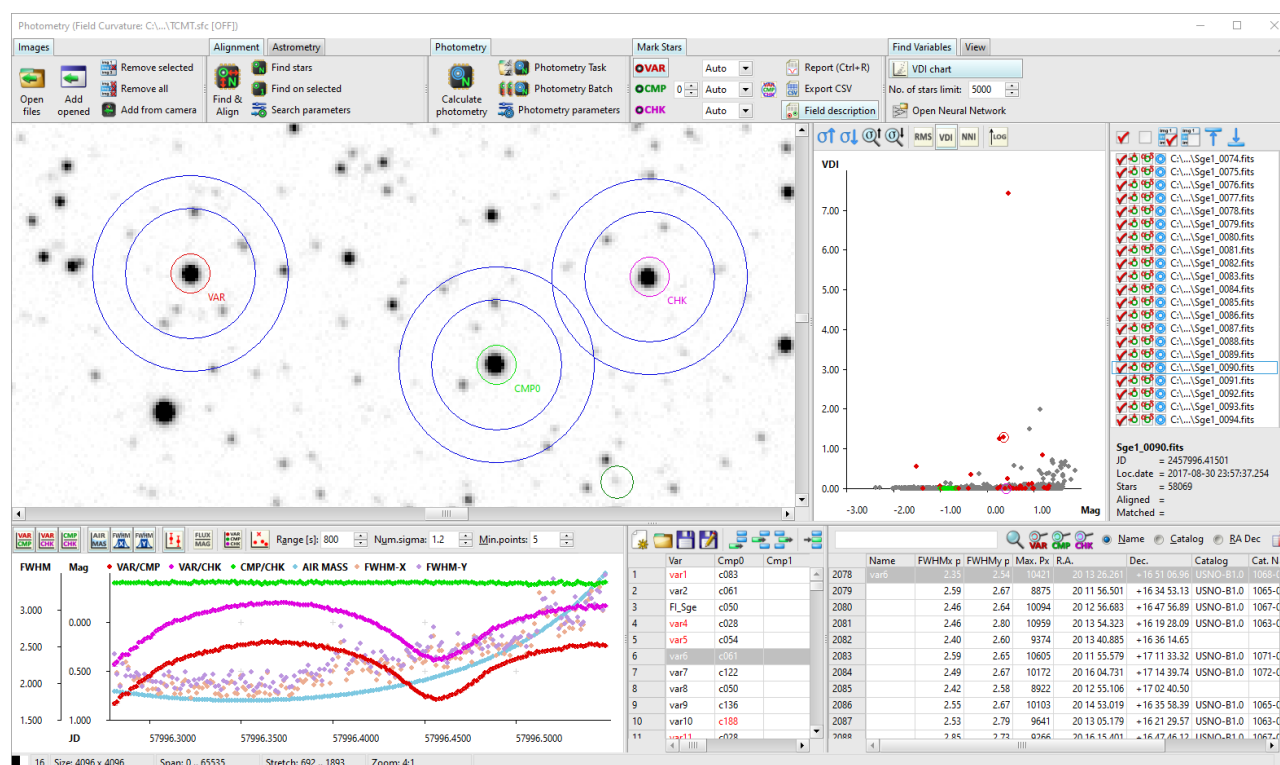


# SIPS fotometrie (a astrometrie) časových řad snímků

Poznámka:

Název nástroje **Photometry** odráží jeho vývoj z nástroje provádějícího fotometrické zpracování časových řad snímků. Postupem času bylo do zpracovatelského řetězce přidáno také plné **astrometrické** zpracování, a proto by vhodnějším názvem bylo **Astrometrie a fotometrie časových řad snímků**. Takový název je však bohužel příliš dlouhý pro spouštěcí tlačítka i titulky okna nástroje, proto byl ponechán původní název. Mějte však na paměti, že lze provádět také astrometrii časových řad snímků, přestože astrometrický krok je stále volitelný.

Nástroj **Photometry** může provádět komplexní astrometrickou a fotometrickou redukci série snímků načtených do implicitního seznamu nástroje a vytvářet světelné křivky, ukládat fotometrické protokoly atd. Tento poměrně komplexní a výkonný nástroj nabízí mnoho pokročilých funkcí, například vyhledávání proměnných hvězd, fotometrické úlohy pro automatizované zpracování, vytváření seznamů popisu pole pro automatické zpracování mnoha proměnných hvězd v zorném poli a mnoho dalšího.



Fotometrie časových řad je poměrně složitá úloha zahrnující mnoho kroků—kalibraci série snímků, párování hvězd na jednotlivých snímcích a správný výpočet toků (tok je množství světla získané senzorem z hvězdy během expoziční doby) všech detekovaných hvězd na všech snímcích v seznamu. Se znalostí toků jednotlivých hvězd je možné porovnat vybranou hvězdu s jinou srovnávací hvězdou (nebo hvězdami) a vyhodnotit změny jasnosti hvězdy v čase. Většina hvězd si jasnost zachovává beze změny (případné naměřené změny jsou způsobeny sekundárními jevy nesouvisejícími se samotnou hvězdou, například změnami počasí, atmosférickou extinkcí lišící se v různých výškách nad obzorem apod.), ale jasnost některých hvězd se mění, a proto je nazýváme „proměnné hvězdy“. Příčin proměnnosti jasnosti hvězd je mnoho (zde je nemůžeme rozebírat). V každém případě fotometrie časových řad proměnných hvězd odhaluje obrovské množství

informací o hvězdě (nebo hvězdách ve vícenásobných hvězdných systémech, případně o hvězdě a její obíhající planetě atd.). A získávání fotometrie časových řad je hlavním úkolem nástroje **SIPS Photometry**.

