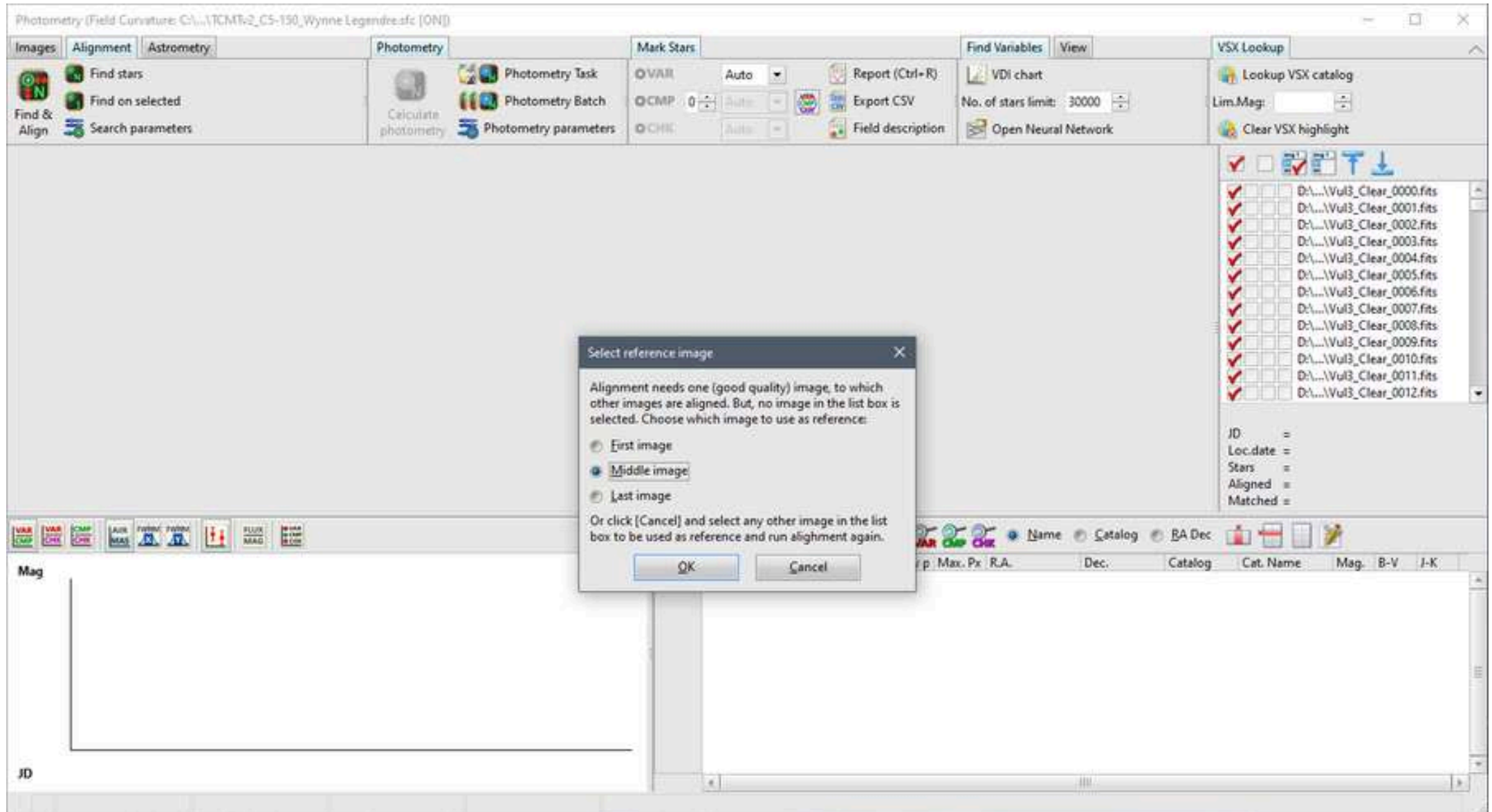


Kalibrované snímky v seznamu

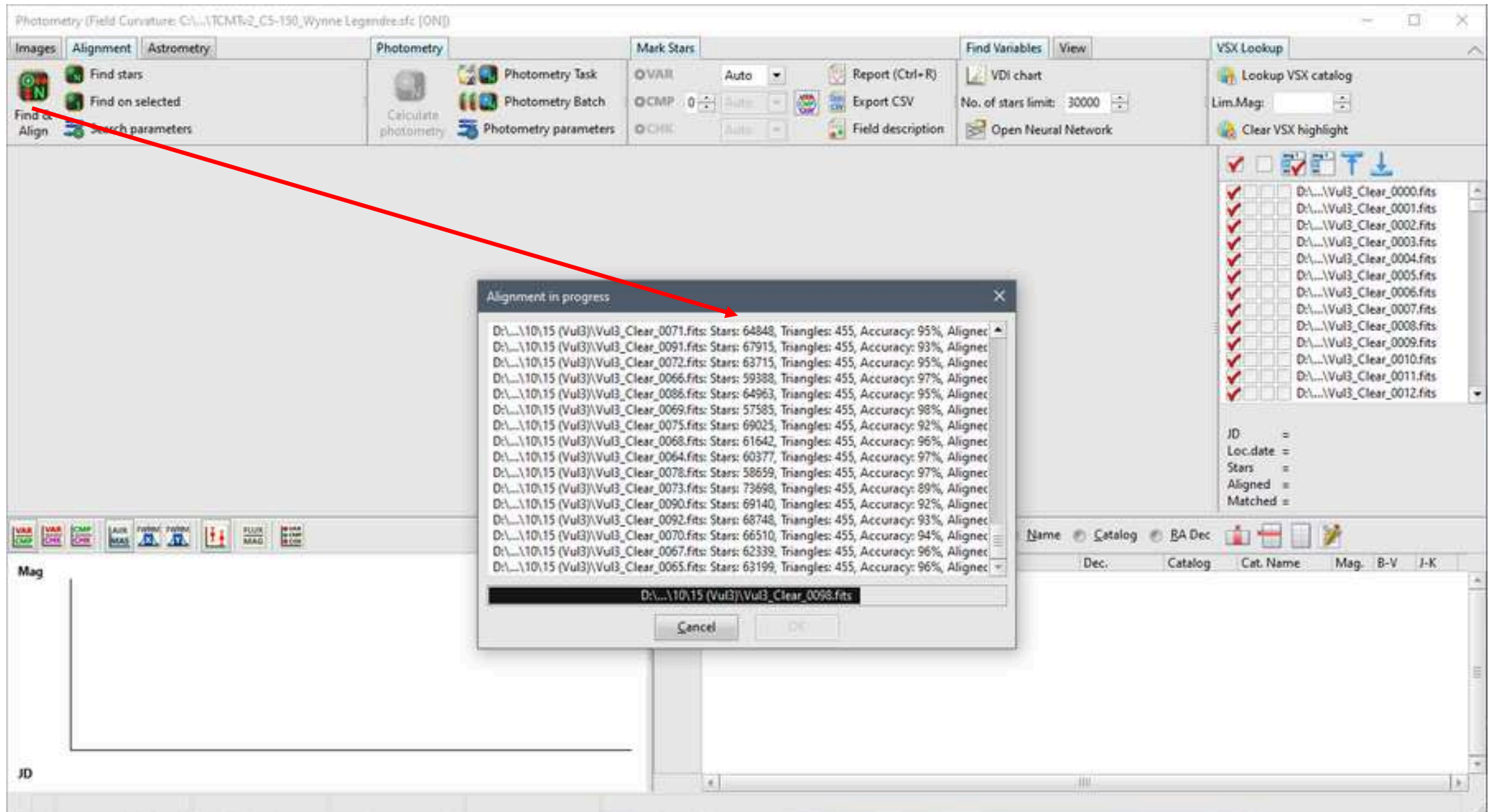
- Do implicitního seznamu snímků, s nimž pracuje nástroj fotometrie, lze přidat snímky stejně jako do jakékoliv jiného seznamu:
 - Načtení FITS souborů z disku
 - Přidání již otevřených snímků, lhostejno jestli v samostatných oknech nebo v jiných seznamech
- Výběr z otevřených snímků lze filtrovat podle délky expozice a/nebo podle filtru



Sesazení seznamu snímků vyžaduje určení referenčního snímku, pokud není žádný snímek vybrán (vybraný snímek se považuje za referenční)

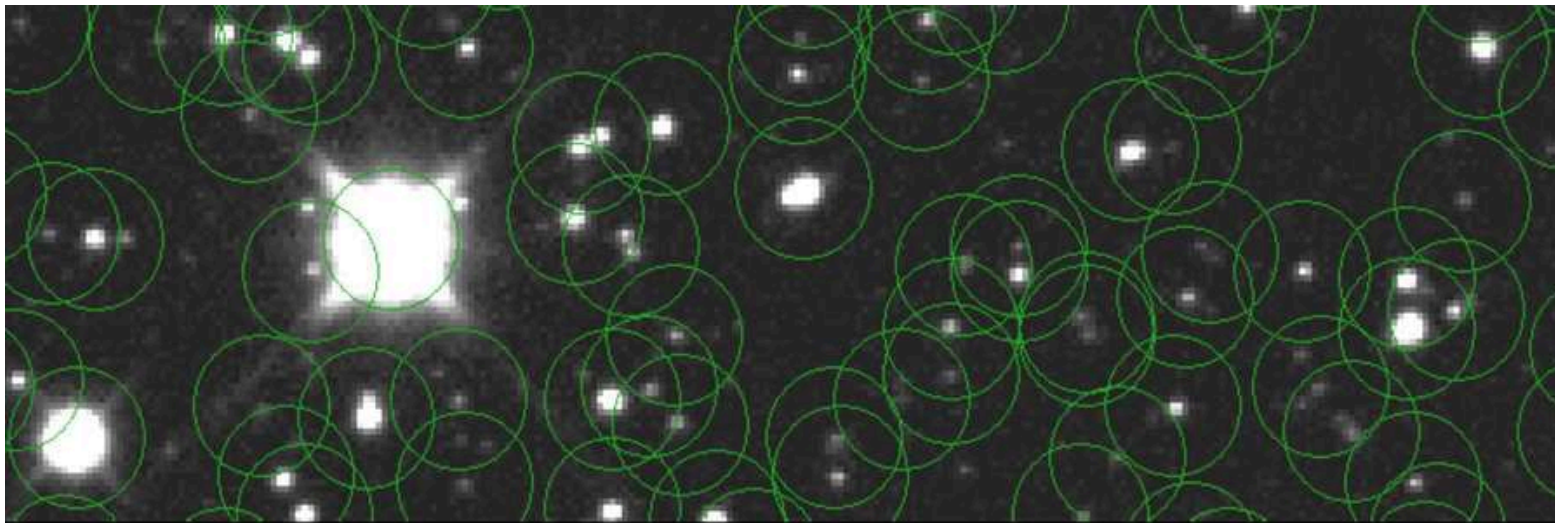


Během sesazování SIPS informuje o počtu nalezených hvězd a úspěšnosti sesazení (procenta hvězd sesazených s referenčním snímkem)



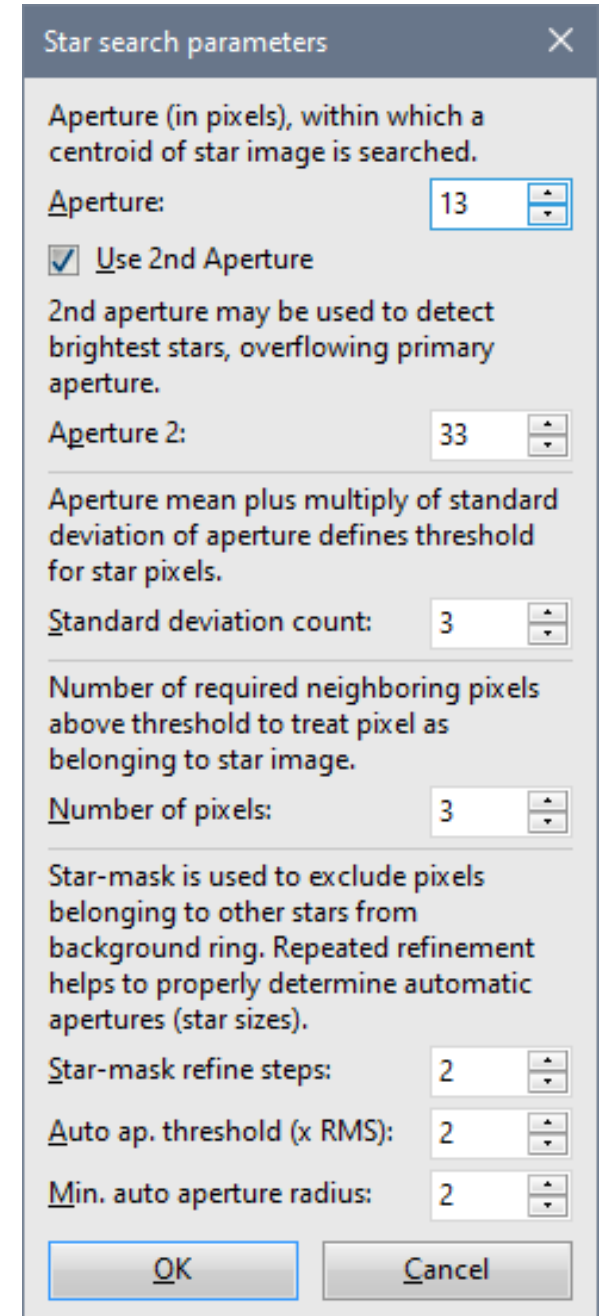
Samotná funkce sesazení, astrometrie i fotometrie zcela závisí na **hledání hvězd**

- Pro sesazení a případnou astrometrii je velice důležité, aby SIPS našel i ty **nejjasnější** hvězdy v zorném poli
 - Nejjasnější hvězdy jsou zpravidla saturované a pro fotometrii bezcenné, slouží ale k sesazení – v katalogu jsou přítomny a SIPS hledá jejich protějšky ve snímku
 - U širokých polí jsou v obraze zastoupeny hvězdy s velkým rozpětím jasů, což se projevuje velkým rozsahem průměrů hvězd (nad pozadím snímku)



Parametry hledání hvězd

- Aby SIPS nevynechával velmi slabé hvězdy s úhlovou vzdáleností $\ll$ prohledávaná apertura a současně našel i nejjasnější hvězdy v poli, dovoluje použití dvou apertur
- Druhá (vždy větší) apertura dohledá hvězdy, které se „nevlezly“ do první (menší) apertury
- Pokud zpracováváme velmi řídké pole bez úhlově blízkých hvězd, můžeme zrychlit zpracování použitím pouze jediné apertury

A screenshot of a software dialog box titled "Star search parameters". It contains several settings for star detection. The "Aperture" is set to 13, and "Use 2nd Aperture" is checked. "Aperture 2" is set to 33. "Standard deviation count" is 3, and "Number of pixels" is 3. "Star-mask refine steps" is 2, "Auto ap. threshold (x RMS)" is 2, and "Min. auto aperture radius" is 2. There are "OK" and "Cancel" buttons at the bottom.