Protože nástroj **Photometry** je součástí celého programu SIPS, přirozeně implementuje pouze úlohy související s fotometrií časových řad; ostatní funkce (vstup/výstup FITS, kalibrace snímků včetně vytváření kalibračních snímků atd.) provádějí jiné nástroje SIPS. Základní manipulace se snímky FITS je popsána v kapitole [SIPS Images](#) a principy a operace se seznamy snímků jsou popsány v kapitole [SIPS Image Lists](#).

Důležitou součástí fotometrického zpracování může být astrometrická identifikace pozorovaných objektů (určení rovníkových souřadnic a případně přiřazení odpovídajících identifikátorů hvězdných katalogů). Zatímco astrometrie na jednom snímku se provádí pomocí specializovaného nástroje **Astrometry**, nástroj **Photometry** je také schopen provést astrometrické řešení, tentokrát na všech snímcích v seznamu. Některé speciální funkce související s astrometrií (např. ruční párování hvězdného pole a výpočet zakřivení pole optiky) však lze provádět pouze v nástroji **Astrometry**.

## Okno nástroje Photometry

Okno nástroje **Photometry** se skládá z několika panelů, jejichž vzájemné poměry lze měnit pomocí vodorovných a svislých dělicích příček. Čtyři panely jsou zobrazeny vždy, další dva panely lze na žádost uživatele zobrazit nebo skrýt.

Vždy viditelné panely zahrnují:

- **Panel snímku** (vlevo nahoře) zobrazuje aktuálně vybraný snímek. Na tento snímek lze použít všechny manipulace se snímkem—uživatel může například zvolit normální nebo inverzní paletu, snadno měnit přiblížení (kolečkem myši) a posouvat snímek (pravým tlačítkem myši), aby získal přehled o celém poli nebo zkontroloval požadovaný detail atd. (viz níže kapitola [Panel snímku a seznam snímků](#)). Na zde zobrazeném snímku jsou také vyznačeny proměnné/srovnávací/kontrolní hvězdy (viz níže kapitola [Panel světelné křivky](#)).
- **Panel seznamu snímků** (vpravo nahoře) zobrazuje všechny snímky v aktuálním implicitním seznamu snímků nástroje Photometry. Ikony před jednotlivými snímky označují stav zpracování. Pod seznamem se také zobrazují podrobnější informace o vybraných snímcích (viz níže kapitola [Panel snímku a seznam snímků](#)).
- **Panel světelné křivky** (vlevo dole) zobrazuje světelnou křivku vybrané proměnné hvězdy porovnané s vybranou srovnávací hvězdou. Zobrazit lze také světelné křivky hvězd porovnaných s vybranou kontrolní hvězdou (pokud existuje), vztahy mezi srovnávacími a kontrolními hvězdami a také vzdušnou hmotu (viz níže kapitola [Panel světelné křivky](#)).
- **Panel tabulky hvězd** (vpravo dole) zobrazuje všechny známé informace o všech detekovaných hvězdách v aktuálně aktivním snímku (tedy ve snímku vybraném v panelu seznamu snímků a zobrazeném v panelu snímku). Jak zpracování pokračuje, přidávají se nové informace (např. po astrometrii se zobrazí přiřazené katalogové ID, souřadnice a magnituda; po výpočtu fotometrie se přidávají toky). Funkce tabulky hvězd jsou popsány v kapitole [Panel tabulky hvězd](#).

Volitelně zobrazované panely jsou:

- **Panel Find variables** (nahore uprostřed). Zobrazí se po stisknutí tlačítka a skryje se po jeho uvolnění (opětovném stisknutí). Výběr libovolného jiného snímku v seznamu tento panel také skryje (viz níže kapitola [Hledání proměnných hvězd](#)).
- **Panel Field description** (dole uprostřed). Zobrazí se po stisknutí tlačítka a skryje se po jeho uvolnění (opětovném stisknutí). Funkce tohoto panelu jsou popsány v kapitole [Popis pole](#).

## Pracovní postup zpracování fotometrie

Nástroj **Photometry** nabízí dvě cesty, jak se dostat od sady surových snímků FITS ke světelné křivce vybrané proměnné hvězdy.

1. Zkušenější uživatelé pravděpodobně upřednostní nejkratší a nejrychlejší cestu—definovat **fotometrickou úlohu**, případně ji uložit pro pozdější opakované použití, a spustit ji.
2. Druhá (delší) cesta fotometrického zpracování spočívá v ručním spouštění jednotlivých kroků. Tento postup umožňuje kontrolovat výsledky jednotlivých kroků a ladit parametry.

Použití fotometrické úlohy je efektivní pouze tehdy, pokud je celá posloupnost kroků fotometrického zpracování již otestovaná a vyladěná. To znamená, že parametry pro vyhledávání hvězd jsou správně definovány pro použitý dalkohled a kameru (vzorkování snímku, kvalita optiky a zaostření, ...). V případě potřeby je vypočteno a použito zakřivení pole. Jsou definovány astrometrické katalogy a astrometrie na snímcích funguje dobře (soubory FITS obsahují alespoň přibližné souřadnice středu snímku a také přibližné měřítko snímku, případně jsou definovány velikost pixelů, binning a ohnisková vzdálenost) atd.