Star search parameters

Aperture (in pixels), within which a centroid of star image is searched.

Aperture: 13

☒ Use 2nd Aperture

2nd aperture may be used to detect brightest stars, overflowing primary aperture.

Aperture 2: 33

Aperture mean plus multiply of standard deviation of aperture defines threshold for star pixels.

Standard deviation count: 3

Number of required neighboring pixels above threshold to treat pixel as belonging to star image.

Number of pixels: 3

Star-mask is used to exclude pixels belonging to other stars from background ring. Repeated refinement helps to properly determine automatic apertures (star sizes).

Star-mask refine steps: 2

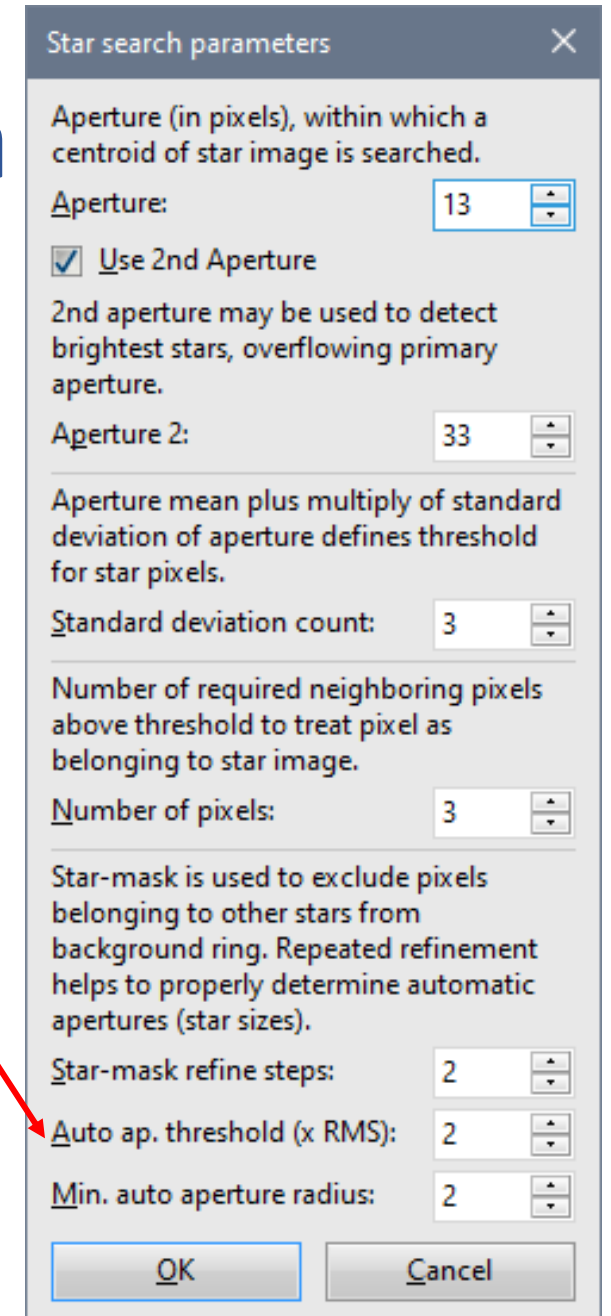
Auto ap. threshold (x RMS): 2

Min. auto aperture radius: 2

OK Cancel

Jak se počítá automatická apertura

- Směrem od těžiště hvězdy se ve 4 směrech hledá pixel, jehož hodnota je o zadáný násobek směrodatné odchylky nad úrovní pozadí
 - Menší násobek vede na větší apertury a naopak
- Největší nalezený poloměr je považován za poloměr automatické apertury
 - U blízkých hvězd je překrývání apertur zamezeno zmenšením automatických apertur podle fluxů
- Automatická apertura je pak sjednocena na všech snímcích
 - Je vybrána 3. největší apertura, aby na všech snímcích zahrnovala kompletní flux



Star search parameters

Aperture (in pixels), within which a centroid of star image is searched.

Aperture: 13

☒ Use 2nd Aperture

2nd aperture may be used to detect brightest stars, overflowing primary aperture.

Aperture 2: 33

Aperture mean plus multiply of standard deviation of aperture defines threshold for star pixels.

Standard deviation count: 3

Number of required neighboring pixels above threshold to treat pixel as belonging to star image.

Number of pixels: 3

Star-mask is used to exclude pixels belonging to other stars from background ring. Repeated refinement helps to properly determine automatic apertures (star sizes).

Star-mask refine steps: 2

Auto ap. threshold (x RMS): 2

Min. auto aperture radius: 2

OK Cancel

Astrometrie je volitelný krok, ale pro fungování pokročilých funkcí (vyhledání hvězd ve VSX, popis pole, ...) je nezbytný

Photometry (Field Curvature: C:\...TCMT-2_CS-150_Wynne Legendre.afc [ON])

Images Alignment **Astrometry** Photometry Mark Stars Find Variables View VSX Lookup

Calculate astrometry Plate parameters Solve 1st image Catalog parameters Match parameters Forward params Calculate photometry Photometry Task Photometry Batch Photometry parameters

VAR Auto Report (Ctrl+R) VDI chart
CMP 0 Auto Export CSV No. of stars limit: 30000
CHK Auto Field description Open Neural Network

Lookup VSX catalog
Lim.Mag:
Clear VSX highlight

Calculating Astrometry

Vul3_Clear_0056.fits: OK, 26345 of 74949 stars matched
Vul3_Clear_0040.fits: OK, 26250 of 71684 stars matched
Vul3_Clear_0057.fits: OK, 26394 of 76339 stars matched
Vul3_Clear_0043.fits: OK, 26280 of 72629 stars matched
Vul3_Clear_0036.fits: OK, 26190 of 68213 stars matched
Vul3_Clear_0055.fits: OK, 26368 of 75143 stars matched
Vul3_Clear_0038.fits: OK, 26287 of 74082 stars matched
Vul3_Clear_0033.fits: OK, 26250 of 70895 stars matched
Vul3_Clear_0044.fits: OK, 26328 of 74096 stars matched
Vul3_Clear_0032.fits: OK, 26233 of 69501 stars matched
Vul3_Clear_0035.fits: OK, 26223 of 69035 stars matched
Vul3_Clear_0041.fits: OK, 26448 of 78120 stars matched
Vul3_Clear_0037.fits: OK, 26328 of 74082 stars matched
Vul3_Clear_0046.fits: OK, 26387 of 76105 stars matched
Vul3_Clear_0034.fits: OK, 26225 of 69994 stars matched
Vul3_Clear_0039.fits: OK, 26353 of 75749 stars matched

D:\...Vul3_Clear_0071.fits

Cancel OK

Vul3_Clear_0089.fits
JD = 2460599.32324
Loc.date = 2024-10-15 21:45:27.660
Stars = 68986
Aligned =
Matched =

Name	Catalog	RA Dec	Cat. Name	Mag.	B-V	I-K
5				65535		
6				65535		
7				65535		
8				65535		
9				65535		
10				65535		

Mag

JD

16 Size: 5456 x 5326 Span: 0 ... 65535 Stretch: 1371 ... 3813 Zoom: 3:1

Výpočet fotometrie začíná sjednocením automaticky detekovaných apertur přes všechny snímky v seznamu

The screenshot shows the 'Photometry' tab in the software. A red arrow points to the 'Calculate photometry' button. A dialog box titled 'Calculating Automatic Apertures' is open, showing 'Processing: 1054' and a 'Cancel' button. The background image shows a star field with a green circle around a star. The right panel shows a list of image files, with 'Vul3_Clear_0089.fits' selected. The bottom panel shows a table with columns: Name, FWHMx p, FWHMy p, Max. Px, R.A., Dec., Catalog, Cat. Name, Mag., B-V, I-K. The table has 10 rows, all with '65535' in the 'Max. Px' column.

	Name	FWHMx p	FWHMy p	Max. Px	R.A.	Dec.	Catalog	Cat. Name	Mag.	B-V	I-K
1				65535							
2				65535							
3				65535							
4				65535							
5				65535							
6				65535							
7				65535							
8				65535							
9				65535							
10				65535							

16 Size: 5456 x 5326 Span: 0 ... 65535 Stretch: 1371 ... 3813 Zoom: 3:1

A následuje výpočet hodnot pozadí a fluxů všech hvězd ve všech definovaných clonkách

The screenshot displays the Photometry software interface. The main window shows a grayscale image of a star field. A dialog box titled "Calculating Photometry" is open, indicating the processing of "D:\...\Vul3_Clear_0035.fits". The interface includes various toolbars and panels. The "VSX Lookup" panel on the right lists several FITS files, with "Vul3_Clear_0089.fits" selected. Below this panel, the properties for the selected file are shown.

VSX Lookup Panel:

- Lookup VSX catalog
- Lim.Mag: [input field]
- Clear VSX highlight
- File list: D:\...\Vul3_Clear_0077.fits, D:\...\Vul3_Clear_0078.fits, D:\...\Vul3_Clear_0079.fits, D:\...\Vul3_Clear_0080.fits, D:\...\Vul3_Clear_0081.fits, D:\...\Vul3_Clear_0082.fits, D:\...\Vul3_Clear_0083.fits, D:\...\Vul3_Clear_0084.fits, D:\...\Vul3_Clear_0085.fits, D:\...\Vul3_Clear_0086.fits, D:\...\Vul3_Clear_0087.fits, D:\...\Vul3_Clear_0088.fits, D:\...\Vul3_Clear_0089.fits

Star Properties for Vul3_Clear_0089.fits:

- JD = 2460599.32324
- Loc.date = 2024-10-15 21:45:27.660
- Stars = 68986
- Aligned =
- Matched =

Star Catalog Table:

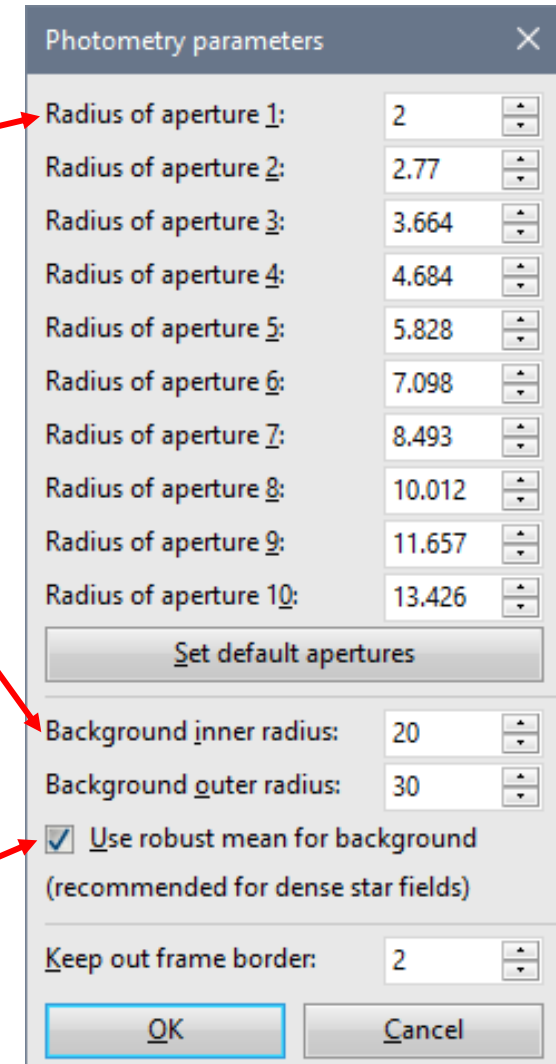
Name	FWHMx p	FWHMy p	Max. Px	R.A.	Dec.	Catalog	Cat. Name	Mag.	B-V	I-K
1			65535							
2			65535							
3			65535							
4			65535							
5			65535							
6			65535							
7			65535							
8			65535							
9			65535							
10			65535							

Status Bar:

- 16 Size: 5456 x 5326
- Span: 0 ... 65535
- Stretch: 1371 ... 3813
- Zoom: 3:1

Parametry fotometrie

- Fotometrie je spočítána pro 10 zvolených apertur + pro **automatickou aperturu**
- Mezikruží pozadí je pro všechny apertury shodné
- Hodnota pozadí vylučuje světlo z nalezených hvězd
- U hustých polí ale nemusí být všechu hvězdy detekovány, navíc do pozadí mohou zasahovat difrakční obrazce, družice, ...
 - Volba „robustní průměr“ takové odchylky eliminuje, i když je náročnější na výpočet