### Fotometrická úloha

Fotometrická úloha provádí kompletní fotometrické zpracování:

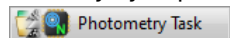
- Načte snímky do seznamu snímků.
- Případně je zkalibruje pomocí definovaných hlavních kalibračních snímků (dark frame a flat field).
- Vzájemně sesadí všechny snímky.
- Případně provede astrometrické řešení všech snímků.
- Vypočítá fotometrii.
- Případně vypočítá sborovou fotometrii.
- Úloha může skončit načteným souborem popisu pole připraveným k použití. Uživatel pak může pouze prohlédnout světelné křivky proměnných hvězd definovaných v popisu pole a uložit fotometrické protokoly.

Aby to bylo možné, musí fotometrická úloha znát umístění (složku) snímků a masku názvů datových souborů FITS, které se mají zpracovat (aby byly vyloučeny případné jiné soubory FITS, například dark a flat snímky umístěné ve stejné složce). Pokud snímky nejsou zkalibrovány, je možné definovat cesty k master-dark a/nebo master-flat snímkům.

Poté je nutné definovat referenční snímek pro sesazení. Pokud referenční snímek není definován, běh úlohy se přeruší dialogovým oknem, které uživatele vyzve k výběru referenčního snímku (podrobnosti viz podkapitola **Automatické sesazení snímků** v popisu nástroje **Blink Images**).

Volitelně lze definovat soubor popisu pole, který se má po dokončení úlohy načíst.

Všechny tyto parametry lze definovat v dialogovém okně **Photometry task**, které se otevírá tlačítkem



na pásu karet **Photometry**.

Photometry task

Photometry files directory: D:\FITS\BSO\2025\02\03 (Cam1 TOI-2046b)

Photometry files mask: TOI-2046b\_SloanG\_0\*.fits

Subtract dark frame: D:\FITS\BSO\2025\02\03 (Cam1 TOI-2046b)\\_dark 90s -25C.fits

Apply flat field: D:\FITS\BSO\2025\02\03 (Cam1 TOI-2046b)\\_flat SloanG.fits

Align reference file: D:\FITS\BSO\2025\02\03 (Cam1 TOI-2046b)\TOI-2046b\_SloanG\_0101.fits

Load field description: C:\Users\pc\OneDrive\FITS\SIPS Field Descriptions\Cam1.sfd

☒ Use ensemble photometry    Color index: Sloan g'-r'    Color term order: 2

Calib. stars limit: 10000    Passband: Sloan g'    Spatial term order: 2

Star Search    Field Curvature    Plate Parameters    Catalogs    Match Parameters    HDR Calibration

☒ Specify star search params for task

Aperture: 13

☒ Use 2nd Aperture 33

Standard deviation count: 3

Number of pixels: 3

Star-mask refine steps: 2

Auto ap. threshold (x RMS): 1

Min. auto aperture radius: 2

Load task file    Save task file    Run photometry task    Close

#### Tip:

Dialogové okno **Photometry task** po výběru složky analyzuje obsah adresáře **Photometry files directory** a pokusí se automaticky vyplnit následující ovládací prvky, pokud jsou příslušné prvky dosud nedefinované (prázdné):

**Photometry file mask** se vytvoří, pokud více než polovina všech názvů souborů v určeném adresáři začíná společným podřetězcem.

**Subtract dark frame** se vyplní souborem, který má v názvu podřetězec „dark“, pokud takový existuje.

**Apply flat field** se vyplní souborem, který má v názvu podřetězec „flat“, pokud takový existuje.

**Align reference file** se vyplní souborem nacházejícím se uprostřed všech souborů odpovídajících masce **Photometry file mask**.

Fotometrickou úlohu lze uložit do souboru \*.spt pro pozdější opakované použití. Spuštěním úlohy se dialogové okno zavře a veškerý neuložený popis úlohy bude ztracen.

#### Tip:

Soubory SPT jsou textové soubory dodržující standardní konvence souborů INI. Je možné je upravovat, ale je nutné znát význam jednotlivých parametrů, aby se soubor SPT nestal pro nástroj SIPS Photometry nečitelným.

Protože fotometrická úloha provádí řadu operací ovlivněných různými parametry (např. aperturami pro vyhledávání hvězd, astrometrickými katalogy, ...), používá úloha ve výchozím nastavení aktuálně nastavené hodnoty všech parametrů. Různé sestavy kamery a dalkohedu však mohou vyžadovat odlišné parametry. Ve zpracovávaných snímcích také mohou chybět některé potřebné údaje. Proto je popis úlohy schopen přepsat výchozí parametry a definovat jiné hodnoty používané pouze během zpracování konkrétní úlohy.

Tyto parametry specifické pro úlohu lze definovat na jednotlivých kartách ve spodní části dialogového okna Photometry task. Všimněte si, že každá sada parametrů začíná zaškrtačím políčkem, které určuje, zda má být odpovídající sada parametrů definována úlohou, nebo zda se mají použít hodnoty aktuálně definované v SIPS.

- Karta **Star Search** umožňuje definovat parametry ovlivňující vyhledávání hvězd ve snímcích.
- Kartu **Field Curvature** lze použít, pokud aktuálně zvolené zakřivení pole může patřit jiné kombinaci kamery a dalkohedu, než jaká byla použita k pořízení zpracovávaných snímků.

**Tip:**

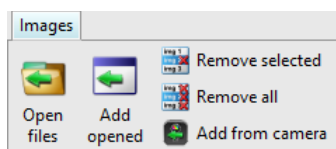
Je také možné nedefinovat zakřivení pole pro úlohu, i když je v SIPS ve výchozím nastavení používán nějaký popis zakřivení pole. Stačí zaškrtnout políčko **Define field curvature** a ponechat pole **Field curvature file** prázdné.

- Karta **Plate Parameters** je užitečná, pokud zpracovávané snímky neobsahují informace potřebné pro astrometrické řešení (souřadnice středu snímku a měřítko pixelu). Tyto parametry lze definovat pro první snímek a zároveň nechat nástroj Photometry, aby je znovu použil pro všechny následující snímky ve zpracovávaném seznamu.
- Karta **Catalog** umožňuje definovat astrometrické katalogy.
- Karta **Match parameters** umožňuje upravit parametry ovlivňující párování snímku a katalogu.
- Karta **HDR Calibration** je určena pro zpracování datových sad pořízených kamerami s dvojím ziskem. Výchozí popis fotometrické úlohy definuje pouze jeden soubor master-dark a jeden soubor master-flat, zatímco kamery s dvojím ziskem vyžadují dark a flat soubory pro nízký i vysoký zisk. Podrobnosti viz kapitola **Calibration**.

## Krokové zpracování fotometrie

Krokové zpracování vyžaduje, aby uživatel spouštěl jednotlivé kroky pomocí příkazových tlačítek a dalších ovládacích prvků v příslušných panelech pásu karet.

### Krok 1: Načtení snímků do seznamu



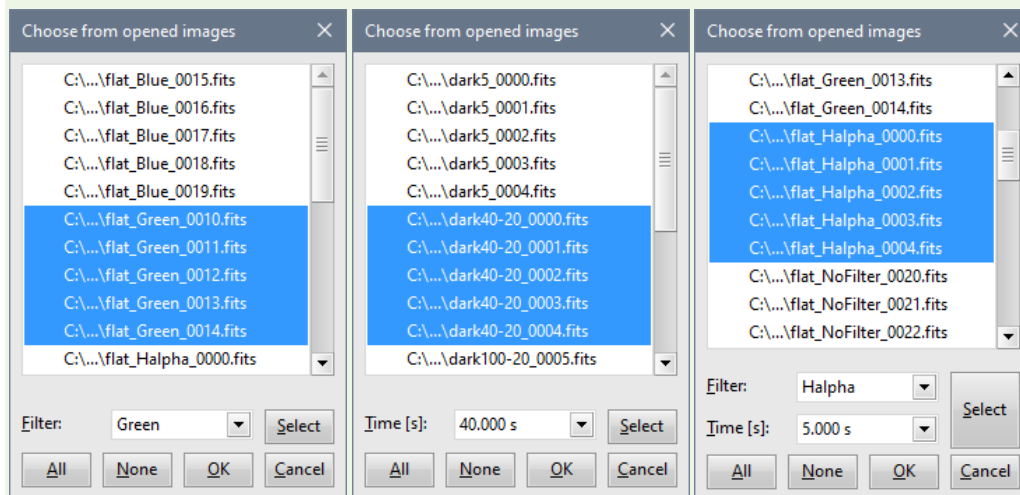
Podobně jako některé jiné nástroje SIPS (např. nástroj [Blink Images](#) nebo nástroj [Combine Monochrome Images](#)) obsahuje nástroj **Photometry** implicitní seznam snímků (panel vpravo nahoře). Fotometrie časových řad se provádí na snímcích obsažených v tomto seznamu.

Do **seznamu snímků** nástroje **Photometry** je nutné načíst zkalibrované snímky. Někteří uživatelé snímky kalibrují, uloží je na disk a surová data zahodí. V takovém případě stačí do seznamu snímků načíst již zkalibrované snímky pomocí tlačítka **Open files**. Kalibrace je však v SIPS velmi rychlá a obvykle trvá zlomek sekundy nebo několik sekund v závislosti na počtu snímků a jejich rozlišení. Vyplatí se ukládat surové snímky a kalibrovat je před zpracováním, protože případná chyba (např. použití nesprávného dark nebo flat souboru apod.) data trvale nepoškodí. Kalibrace snímků je popsána výše v kapitole [Calibration](#).

Výsledkem kalibrace snímků je obvykle seznam zkalibrovaných snímků. Tyto snímky je pak třeba pouze přidat do seznamu snímků nástroje Photometry pomocí tlačítka **Add opened**.

Tip:

Funkce **Add opened** zahrnuje snímky již otevřené v SIPS, ať už v jiném seznamu, nebo jako okna snímků. Protože fotometrie se provádí samostatně pro snímky pořízené různými filtry, je nutné do seznamu snímků nástroje Photometry zahrnout pouze snímky pořízené jedním filtrem. Výběrový seznam **Choose from opened images** umožňuje výběr podle filtru a/nebo expozičního času.



Další podrobnosti jsou vysvětleny v kapitole [SIPS Image Lists](#).

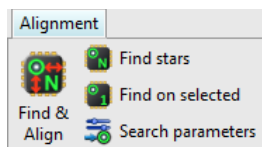
Je-li zaškrtnuto přepínací tlačítko **Add from camera**, snímky stažené z kamery budou přidány do seznamu snímků **Photometry** a zpracovány. Pokud jsou již označeny proměnné a srovnávací hvězdy, přidá se do zobrazené světelné křivky nový bod jasnosti. To umožňuje sledovat jasnost hvězdy během probíhajícího pozorování.

Poznámka:

Snímek přidán do fotometrie je kalibrován podle aktuálního stavu definovaného v nástroji [Calibration](#). Ujistěte se, že definované dark a flat snímky odpovídají snímkům načítaným z kamery.

Mějte na paměti, že snímky přidané do seznamu Photometry zůstávají v paměti počítače. Ujistěte se, že počítač řídící pozorování má dostatek paměti pro uchování všech pořízených snímků během pozorovací relace. Místo v paměti počítače potřebují také datové struktury uchovávající nalezené hvězdy na snímku a odpovídající katalogové hvězdy apod.