Photometry parameters

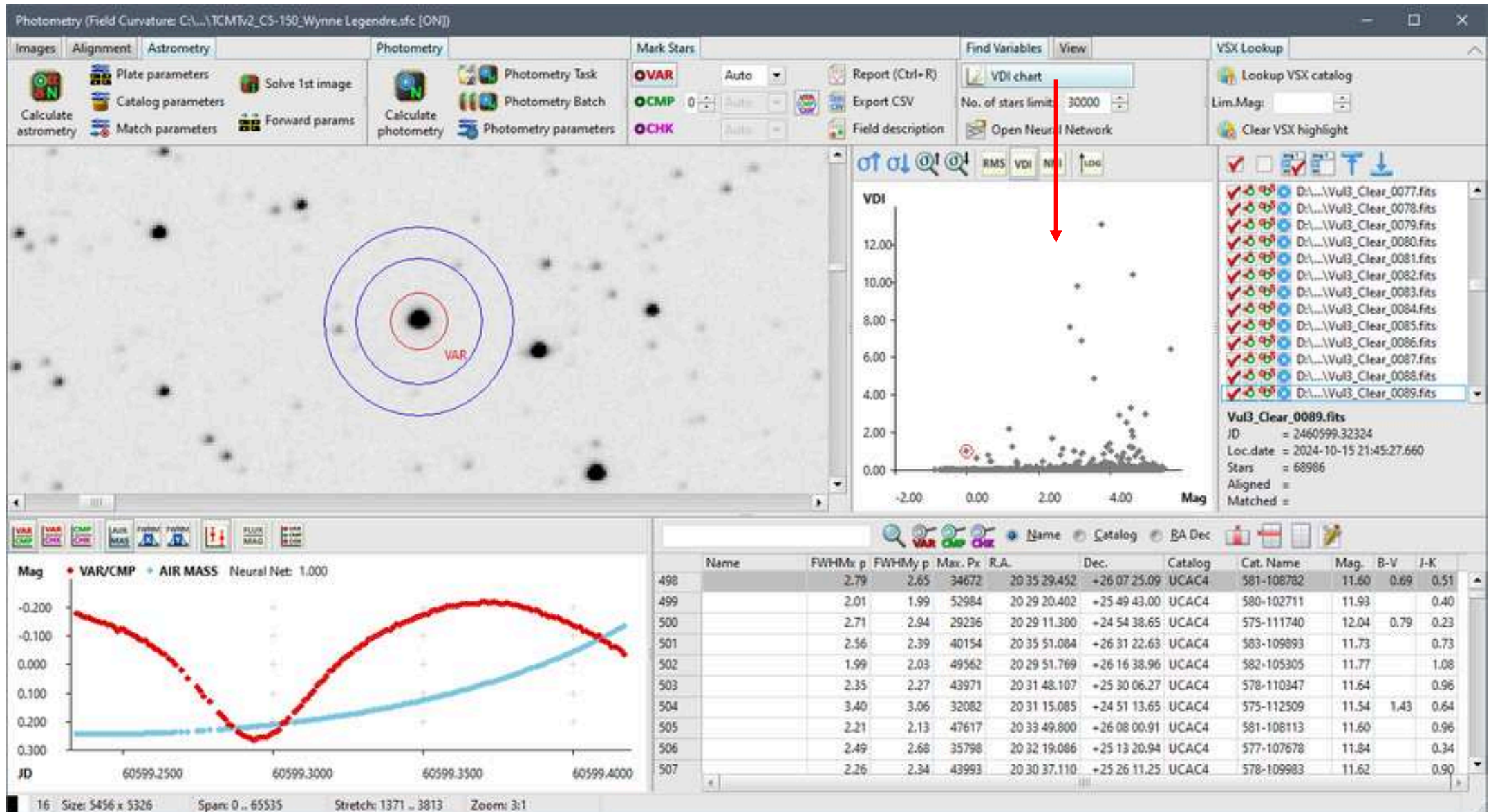
Radius of aperture 1:	2
Radius of aperture 2:	2.77
Radius of aperture 3:	3.664
Radius of aperture 4:	4.684
Radius of aperture 5:	5.828
Radius of aperture 6:	7.098
Radius of aperture 7:	8.493
Radius of aperture 8:	10.012
Radius of aperture 9:	11.657
Radius of aperture 10:	13.426

Set default apertures

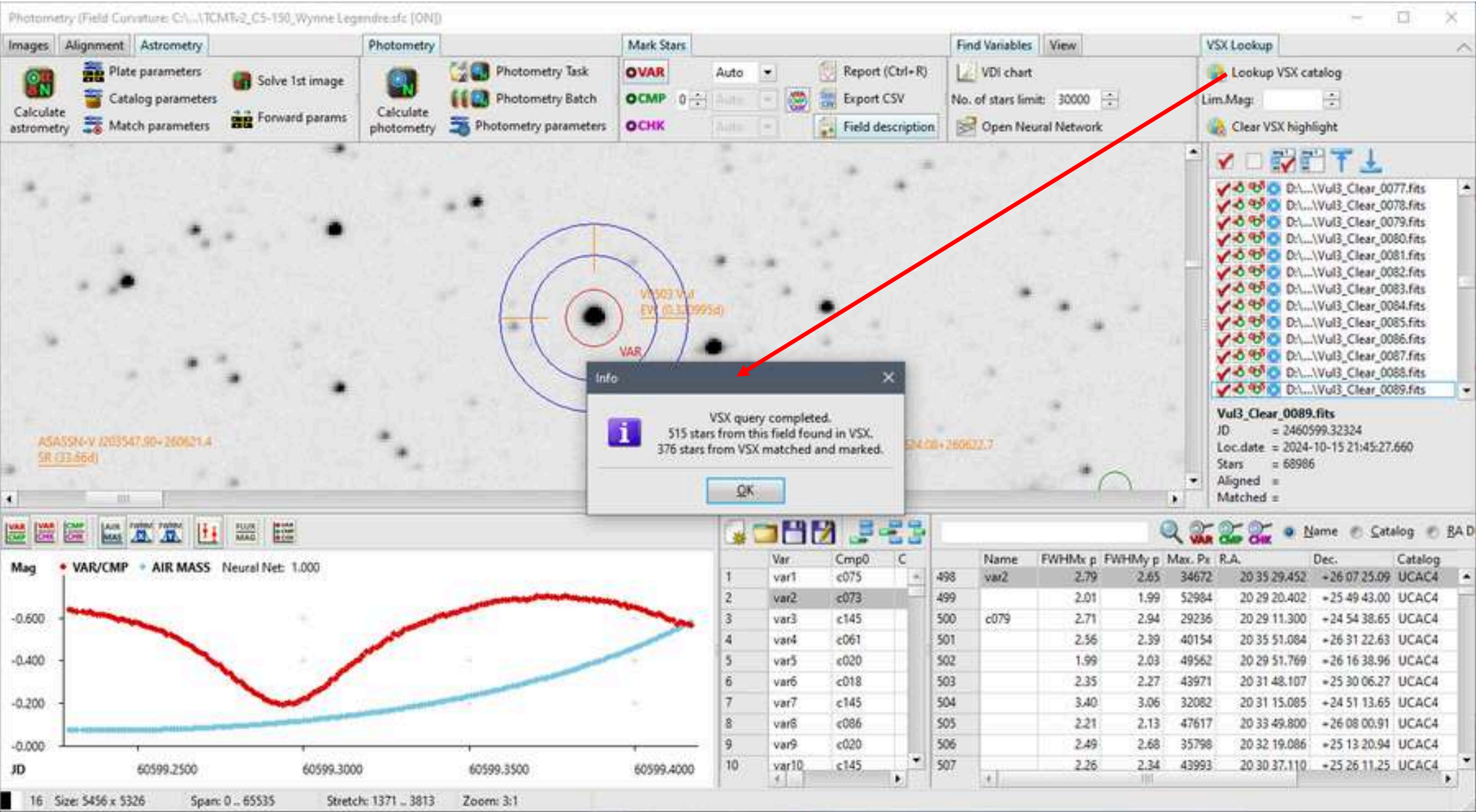
Background inner radius:	20
Background outer radius:	30
☒ Use robust mean for background (recommended for dense star fields)	
Keep out frame border:	2

OK Cancel

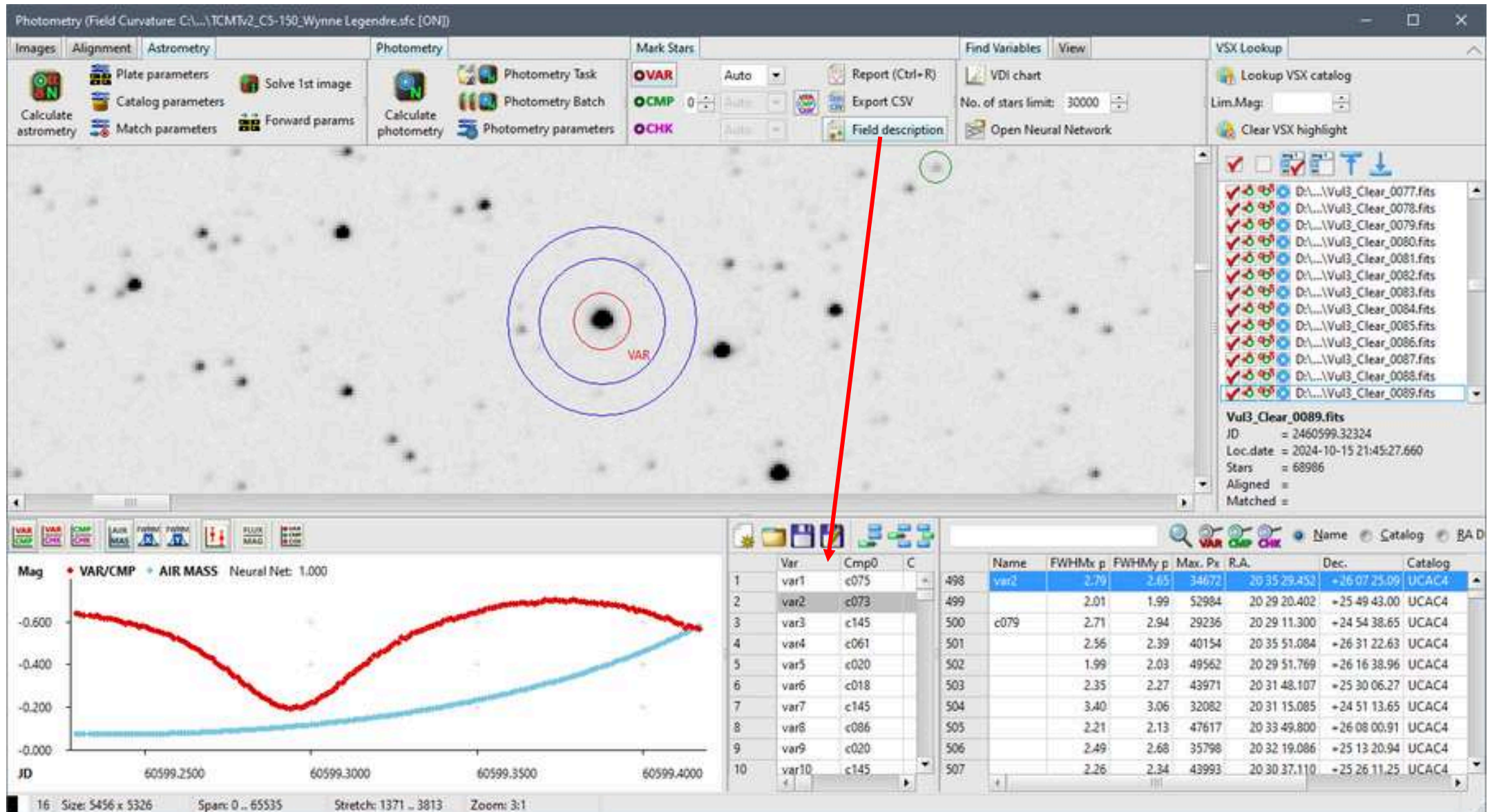
U nových polí je možné otevřít panel s hledáním proměnných hvězd (i u dlouho sledovaných polí se může objevit minimum nové algolidy atd.)



Dotaz do databáze VSX zvýrazní proměnné hvězdy z této databáze v poli



Pokud existuje k poli jeho popis, můžeme jej otevřít a ihned prohlédnout/uložit světelné křivky



Photometry Task

- Kompletní popis pro zpracování dat jedné pozorovací řady (noci)
- Zpracování fotometrie probíhá podle popisu **zcela automaticky**
- Photometry Task je vhodné používat až když jsou všechny parametry ovlivňující fotometrii správně nastaveny
 - Parametry hledání hvězd
 - Astrometrický katalog
 - ...

Photometry task

Photometry files directory: D:\FITS\BSO\2022\09\02 (Vu12)

Photometry files mask: Vu12*.fits

Subtract dark frame: D:\FITS\BSO\2022\09\02 (Vu12)_dark-15_90s.fits

Apply flat field: D:\FITS\BSO\2022\09\02 (Vu12)_flat_NoFilter.fits

Align reference file: D:\FITS\BSO\2022\09\02 (Vu12)\Vu12_0020.fits

Load field description: C:\Users\pc\OneDrive\FITS\SIPS Field Descriptions\Vu12.sfd

Star Search | Field Curvature | **Plate Parameters** | Catalogs | Match Parameters | HDR Calibration

☐ Use 1st image plate parameters for all images

☐ Define 1st image plate parameters

R.A.: 0 h 0 m 0 s

Dec.: 0 ° 0 ' 0 "

X pixel scale: 1.856 arcsec

Y pixel scale: 1.856 arcsec

X pixel size: 9 um X binning: 1

Y pixel size: 9 um Y binning: 1

Focal length: 1000 mm

Load task file Save task file Run photometry task Close

photometry.spt - Notepad

File Edit Format View Help

```
[photometry_task]
file_directory = D:\FITS\BSO\2022\09\02 (Vu12)
file_mask = Vu12*.fits
dark_frame = D:\FITS\BSO\2022\09\02 (Vu12)\_dark-15_90s.fits
flat_field = D:\FITS\BSO\2022\09\02 (Vu12)\_flat_NoFilter.fits
align_reference = D:\FITS\BSO\2022\09\02 (Vu12)\Vu12_0020.fits
field_description = C:\Users\pc\OneDrive\FITS\SIPS Field Descriptions\Vu12.sfd
define_search_parameters = FALSE
define_field_curvature = FALSE
forward_plate_parameters = FALSE
define_plate_parameters = FALSE
define_catalog_parameters = FALSE
define_match_parameters = FALSE
define_HDR_dark_frames = FALSE
define_HDR_flat_fields = FALSE
```

Ln 1, Col 1 100% Windows (CRLF) UTF-8

Povinné a volitelné součásti Photometry Task

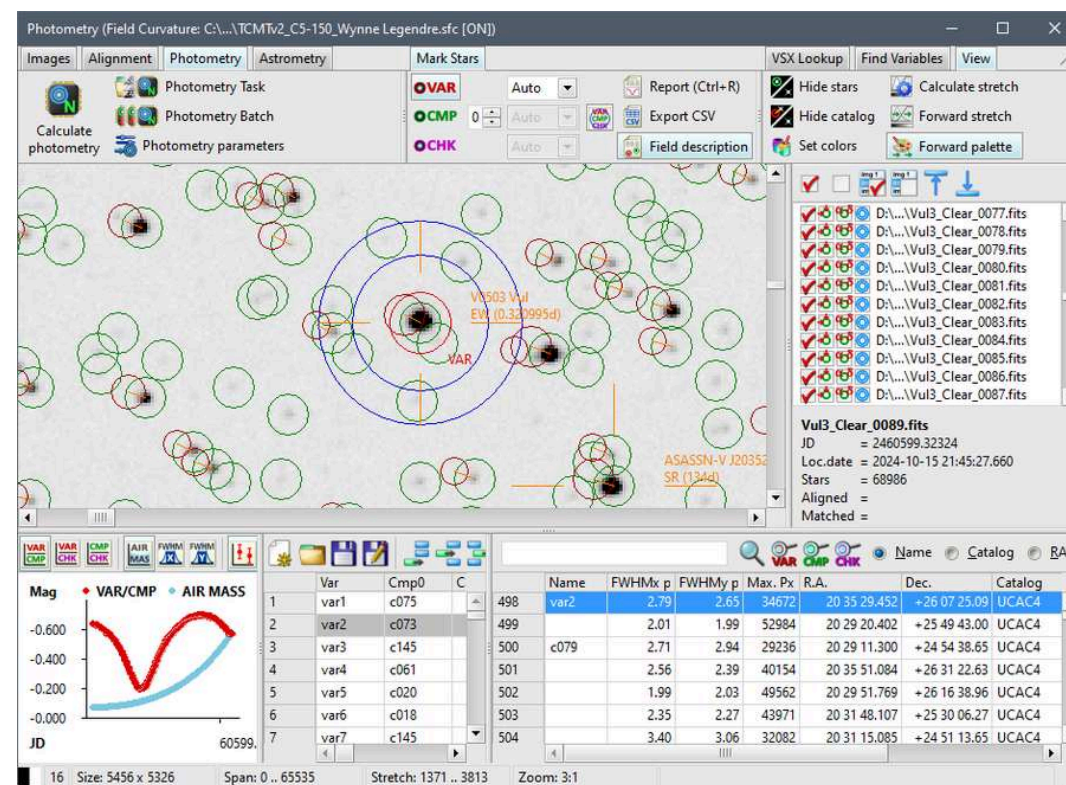
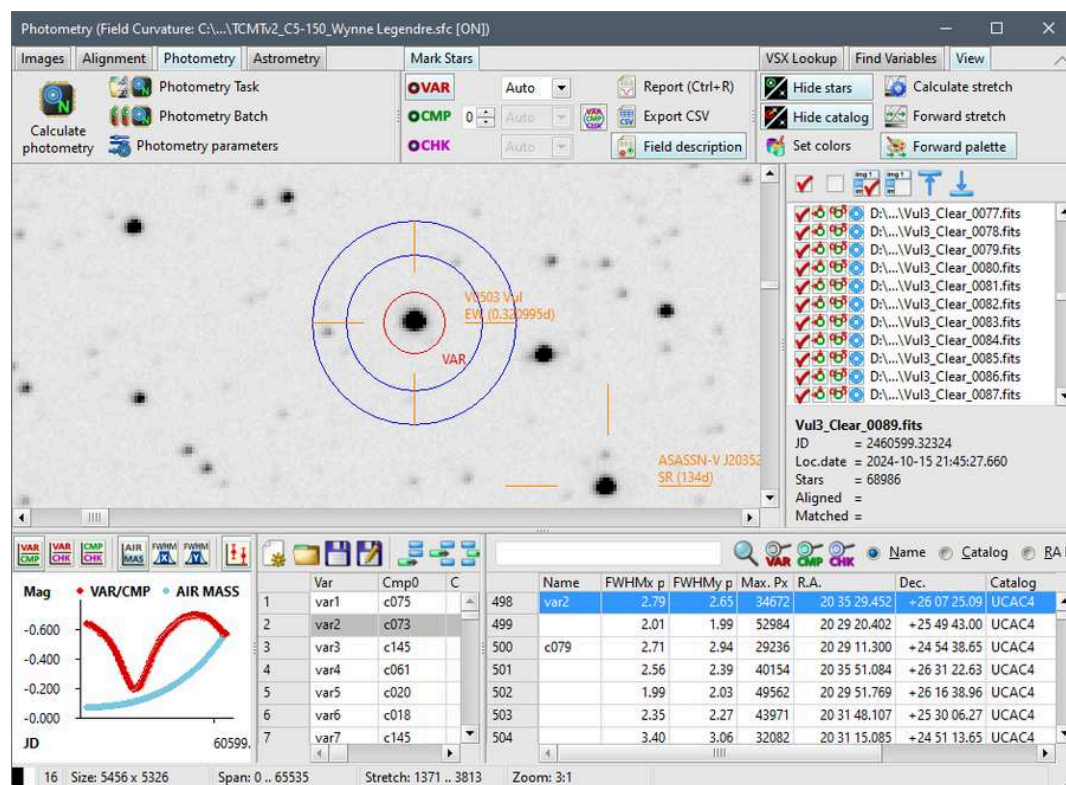
- Photometry Task má **povinné parametry** (FITS fotometrické řady, případně kalibrační snímky, popis pole, ...)
- U **volitelných parametrů** je možné rozhodnout, jestli mají být použity z **aktuálního nastavení v SIPS** nebo jsou **definovány explicitně** pro daný Photometry Task
 - Parametry hledání hvězd
 - Popis křivosti pole
 - Astrometrické parametry snímků (souřadnice středu, úhlová velikost pixelů)
 - Astrometrické katalogy
 - Parametry ovlivňující sesazení hvězd s katalogem
 - Případně HDR kalibrace syrových snímků (pro kamery s HDR kombinací)

Několik poznámek a tipů

- Při ladění parametrů pro hledání hvězd lze pokusně vyhledávat hvězdy jen na 1. snímku nástrojem 
- Totéž platí pro astrometrii (nástroj )
- Pokud parametry astrometrie (souřadnice, velikost pixelu, ...) nastavíme jen pro 1. snímek, můžeme vynutit jejich použití na všech dalších snímcích 
- Explicitní vyhledání hvězd  vymaže vše (sesazení, astrometrii, fotometrii), ostatní nástroje se ptají zda spočítat vše nebo jen dopočítat co chybí
- Nástroj **Photometry Batch**  udělá vše na jeden klik

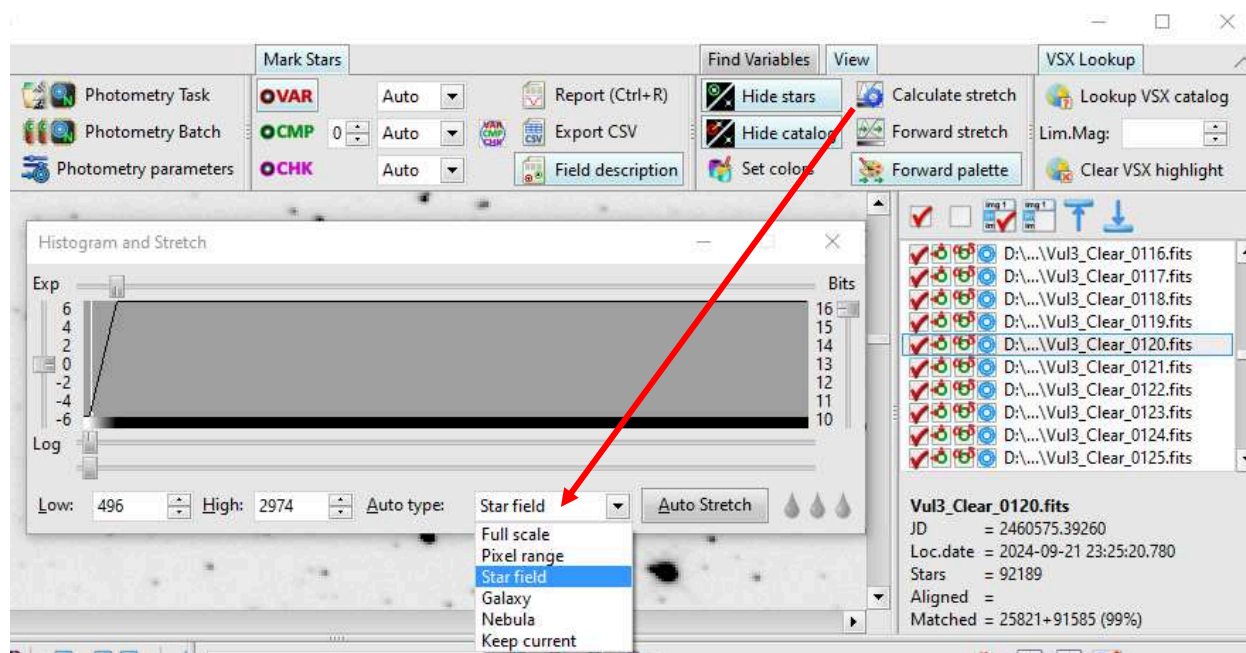
Zobrazování nalezených a katalogových hvězd

- Fotometrie (i astrometrie) dovoluje zvolit vyznačení hvězd ve snímku:
 -  Hide stars Nalezené hvězdy
 -  Hide catalog Hvězdy z katalogu včetně relací s hvězdami na snímku



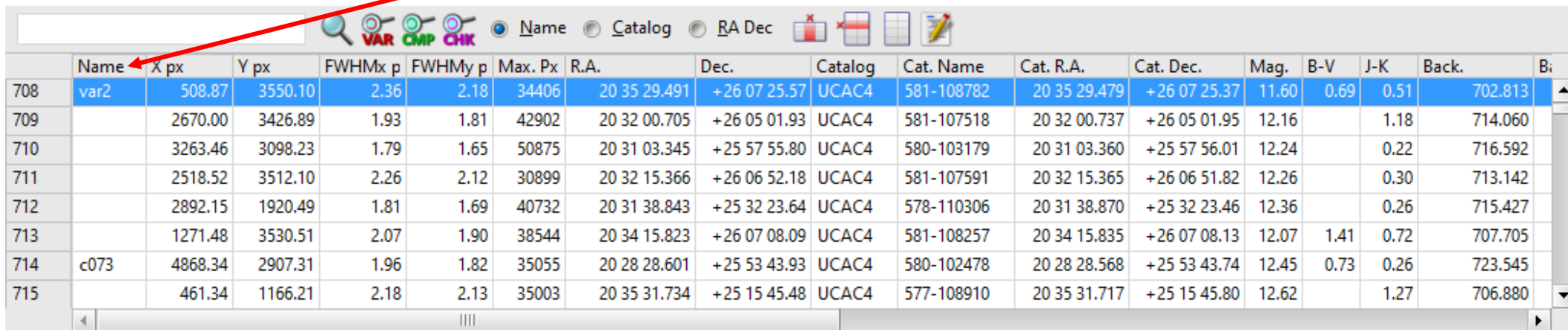
Rozpětí jasů (stretch) a paleta snímků

- Snímky jsou zobrazovány podle hodnoty „Stretch Auto type“ v době jejich vzniku (otevření)
-  přepočítá rozpětí podle „Auto type“ při výběru
-  okopíruje rozpětí z předešlého vybraného snímku



Tabulka hvězd

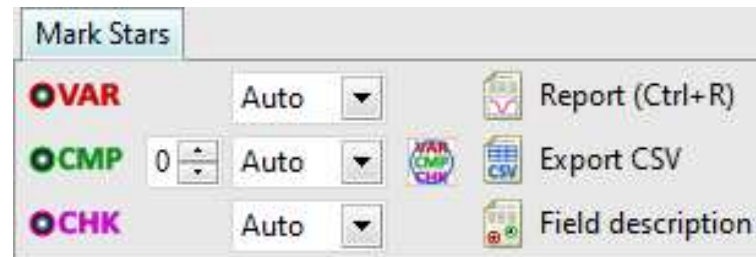
- Tabulka s parametry je během výpočtů doplňována
 - **X, Y, FWHM, Max. Px.** po vyhledání hvězd
 - **R.A., Dec.** a pokud je hvězda sesazena s katalogem také **Cat. Name, Cat. R.A., Cat. Dec., Mag., B-V, J-K** po zpracování astrometrie
 - **Back., Back. dev., Auto Ap., Ap 1 až Ap. 10** po zpracování fotometrie
- Tabulka dovoluje každou hvězdu pojmenovat
 - Buňky ve sloupci **Name** lze editovat



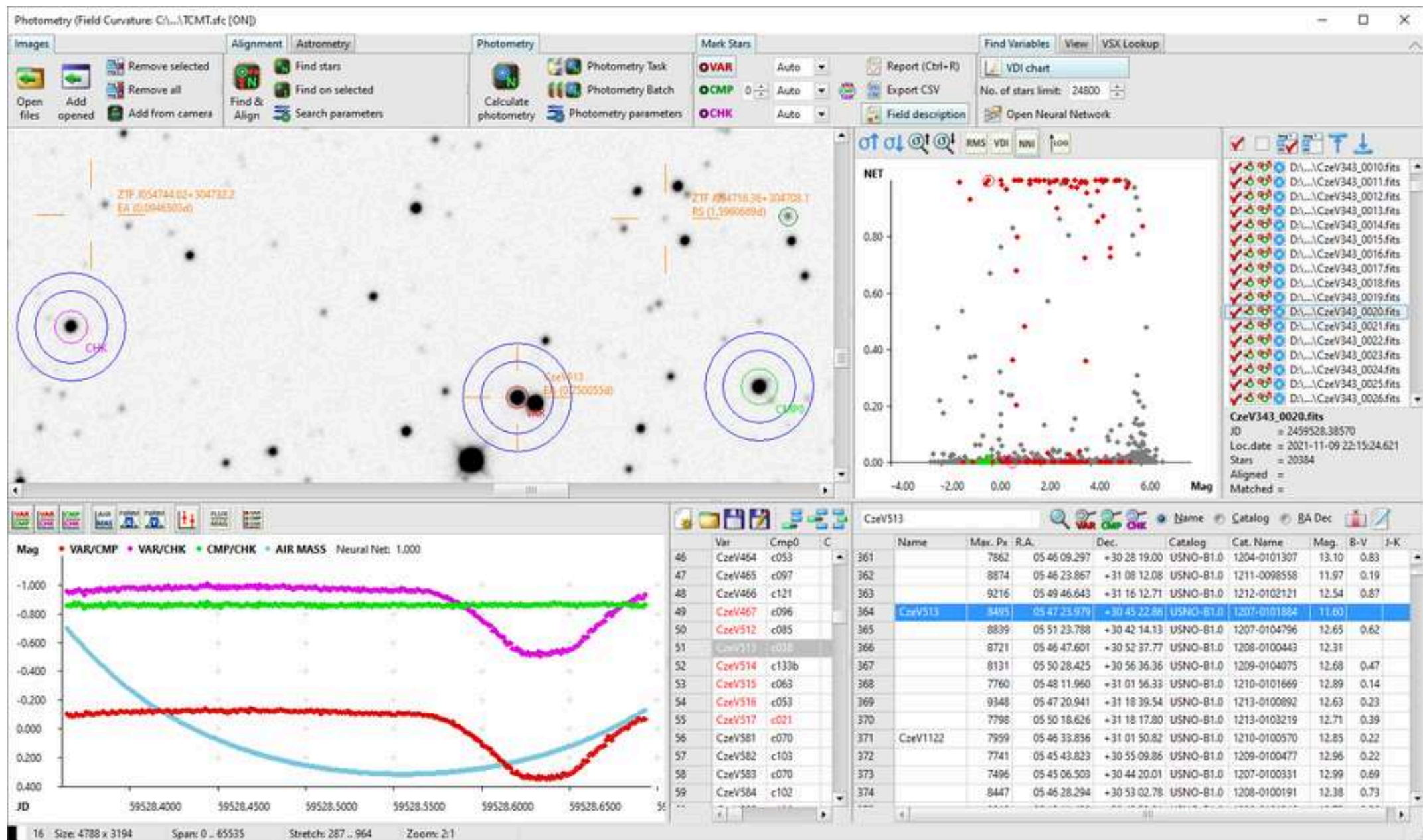
	Name	X px	Y px	FWHMx p	FWHMy p	Max. Px	R.A.	Dec.	Catalog	Cat. Name	Cat. R.A.	Cat. Dec.	Mag.	B-V	J-K	Back.	B.
708	var2	508.87	3550.10	2.36	2.18	34406	20 35 29.491	+26 07 25.57	UCAC4	581-108782	20 35 29.479	+26 07 25.37	11.60	0.69	0.51	702.813	
709		2670.00	3426.89	1.93	1.81	42902	20 32 00.705	+26 05 01.93	UCAC4	581-107518	20 32 00.737	+26 05 01.95	12.16		1.18	714.060	
710		3263.46	3098.23	1.79	1.65	50875	20 31 03.345	+25 57 55.80	UCAC4	580-103179	20 31 03.360	+25 57 56.01	12.24		0.22	716.592	
711		2518.52	3512.10	2.26	2.12	30899	20 32 15.366	+26 06 52.18	UCAC4	581-107591	20 32 15.365	+26 06 51.82	12.26		0.30	713.142	
712		2892.15	1920.49	1.81	1.69	40732	20 31 38.843	+25 32 23.64	UCAC4	578-110306	20 31 38.870	+25 32 23.46	12.36		0.26	715.427	
713		1271.48	3530.51	2.07	1.90	38544	20 34 15.823	+26 07 08.09	UCAC4	581-108257	20 34 15.835	+26 07 08.13	12.07	1.41	0.72	707.705	
714	c073	4868.34	2907.31	1.96	1.82	35055	20 28 28.601	+25 53 43.93	UCAC4	580-102478	20 28 28.568	+25 53 43.74	12.45	0.73	0.26	723.545	
715		461.34	1166.21	2.18	2.13	35003	20 35 31.734	+25 15 45.48	UCAC4	577-108910	20 35 31.717	+25 15 45.80	12.62		1.27	706.880	