## Krok 2: Sesazení snímků

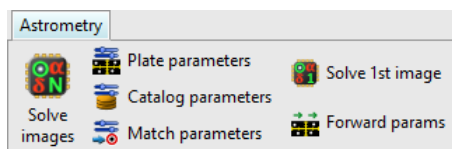


Dalším krokem je nalezení hvězd ve snímcích a sesazení všech snímků v seznamu. Vyhledání hvězd i sesazení snímků lze provést kliknutím na tlačítko **Find and Align** na pásu karet **Alignment**. Správné sesazení závisí na správně nalezených hvězdách ve všech snímcích.

Tip:

Sesazení je podrobně popsáno v popisu nástroje [Blink Images](#), který také spoléhá na párování snímků v seznamu. Podkapitoly [Finding Starts](#) a [Automatic image alignment](#) vysvětlují všechny podrobnosti; doporučuje se přečíst si je nejdříve.

### Krok 3: Astrometrické řešení



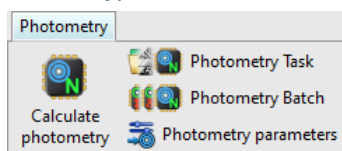
Pás karet **Astrometry** spouští astrometrii jednoho nebo všech snímků v seznamu.

Zatímco nástroj **Astrometry** poskytuje náhradní postup pro případ, že řešený snímek neobsahuje potřebné informace—dialogové okno **Plate parameters** umožňuje tyto parametry výslovně definovat. Protože však fotometrie zpracovává seznam snímků (typicky stovky), není proveditelné aktualizovat plate parametry pro všechny snímky jejich úpravou v dialogovém okně. Nástroj **Photometry** proto umožňuje definovat plate parametry pouze pro první snímek v seznamu a předat je všem následujícím snímkům v seznamu—klikněte na přepínací tlačítko **Forward parameters**.

Tento krok je volitelný. Světelnou křivku lze získat ručním označením proměnné hvězdy, srovnávací hvězdy (nebo více hvězd) a případně kontrolní hvězdy ve snímku bez astrometrického řešení snímků. Některé pokročilé funkce, například použití **Field description**, **VSX lookup** apod., však nebudou dostupné.

Podrobný popis astrometrie v SIPS najdete v kapitole [Astrometry](#).

### Krok 4: Výpočet fotometrie

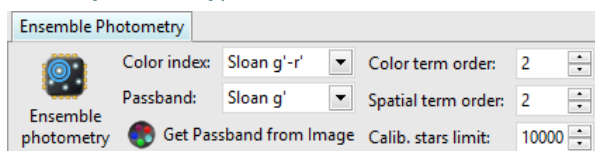


Tlačítko **Calculate photometry** na pásu karet **Photometry** vypočítá toky všech hvězd na všech snímcích. Toky jsou vždy určovány pro definovanou aperturu kolem hvězdy. Správná apertura pro každou hvězdu by měla být dostatečně velká, aby zahrnovala všechny pixely náležející hvězdě, ale zároveň by neměla být větší, protože přítomnost pixelů pozadí v apertuře zvyšuje šum toku.

### Kroky 2, 3 a 4 najednou: Dávkové zpracování fotometrie

Tlačítko  **Photometry Batch** je určeno k urychlení fotometrického zpracování, pokud je seznam snímků již naplněn zkalibrovanými snímky. Spustí sesazení snímků, astrometrické řešení a výpočet fotometrie bez nutnosti potvrzovat výsledek každého kroku a spouštět další krok uživatelem.

### Volitelný krok 5: Výpočet sborové fotometrie



Sborová fotometrie poskytuje přímo absolutní hodnoty magnitud pro všechny detekované hvězdy ve všech snímcích. Nepoužívají se žádné srovnávací hvězdy, což výrazně usnadňuje další zpracování.

Mějte však na paměti, že sborová fotometrie vyžaduje určité předpoklady, například pozorování přes podporovaný fotometrický filtr a použití astrometrického katalogu obsahujícího magnitudy v použitých filtrech (nejlépe UCAC4). Velkoúhlá sestava, která poskytuje snímky s dostatečným počtem kalibračních hvězd, je pro sborovou fotometrii také velkou výhodou. Podrobnosti o sborové fotometrii najdete v [Příloze C: Stručný úvod do fotometrie](#).

## Výpočet fotometrie

Protože každý snímek obsahuje hvězdy různé jasnosti a ty se na jednotlivých snímcích jeví s různými průměry, je k dispozici 10 předdefinovaných apertur (neboli poloměrů), pro které se počítá tok každé hvězdy. Je pak na uživateli, aby pro každou hvězdu zvolil vhodnou aperturu.

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

### Poznámka:

Teoreticky má bodová rozptylová funkce (PSF) každé hvězdy na snímku, jasné i slabé, stejnou šířku profilu (obvykle podobnou Gaussově křivce); pouze PSF jasných hvězd je výrazně vyšší než PSF slabých hvězd. Teoreticky by tedy apertura měla být pro všechny hvězdy stejná. Ve skutečnosti tomu tak ale není: křídla Gaussova profilu slabé hvězdy klesnou pod šum pozadí, nebo dokonce pod teoretickou mez (vyčítací šum kamery), mnohem rychleji než křídla profilu jasné hvězdy. Průměry jasných hvězd jsou proto ve srovnání s průměry slabých hvězd mnohem větší.

SIPS určuje optimální aperturu hvězdy (aperturu obsahující všechny pixely náležející hvězdě, ale žádné další pixely pozadí) během procesu vyhledávání hvězd na každém snímku; tato hodnota se nazývá **automatická apertura**. Kromě 10 předdefinovaných apertur výpočet fotometrie počítá také tok pro automatickou aperturu každé hvězdy. Obvykle je automatická apertura pro fotometrii nejlepší volbou.

Algoritmus používaný k určení automatické apertury hvězdy prochází profil od centroidu ve čtyřech směrech (nahoru, dolů, doleva a doprava) a měří vzdálenost od centroidu k prvnímu pixelu ležícímu pod uživatelem definovaným prahem (viz podkapitola [Finding stars on image](#) v popisu nástroje **Astrometry**).

Může se stát, že se automaticky určené poloměry blízkých hvězd překrývají. To je ve fotometrii nežádoucí, protože zahrnutí toku blízké hvězdy výrazně zhoršuje přesnost fotometrie. SIPS překrývající se poloměry detekuje a odstraní a vypočítá nové poloměry jako zlomek eukleidovské vzdálenosti centroidů hvězd odpovídající poměru toků obou hvězd.

Pro automatickou aperturu existuje také dolní mez pro případ, že výpočet poskytne příliš malou hodnotu. Výchozí hodnota nejmenší automatické apertury je nastavena na dva pixely, ale i tento parametr může uživatel upravit.

Aby SIPS našel automatickou aperturu pro sadu snímků, seřadí snímky podle poloměru automaticky určené apertury pro každou hvězdu. Poté zvolí třetí největší aperturu. Toto empirické pravidlo má vybrat největší aperturu pokrývající celou hvězdu například v situaci, kdy se během pozorování mění seeing. Algoritmus zároveň odstraní až dvě extrémní hodnoty způsobené například chybami sledování montáže dalkohedu nebo podobnými náhodnými jevy.

**Background inner a outer radii** definují prstenec kolem každé hvězdy, z něhož se počítá střední hodnota pozadí a směrodatná odchylka. Vnitřní poloměr prstence je vždy větší než největší apertura použitá k výpočtu fotometrie.

SIPS Photometry nabízí dvě metody výpočtu střední hodnoty pozadí a směrodatné odchylky.

- První metoda používá dříve vypočtenou bitovou masku, která umožňuje přeskočit pixely patřící hvězdám. Statistiky pozadí se pak počítají pouze z pixelů mezi dvěma poloměry, které zároveň nejsou označeny v odpovídající bitové masce (to znamená, že nejsou součástí jiné detekované hvězdy). Aby se odstranily náhodné a převážně jednopixelové artefakty (např. zbytky po horkých pixelech apod.), všechny pixely nad nebo pod průměrem plus nebo minus trojnásobek směrodatné odchylky jsou odmítnuty jako odlehlé hodnoty. Nově vypočtený průměr a směrodatná odchylka jsou poté považovány za platné hodnoty pozadí.  
Tato metoda je rychlá a spolehlivá pro řídká hvězdná pole, ale není dostatečně robustní pro hustá pole s mnoha hvězdami v prstenci pozadí nebo v situaci, kdy prstenec pozadí výrazně ovlivňují artefakty (např. difrakční paprsek od blízké jasné hvězdy, subatomární částice nebo stopa družice).
- Je-li zaškrtnuta volba **Use robust mean for background**, SIPS použije pomalejší, ale robustnější výpočet průměru pomocí Hampelovy vlivové funkce. Tato metoda se doporučuje zejména pro hustá hvězdná pole.

Parametr **Keep out frame border** umožňuje definovat počet pixelů kolem okraje snímku, které budou vyloučeny ze všech výpočtů (toky hvězd, statistiky pozadí). Zejména starší CCD kamery vracejí snímky s různými artefakty v blízkosti okrajů snímku (např. v prvních několika digitalizovaných řádcích). Tento parametr zajistí, že takové artefakty nebudou negativně ovlivňovat fotometrii.

## Výpočet sborové fotometrie

Sborová fotometrie vypočítává přímo absolutní magnitudy pomocí transformační funkce toku na magnitudu, kalibrované pro každý pořízený snímek. SIPS může používat několik transformačních funkcí, které se liší řády **barevných a prostorových členů**.

Nejjednodušší dostupná transformační funkce je:

$$Mag = -2.5 \cdot \log_{10}(F_V) + q + c_1 \cdot CI$$

$F_V$  je tok proměnné hvězdy a  $CI$  je její barevný index. Transformace s dostupnými členy vyššího řádu, včetně prostorových členů, vypadá takto:

$$Mag = -2.5 \cdot \log_{10}(F_V) + q + c_1 \cdot CI + c_2 \cdot CI^2 + x_1 \cdot X + y_1 \cdot Y + x_2 \cdot X^2 + y_2 \cdot Y^2 + xy \cdot XY$$

Opět platí, že  $F_V$  je tok proměnné hvězdy a  $CI$  je její barevný index; výše uvedená transformace však používá také polohu objektu ve snímku  $X$  a  $Y$ . Volné parametry jsou:

- $q$ : posun
- $c_1$ : barevný koeficient prvního řádu (povinný)
- $c_2$ : barevný koeficient druhého řádu (volitelný)
- $x_1, y_1$ : prostorové koeficienty prvního řádu (volitelné)
- $x_2, y_2, xy$ : prostorové koeficienty druhého řádu (volitelné)

Sborová fotometrie se opírá o astrometrický katalog, takže pokud má být sborová fotometrie použita, je astrometrický výpočet povinným krokem.