Rozdílné apertury

- Schopnost s pracovat s rozdílnými aperturami pro proměnnou, srovnávací (a případně kontrolní) hvězdu může velmi významně zpřesnit fotometrii, pokud:
 - Hvězdy mají velký rozdíl jasů (typické pro velká pole, kdy několik srovnávacích hvězd slouží pro více proměnných hvězd, včetně velmi slabých)
 - Potřebujeme omezit aperturu kvůli blízké hvězdě
 - ...
- Společná apertura
- Rozdílné apertury
- Automatické apertura vždy odpovídá zvolené hvězdě



Příklad použití rozdílných (automaticky určených) apertur u dvou blízkých hvězd



Označování hvězd

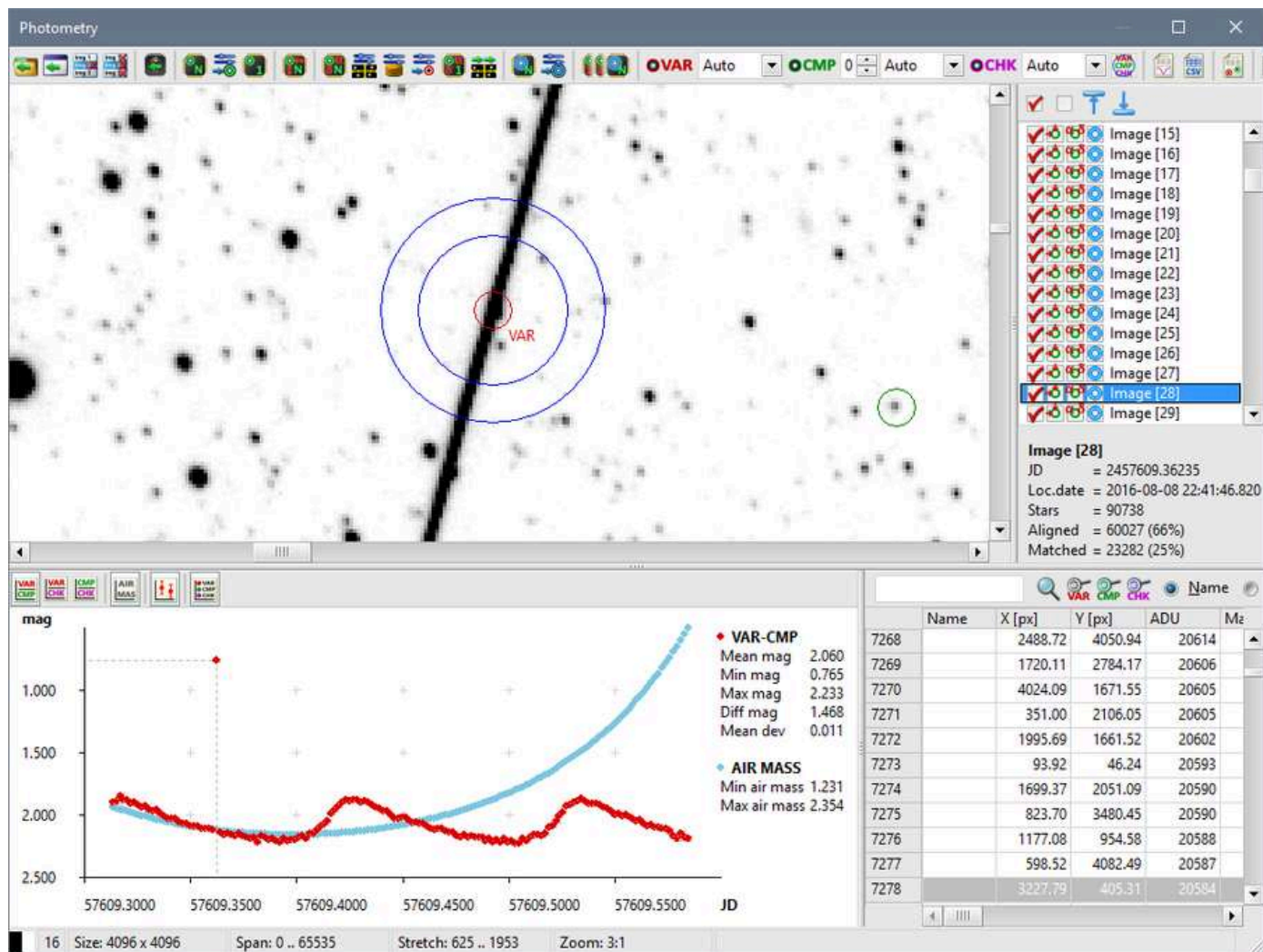
- Hvězdy lze označit po kliknutí do snímku
 - Hvězdy lze označovat na kterémkoliv snímku, nikoliv tedy pouze na snímku použitém jako reference pro sesazení
 - Typ vybrané hvězdy (VAR, CMPx, CHK) záleží na volbě v hlavním ribonu
- Výběrem hvězdy v tabulce hvězd
 - Hvězdy v tabulce lze i vyhledávat
 - Hledat jde přidělené jméno nebo katalogové označení



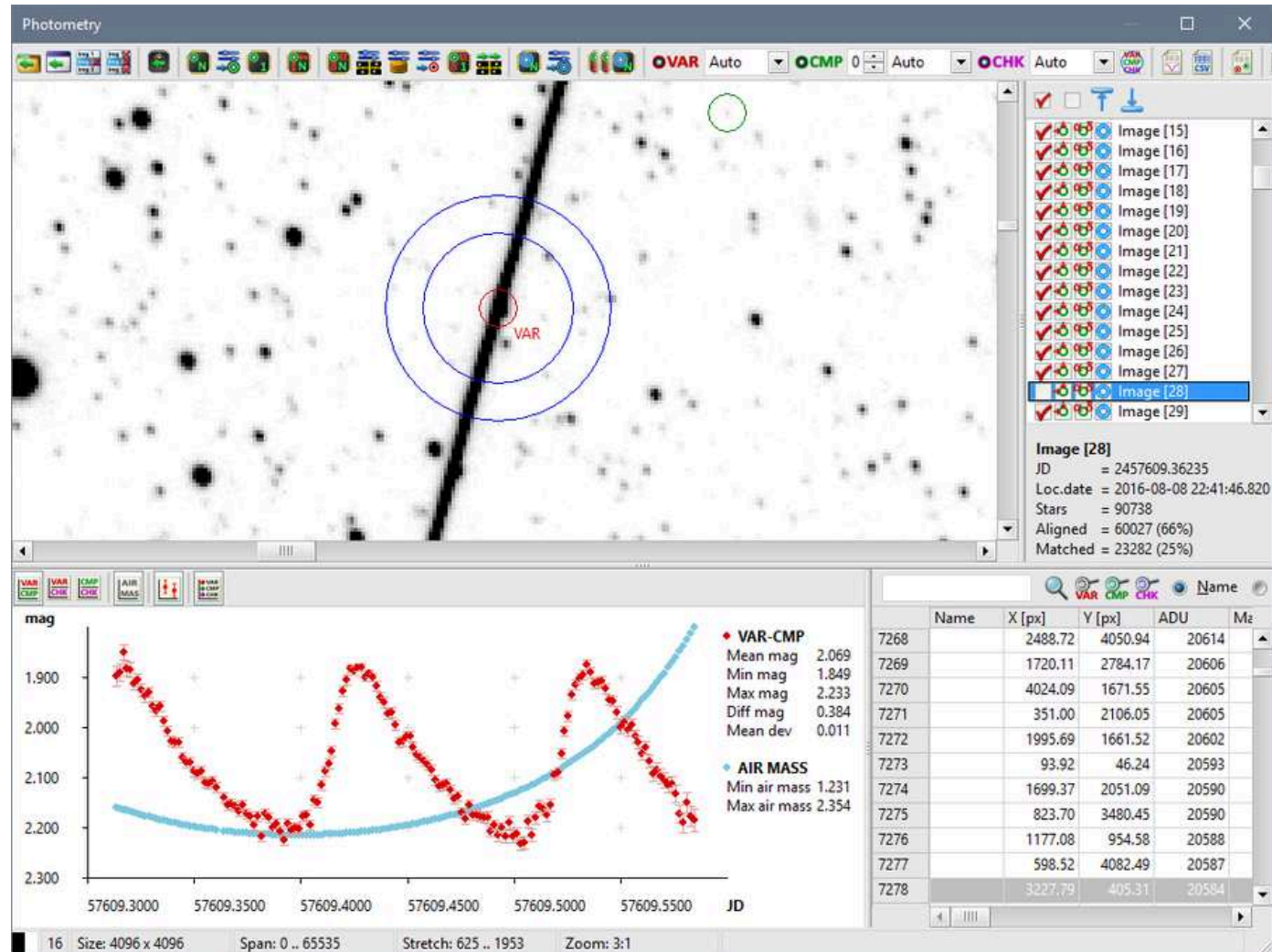
Konečně světelná křivka

- Světelná křivka je vždy vytvořena z aktuálně označených hvězd (zakroužkovaných na snímku)
- Graf světelné křivky dovoluje zobrazit vztahy mezi VAR-CMP-CHK hvězdami
- V grafu světelné křivky je možné zobrazit další údaje
 - vzdušnou hmotu
 - FWHM proměnné hvězdy v osách X a Y
- Legenda grafu světelné křivky může být v jediném řádku nahoře nebo podrobná ve sloupci v pravé části grafu

Vadný bod lze vyřadit pomocí double-click v křivce i v seznamu snímků
(v seznamu pracuje také klávesa <Enter>)



Opět zařadit jej lze ale pouze v seznamu snímků (ve světelné křivce už chybí). Všechny snímky lze zvolit nástrojem ☒ v liště nad seznamem (nebo <Ctrl A>)

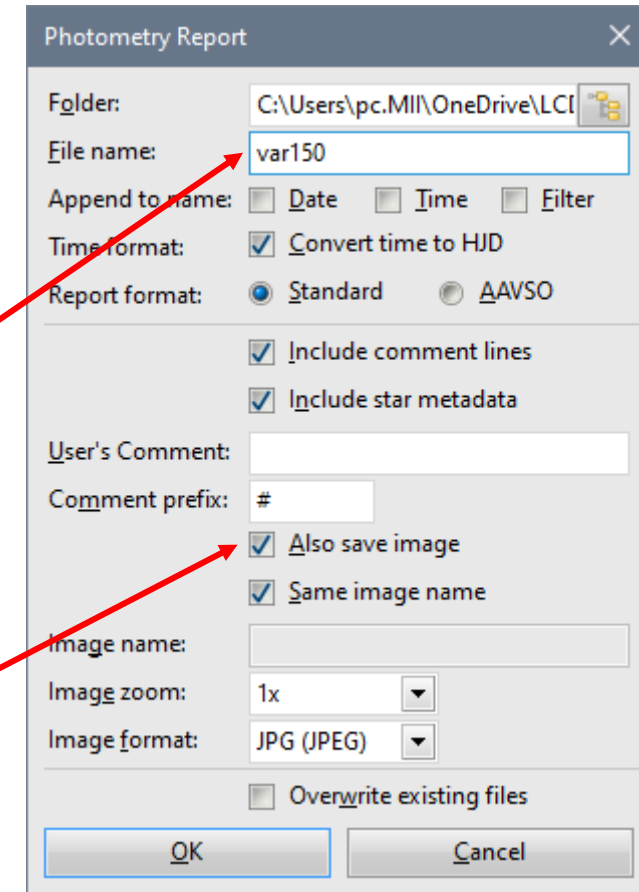


Provázané uživatelské rozhraní nástroje Fotometrie

- Výběr hvězdy ve snímku vybere hvězdu i v tabulce hvězd
- Výběr řádku v tabulce hvězd vybere (a vycentruje) hvězdu ve snímku
- Výběr snímku v seznamu zobrazí snímek, obnoví data v tabulce hvězd a označí bod ve světelné křivce
- Výběr bodu ve světelné křivce zobrazí snímek, vybere řádek v seznamu snímků a obnoví tabulku hvězd
- Výběr hvězdy v **tabulce popisu pole** označí VAR, CMP a CHK hvězdy ve snímku a VAR zobrazí v tabulce a vycentruje ve snímku (bude popsáno později)