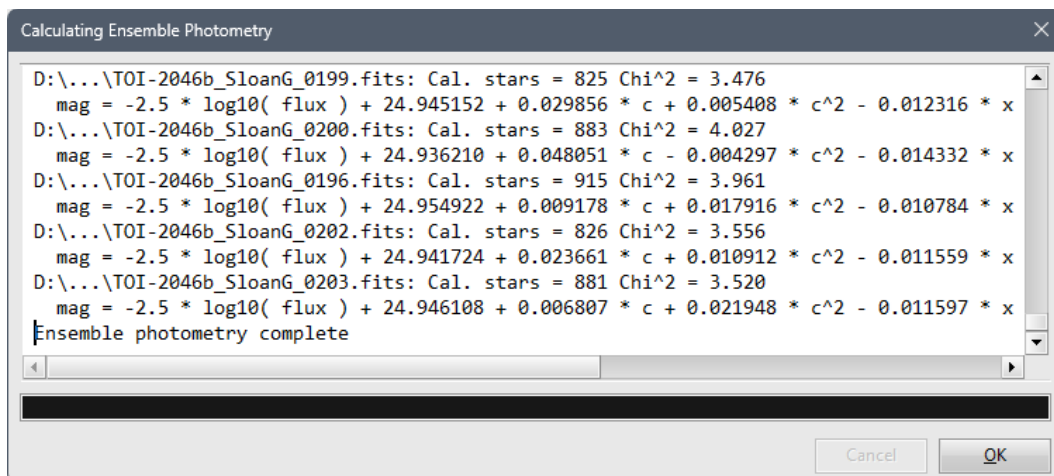
#### Poznámka:

Astrometrický katalog použitý pro astrometrické řešení musí obsahovat magnitudy pro zvolený barevný index a propustné pásmo. Katalogy USNO, vytvořené z „červených“ a „modrých“ palomarských desek, neobsahují standardní magnitudy. Katalog UCAC5 obsahuje magnitudu Gaia G, která bohužel neodpovídá žádnému standardnímu propustnému pásmu, a Cousinovu magnitudu R, což pro sborovou fotometrii nestačí. UCAC4 je tedy v současnosti jediný katalog dostupný v SIPS, který obsahuje magnitudy v mnoha propustných pásmech Johnson-Cousins a Sloan.

Pás karet **Ensemble photometry** obsahuje ovládací prvky umožňující uživateli vybrat propustné pásmo a barevný index i řád barevných a prostorových členů.

- **Color index** lze vybrat z těchto možností:
  - Johnson B – V
  - Sloan  $g' - r'$
  - Glass J – K
- **Passband** lze zvolit z těchto možností:
  - Johnson-Cousins U, B, V, Rc, Ic
  - Sloan  $u', g', r', i', z'$
  - Glass J, H, K
- Tlačítko **Get Passband from image** analyzuje řetězec FILTER snímku a pokusí se určit použité propustné pásmo. Protože pojmenování filtrů není standardizované a skutečný řetězec FILTER se může lišit (například řetězec filtru Sloan  $g'$  může být jen „g“, „g'“, „Sloan g“, „Sloan g'“, „Sloan G“, „SloanG“, „SG“ atd.), vždy zkontrolujte, zda bylo propustné pásmo vybráno správně.
- **Color term order** může být v rozsahu [1..2]. To znamená, že transformace obsahuje alespoň lineární závislost na barevném indexu.
- **Spatial term order** může být v rozsahu [0..2]. Pokud je řád prostorového členu = 0, poloha hvězdy ve snímku transformaci neovlivňuje. Řád prostorového členu = 1 počítá s lineární závislostí a je vhodný například pro gradienty. Řád prostorového členu = 2 počítá s kvadratickou závislostí a může pokrýt například vinětaci.
- **Calibration stars limit** definuje maximální počet kalibračních hvězd použitých pro fitování transformační funkce. Typickým problémem však bývá spíše nedostatek kalibračních hvězd než jejich příliš velký počet. Ponechte tento parametr alespoň na několika tisících hvězd, což zajistí dobrou přesnost sborové fotometrie.

Průběh výpočtu sborové fotometrie je zobrazen v dialogovém okně, které ukazuje výsledky pro každý zpracovaný snímek:

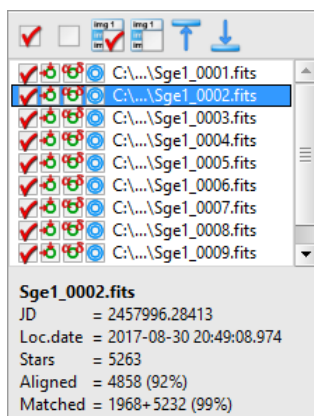


Pro každý snímek v časové řadě se zobrazuje počet hvězd použitých pro kalibraci,  $\chi^2$  a fitované transformační funkce.

## Panely snímku a seznamu snímků

**Panel snímku** (vlevo nahoře) a **panel seznamu snímků** (vpravo nahoře) jsou vzájemně propojené. Implicitní seznam snímků by měl obsahovat všechny snímky, které se mají zpracovat pro fotometrii časových řad, zatímco **panel snímku** vždy zobrazuje aktuálně vybraný snímek.

**Panel seznamu snímků** se skládá z panelu nástrojů, vlastního seznamu snímků a panelu informací o snímku.



Panel nástrojů obsahuje příkazy související se seznamem:

-  Zaškrtnout všechny snímky v seznamu. Klávesová zkratka <Ctrl>+<A>.
-  Zrušit zaškrtnutí všech snímků v seznamu.
-  Zaškrtnout snímky aktuálně zvýrazněné v seznamu.
-  Zrušit zaškrtnutí snímků aktuálně zvýrazněných v seznamu. Klávesová zkratka <Ctrl>+<U>.
-  Vybrat (zobrazit v **panelu snímku**) první snímek v seznamu. Klávesová zkratka <Ctrl>+<F>.
-  Vybrat (zobrazit v **panelu snímku**) poslední snímek v seznamu. Klávesová zkratka <Ctrl>+<L>.