Fotometrický protokol

- Nástroj uložení protokolu (nebo <Ctrl R>) otevře dialog pro uložení protokolu
- Pokud má hvězda v tabulce definované jméno, nabídne se jako jméno souborů
- Dialog není klasický „File Box“, je optimalizován na ukládání velkého množství křivek do zvoleného adresáře
- Najednou ukládá protokol i mapku (obrázek)



Data fotometrického protokolu

- Data lze ukládat v GJD i HJD (doporučeno!)
- Data lze ukládat v Mag i Flux
 - Jestli je použita magnituda nebo flux rozhoduje nástroj v panelu s  telné křivky
- Protokol může a nemusí obsahovat komentářové řádky
 - Lze zvolit řetězec uvozující komentářové řádky
- Jako komentář lze uvést také metadata hvězdy

```
#HJD V-C s1
```

```
#VarAperture: 10.00 CmpAperture: 14.00 JD: heliocentric Unit: magnitude Filter: NoFilter
```

```
#Catalog: UCAC4 CatalogId: 605-025126 CatalogRA: 05:48:24.01 CatalogDec: 02:03:48.24 CatalogMag: 13.71
```

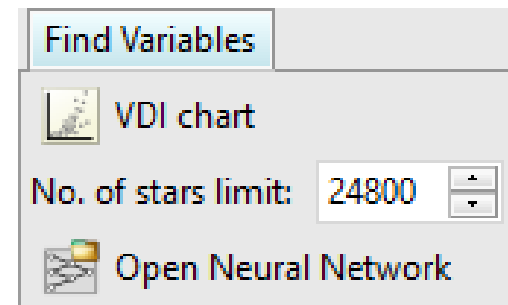
```
CatalogB-V: 0.39 CatalogJ-K: 0.20
```

Vyhledávání proměnných hvězd

- K vyhledávání proměnných hvězd lze nástrojem otevřít další panel
 - Lze omezit kolik nejjasnějších hvězd bude do grafu zahrnuto a tím eliminovat velmi slabé hvězdy
- V panelu lze kliknutím na bod označit proměnnou nebo kontrolní hvězdu
 - Srovnávací hvězdu v grafu označit nelze, neboť všechny hvězdy v grafu jsou srovnávány s aktuální CMP hvězdou
- Nástroji „sigma $\uparrow$ “ nebo „sigma $\downarrow$ “ (nebo kurzorovými šipkami $\uparrow$ a $\downarrow$) lze vybírat následující/předchozí hvězdu podle rozptylu
 - Šipky $\uparrow$ a $\downarrow$ s klávesou [Shift] vybírají jen hvězdy už neoznačené jako proměnné

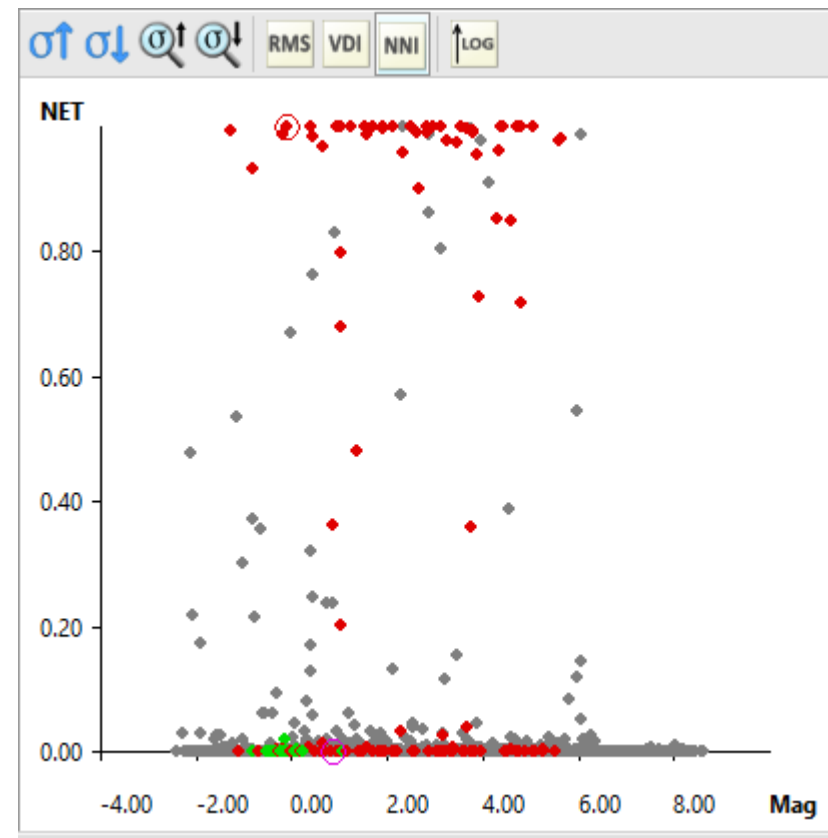
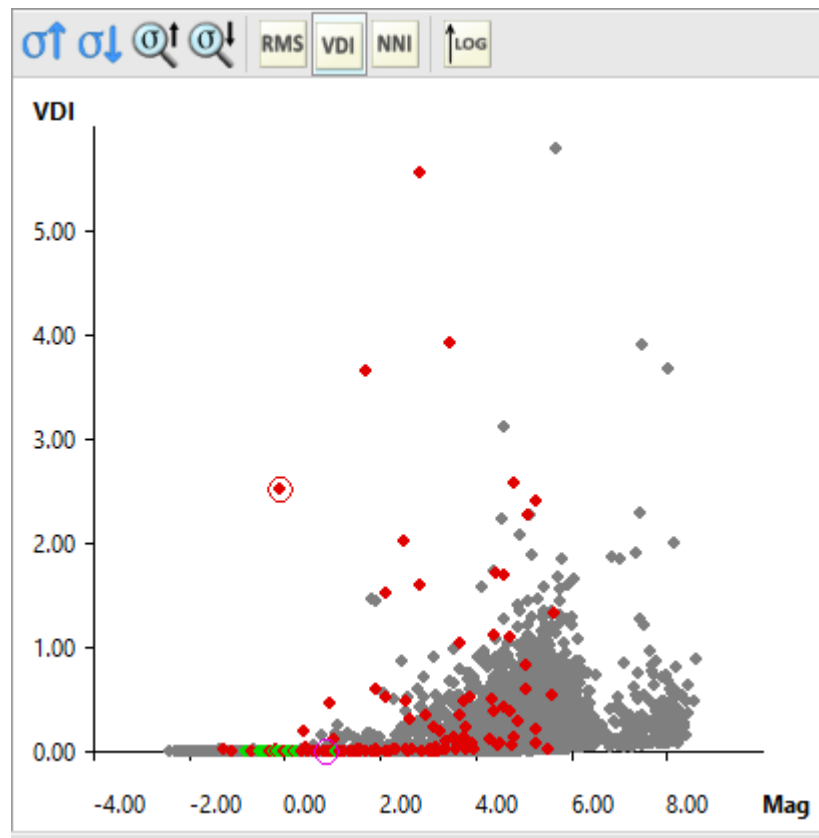
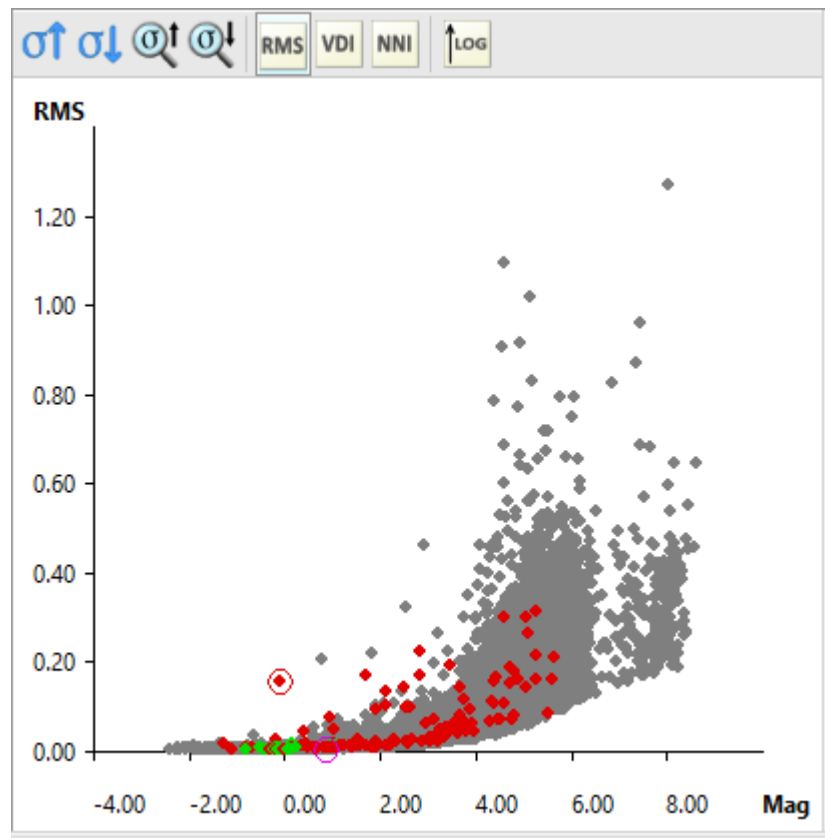
Hledání (nových) proměnných hvězd

- Nástroj Fotometrie nabízí tři možnosti indikace proměnnosti:
 1. Směrodatná odchylka řady v průběhu noci (**RMS** – Root Mean Square)
 2. Variability Detection Index (**VDI**) [Jaimes, R. F. at al, A&A, 2013]
 3. Neuronová síť (**NNI** – Neural Network Index)
- Žádná metoda ale není zcela odolná na falešné hodnoty, zvláště v polích s desítkami tisíců hvězd
- Alternativně lze RMS, VDI i NNI zobrazit v logaritmické škále

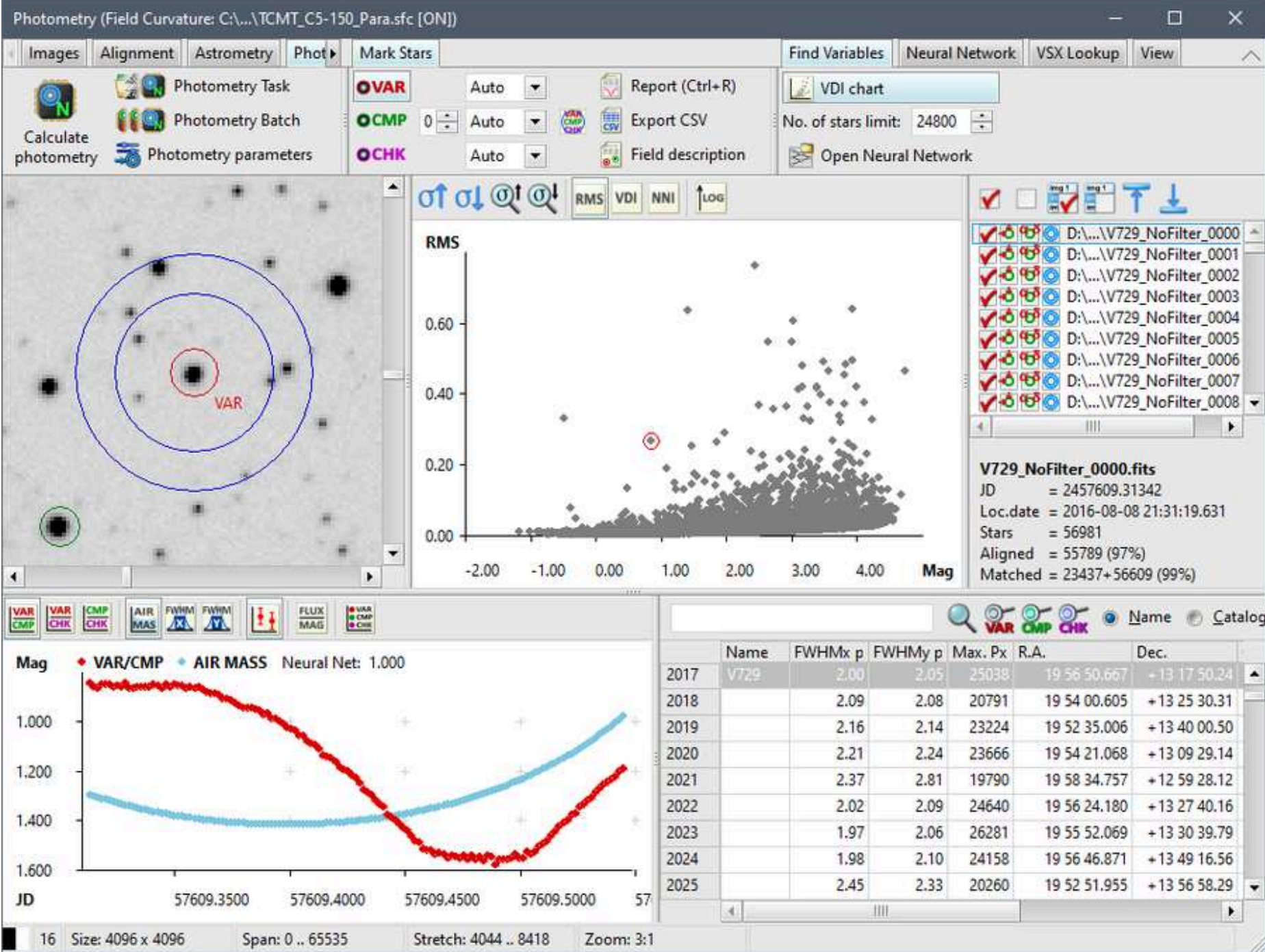


3 metody indikace proměnnosti

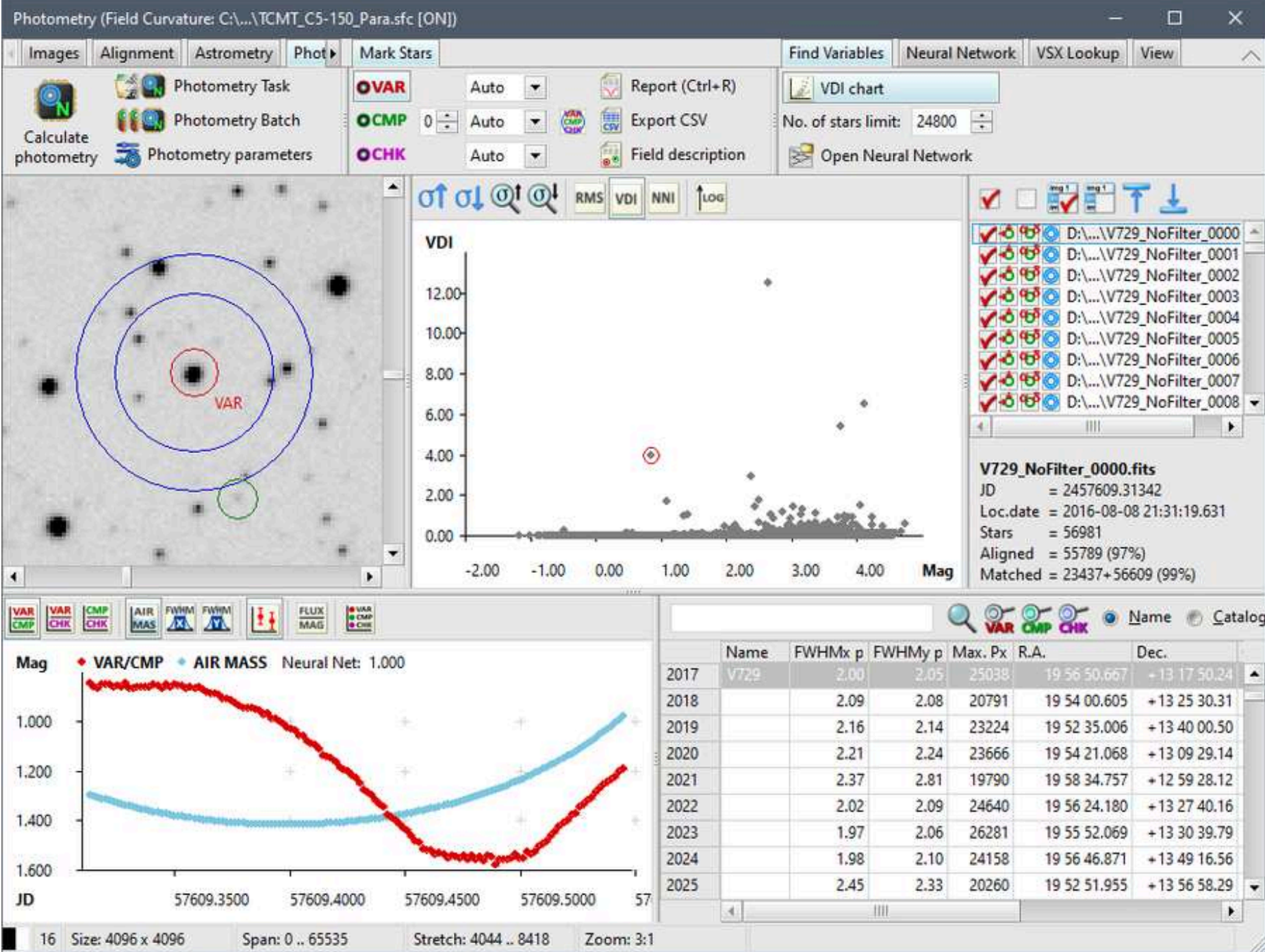
- RMS (vlevo), VDI (uprostřed) a neuronová síť (vpravo)



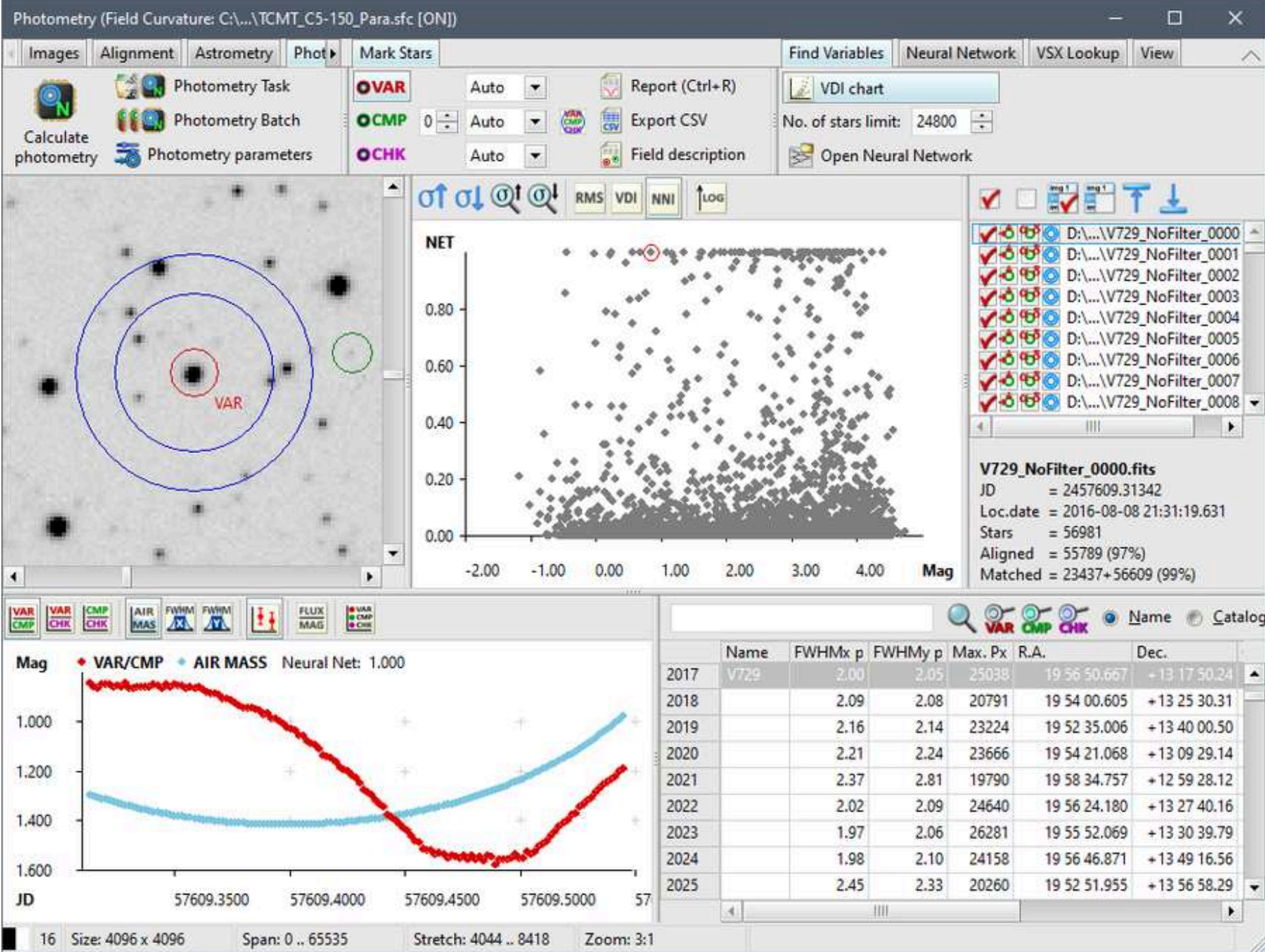
Proměnná hvězda
zobrazená v
závislosti RMS



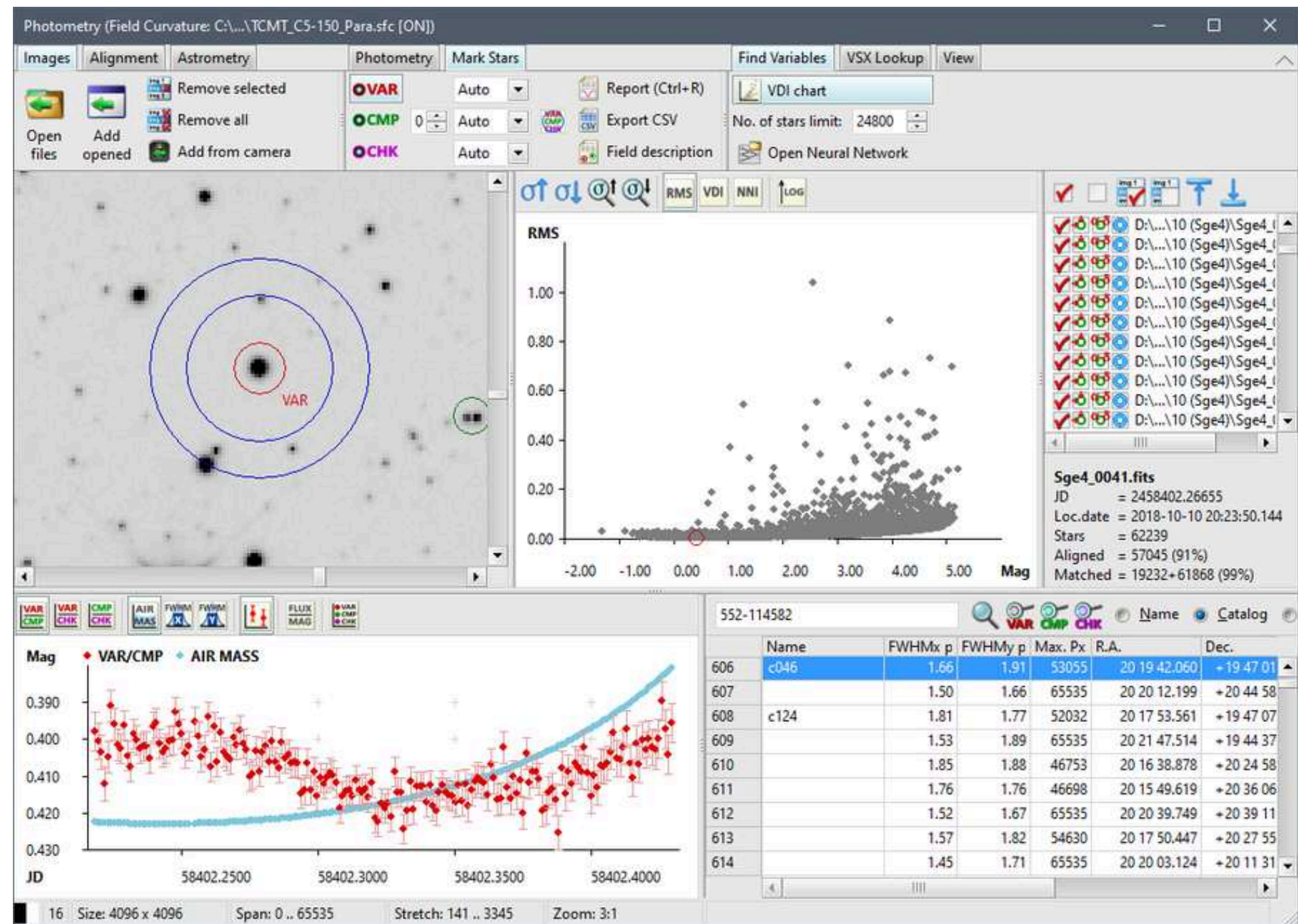
Proměnná hvězda
zobrazená v
závislosti VDI
(Variability
Detection Index)



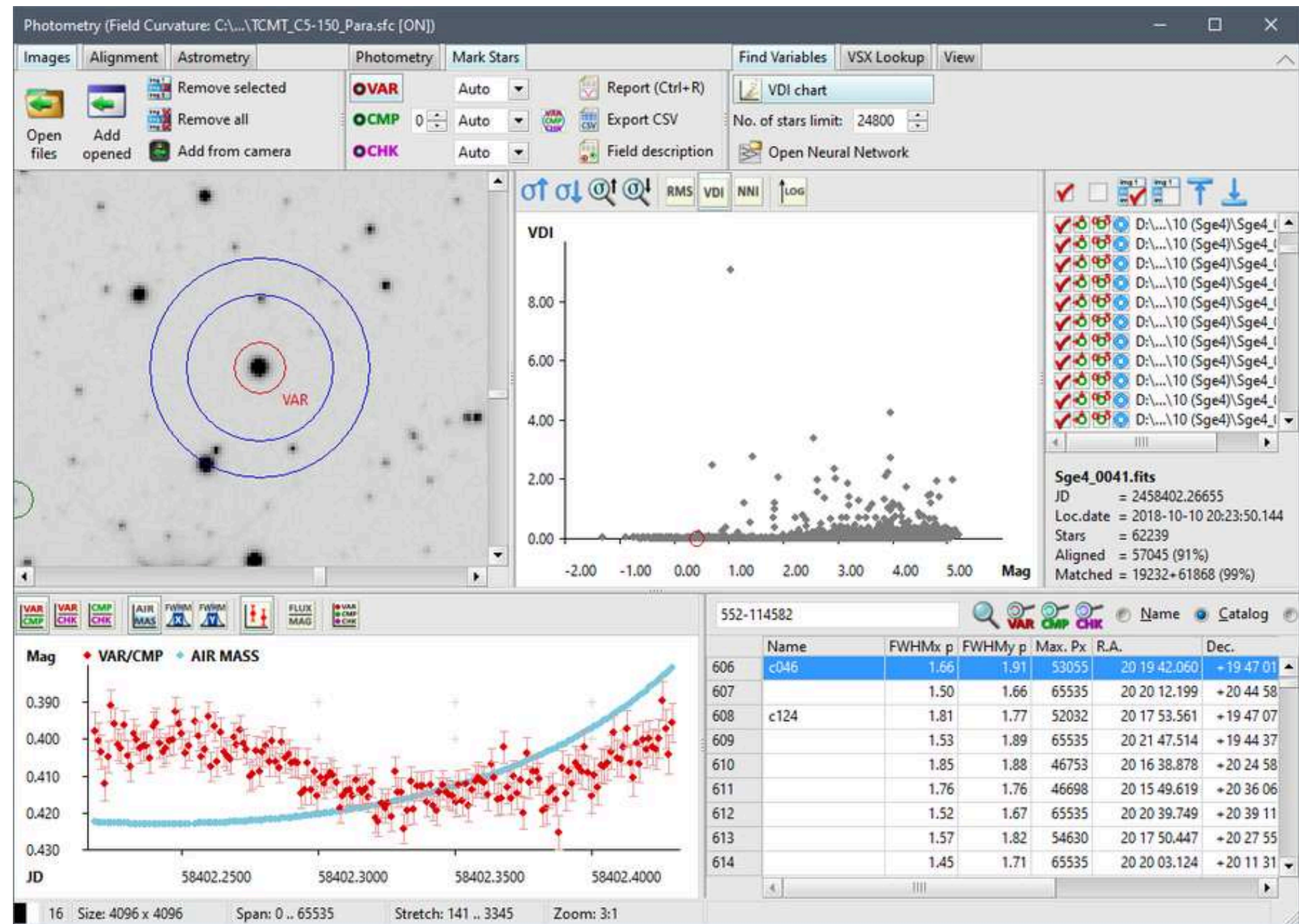
Proměnná hvězda
zobrazená v
závislosti NNI
(Neural Network
Index)



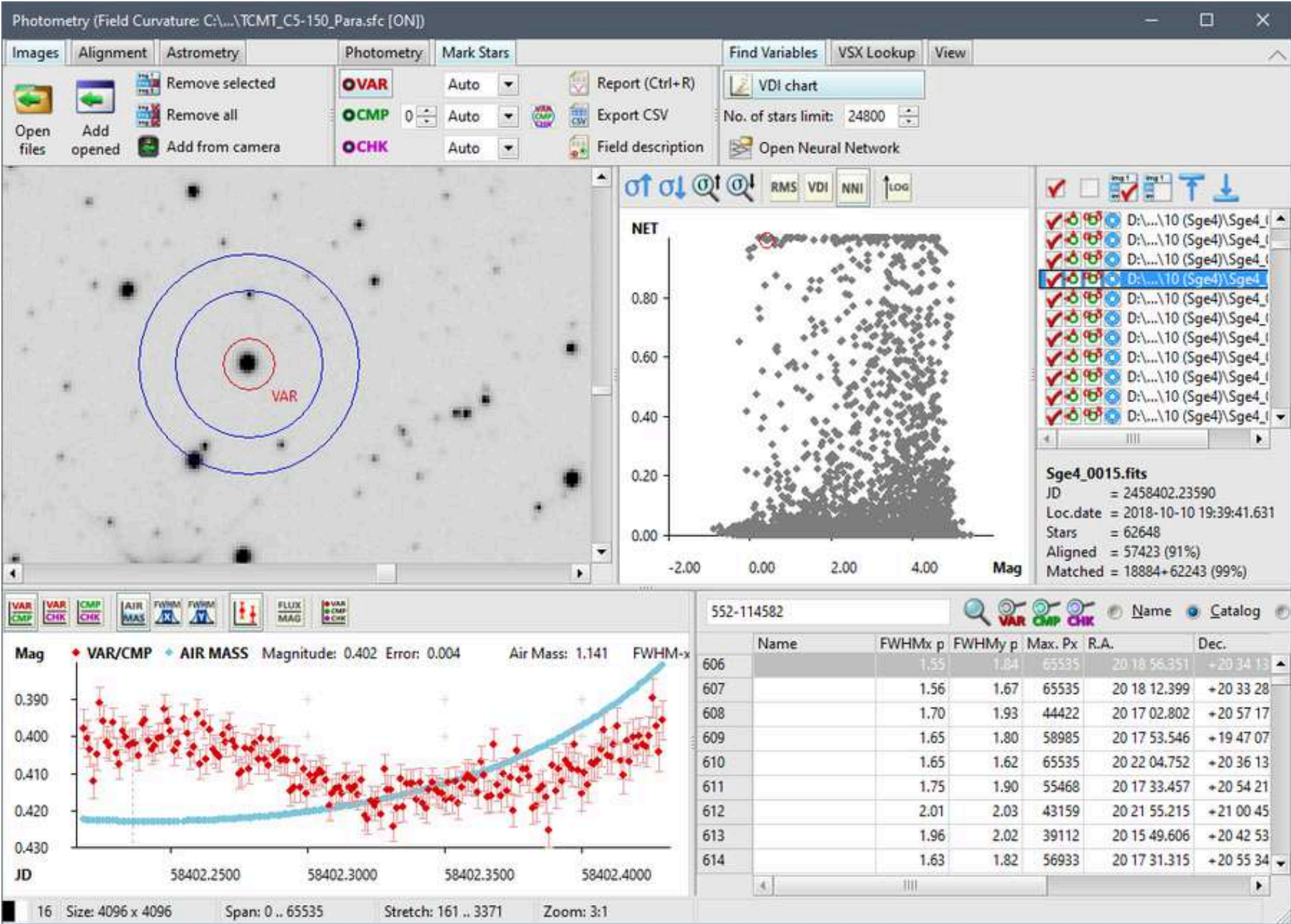
Proměnná
hvězda s
plytkým
minimem
zobrazená v
závislosti RMS



Proměnná
hvězda s
plytkým
minimem
zobrazená v
závislosti VDI



Proměnná
hvězda s
plytkým
minimem
zobrazená v
závislosti NNI



Panel vyhledávání hvězd

- Hvězdy, zobrazené v panelu vyhledávání hvězd, jsou definovány aktuálně vybraným snímkem
 - Při zvolení jiného snímku je panel zavřen
- Hodnoty RMS, VDI nebo odezva NNI jsou vztaženy k aktuálně vybrané srovnávací hvězdě
 - Při **změně srovnávací hvězdy** je panel **přepočítán**
- Hodnoty RMS, VDI nebo odezva NNI závisí na zvolené apertuře
 - Při **změně apertury** je panel **přepočítán**
 - Automatická apertura mění typické rozložení bodů, rozptyl slabších hvězd není tak výrazný díky menší apertuře, se kterou je fotometrie počítána

Popis pole (Field Description)

- Smyslem popisu pole je výrazně usnadnit, urychlit a omezit chyby při výběru hvězd
 - Popis pole tedy není nic jiného, než způsob zapamatování výběru proměnné, srovnávací(ch) a kontrolní hvězdy
- Při tvorbě popisu pole určujeme, které kombinace VAR, CMPx a (volitelně) CHK se mají zapamatovat
 - Jeden záznam (řádek) definuje jednu sledovanou (proměnnou) hvězdu
- Při použití popisu pole pak Fotometrie označí VAR, CMPx a CHK hvězdy, definované v daném řádku

Tvorba popisu pole



- Popis pole lze vytvářet v samostatném panelu
- Popis pole identifikuje hvězdy souřadnicemi, je tedy nezbytné spočítat **astrometrii**
 - Teoreticky stačí astrometrie jediného snímku, ale popis pole pak fungje jen pokud je tento sníme vybrán jako aktuální
- **Podmínkou zařazení záznamu** (řádku – kombinace VAR, CMPx a CHK hvězd) do popisu pole je **pojmenování** všech zvolených hvězd (zakroužkovaných na snímku) v **tabulce hvězd**
 - Hvězdy lze pojmenovat kliknutím na buňku **Name** v tabulce hvězd
 - Všechny aktuálně vybrané hvězdy (VAR, CMPx, CHK) musí být pojmenovány, jinak nelze záznam přidat do popisu pole

Tvorba popisu pole

- Nástroje popisu pole:
 -  přidá aktuálně vybranou kombinaci VAR, CMPx (a CHK) na konec popisu pole
 -  vloží aktuálně vybranou kombinaci VAR, CMPx (a CHK)
 -  smaže zvolený řádek (záznam o hvězdě)
 -  přepíše zvolený řádek (záznam o hvězdě) aktuálně vybranými hvězdami
 -    seřadí řádky podle jména proměnné hvězdy, rektascenze nebo deklinace
 -  smaže aktuální tabulku a vytvoří novou (prázdnou)
 -  otevře popis pole ze souboru (*.sfd)
 -  uloží aktuální popis do souboru

Soubor popisu pole

- Soubor popisu pole se skládá ze dvou bloků
 1. Blok pojmenovaných hvězd, obsahující všechny hvězdy, u kterých bylo zadáno jméno ve sloupci **Name**
 2. Blok uspořádaných N-tic [VAR, CMP0, ..., CMP9, CHK]
- Při načítání slouží první blok k pojmenování všech uvedených hvězd v tabulce hvězd
 - Hvězdy jsou vyhledávány podle souřadnic α , δ
- Druhý blok N-tic hvězd [VAR, CMP0, ..., CMP9, CHK] se objeví v tabulce popisu pole
 - Výběr řádku v popisu pole je jen **další způsob** jak **označit** proměnnou, srovnávací a případně kontrolní hvězdu

Příklad souboru popisu pole

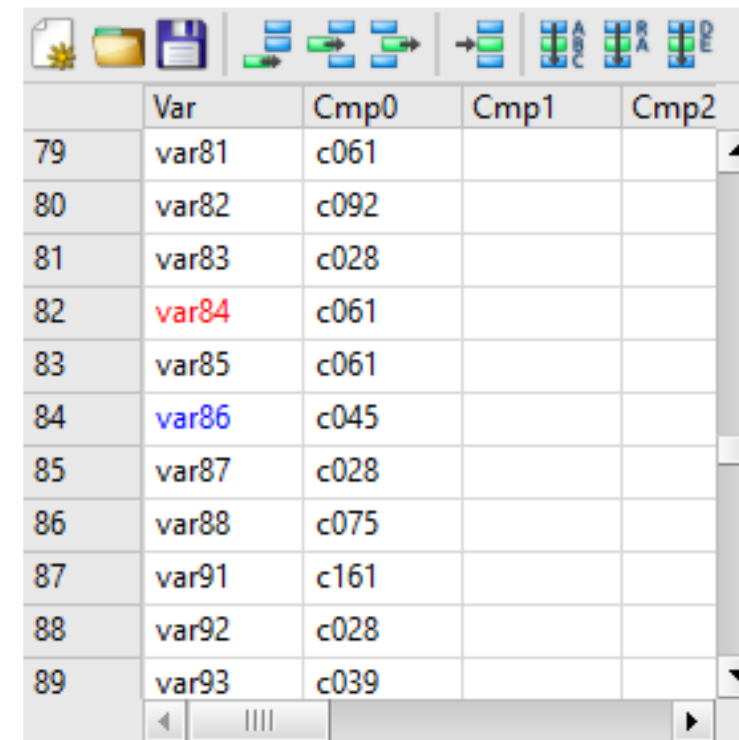
```
[Description]
version = 1
catalog = UCAC4
```

```
[Stars]
CzeV278 = 5.214202445E+0; 2.416943678E-1; 520-116786; 5.214201737E+0; 2.416945087E-1
CzeV277 = 5.213997768E+0; 2.416949445E-1; 520-116759; 5.21399635E+0; 2.416958225E-1
CzeV276 = 5.211927943E+0; 2.291749071E-1; 516-118485; 5.211928455E+0; 2.29174239E-1
CzeV274 = 5.217900065E+0; 2.386507444E-1; 519-115804; 5.217901258E+0; 2.386517938E-1
CzeV273 = 5.217856905E+0; 2.306025753E-1; 517-114737; 5.217855933E+0; 2.306040272E-1
CzeV272 = 5.213611888E+0; 2.316463544E-1; 517-114241; 5.213612257E+0; 2.316458191E-1
...
```

```
[Variables]
CzeV272 = c060; ; ; ; ; ; ; ; ; ;
CzeV273 = c110; ; ; ; ; ; ; ; ; ;
CzeV274 = c060; ; ; ; ; ; ; ; ; ;
CzeV276 = c069; ; ; ; ; ; ; ; ; ;
CzeV277 = c060; ; ; ; ; ; ; ; ; ;
CzeV278 = c026; ; ; ; ; ; ; ; ; ;
...
```

			☐ Name ☐ Catalog						
	Var	Cmp0		Name	X [px]	Y [px]	ADU	Max. Px	R.A.
1	CzeV272	c060	14618		3872.06	2491.74	7755	7124	19h 52m 49.65s
2	CzeV273	c110	14619		2743.50	3239.56	7754	6913	19h 54m 34.05s
3	CzeV274	c060	14620		2797.77	209.81	7753	6913	19h 54m 25.94s
4	CzeV276	c069	14621		2432.46	3679.24	7753	6892	19h 55m 03.11s
5	CzeV277	c060	14622		2714.29	3286.59	7752	6856	19h 54m 36.78s
6	CzeV278	c026	14623		3267.78	272.22	7752	6929	19h 53m 43.00s
7	CzeV279	c126	14624		3583.22	23.21	7752	6816	19h 53m 13.91s
8	CzeV280	c081	14625		1683.11	191.49	7750	6213	19h 56m 07.90s
9	CzeV281	c026	14626		2188.08	827.65	7750	7216	19h 55m 22.41s
10	CzeV282	c110	14627		714.92	2646.43	7748	6950	19h 57m 39.71s
11	CzeV283	c110	14628	CzeV273	1891.11	1749.89	7746	7206	19h 55m 50.67s
12	CzeV284	c069	14629		2010.22	2705.56	7746	7734	19h 55m 40.84s

- Pokud hvězda s definovanými souřadnicemi není na vybraném snímku nalezena, je označena červeně
 - Hvězda může být mimo zorné pole
 - Pokud je v poli a pouze je např. příliš slabá, je možné zvolit jiný snímek, na kterém může mít hvězda lepší S/N
- Pokud hvězda daného jména není v tabulce hvězd, je označena modře
 - SIPS brání přidání nepojmenované hvězdy do popisu
 - Je ale např. možné jméno hvězdy v tabulce hvězd dodatečně smazat atd.



	Var	Cmp0	Cmp1	Cmp2
79	var81	c061		
80	var82	c092		
81	var83	c028		
82	var84	c061		
83	var85	c061		
84	var86	c045		
85	var87	c028		
86	var88	c075		
87	var91	c161		
88	var92	c028		
89	var93	c039		

Použití popisu pole

- Popis pole má smysl použít pokud:
 1. Dané pole sledujeme opakovaně
 2. V poli je více sledovaných hvězd (desítky, stovky)
- Popis pole dokáže zkrátit zpracování jedné pozorovací řady z hodin (až dní) na minuty až desítky minut
 - Zejména u velkých a hustých polí s desítkami tisíců hvězd
- Uložení pojmenovaných hvězd v tabulce hvězd výrazně usnadňuje vyhledávání nových proměnných hvězd
 - Při nalezení proměnné hvězdy nástrojem vyhledávání změn je ihned patrné, jestli se jedná o už známou hvězdu (je tabulce pojmenována) nebo ne

Několik úvah na závěr (proč pozorovat?)

- Jsme astronomové – zajímejme se o hvězdy, které pozorujeme
 - Vyhledejme články o dané hvězdě nebo o podobných systémech
 - Prohlédněme ETV diagram
 - ...
- Měli bychom vědět proč dané hvězdy pozorujeme
 - Čím je daný systém zajímavý?
 - Co naše pozorování pomůže objasnit?
- Příliš nespolehejme, že někdo za nás určí co pozorovat
- Být součástí týmu s profesionály je **extrémně užitečné**
 - I tak se ale vždy se zajímejme o to jaký cíl tým sleduje a proč jsou zapotřebí naše data

The first principle is that you must not fool yourself and you are the easiest person to fool.

Richard Feynman

První zásadou je neoklamat sami sebe, přitom sami sebe oklameme úplně nejsnáze.

Richard Feynman

Děkuji za pozornost

Ukázka? Otázky?