Názevům jednotlivých snímků v sadě předchází ikona složená ze čtyř polí.

- První pole označuje, zda je příslušný snímek zahrnut do fotometrie časových řad. To znamená, zda má snímek bod ve světelné křivce, je zahrnut do textového protokolu apod. Zaškrtnutí lze zapínat a vypínat dvojitým kliknutím myši nebo stisknutím klávesy <Enter>, když je příslušný snímek (řádek v seznamu) vybrán.

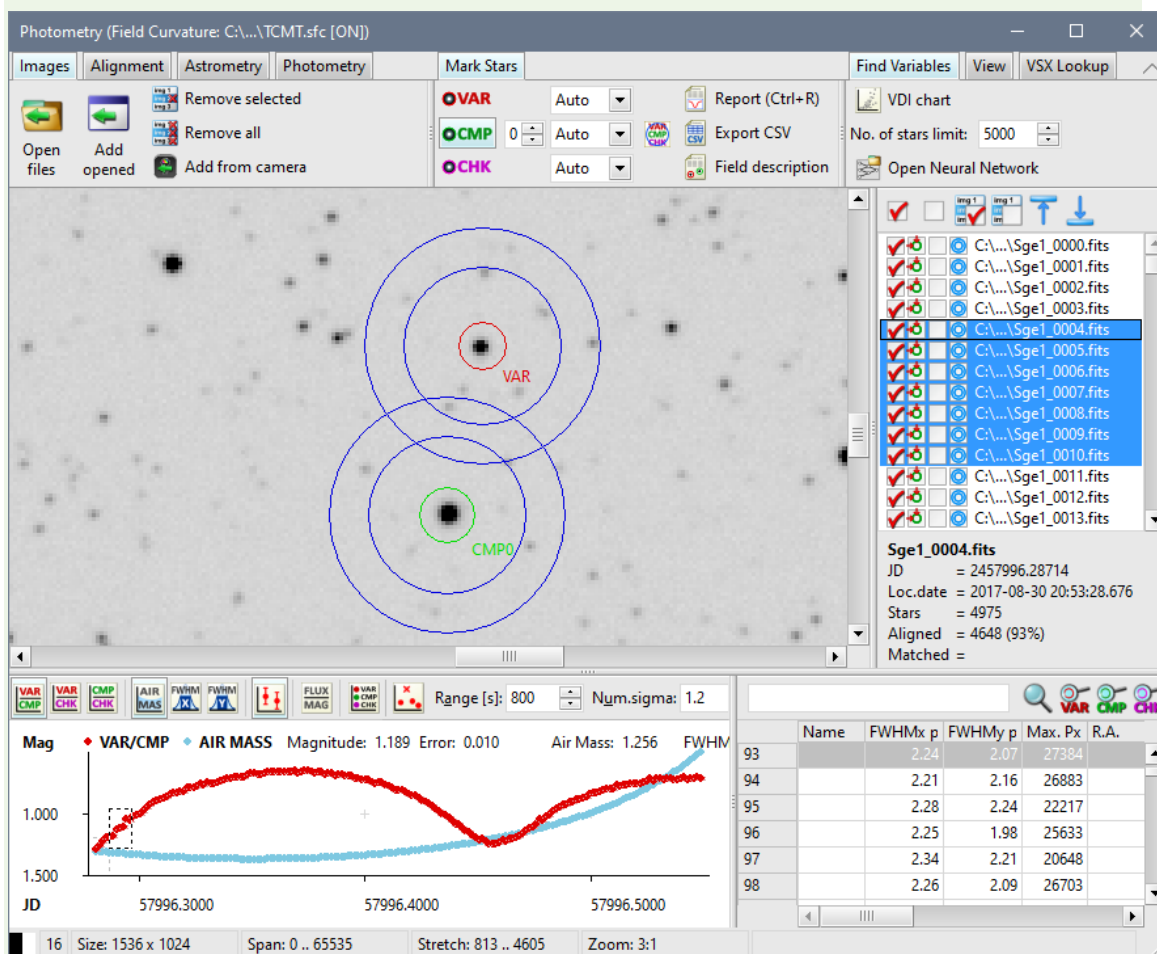
☒ ☐ ☐ ☐ C:\...test PM\TY\_Tri\_0000.fits  
☐ ☐ ☐ ☐ C:\...test PM\TY\_Tri\_0001.fits

První snímek je do světelné křivky zahrnut, druhý je vyloučen.

Tip:

Existují i jiné způsoby, jak konkrétní snímek ze zpracování vyloučit—je možné dvojitě kliknout na bod odpovídající snímku v **panelu světelné křivky**. Tím se zaškrtnutí snímku zruší a snímek se již nepoužívá.

Další možností je orámovat skupinu bodů v **panelu světelné křivky** pomocí myši—stiskněte levé tlačítko myši a kolem bodů v **panelu světelné křivky** nakreslete rámeček; snímky odpovídající orámovaným bodům světelné křivky budou vybrány. Stisknutím <Ctrl>+<U> se zruší zaškrtnutí (vyloučí ze světelné křivky) všech orámovaných bodů.



**Panel seznamu snímků** obsahuje také panel nástrojů umožňující zaškrtnout nebo zrušit zaškrtnutí všech snímků, případně jen vybraných snímků (seznam snímků umožňuje výběr více snímků).

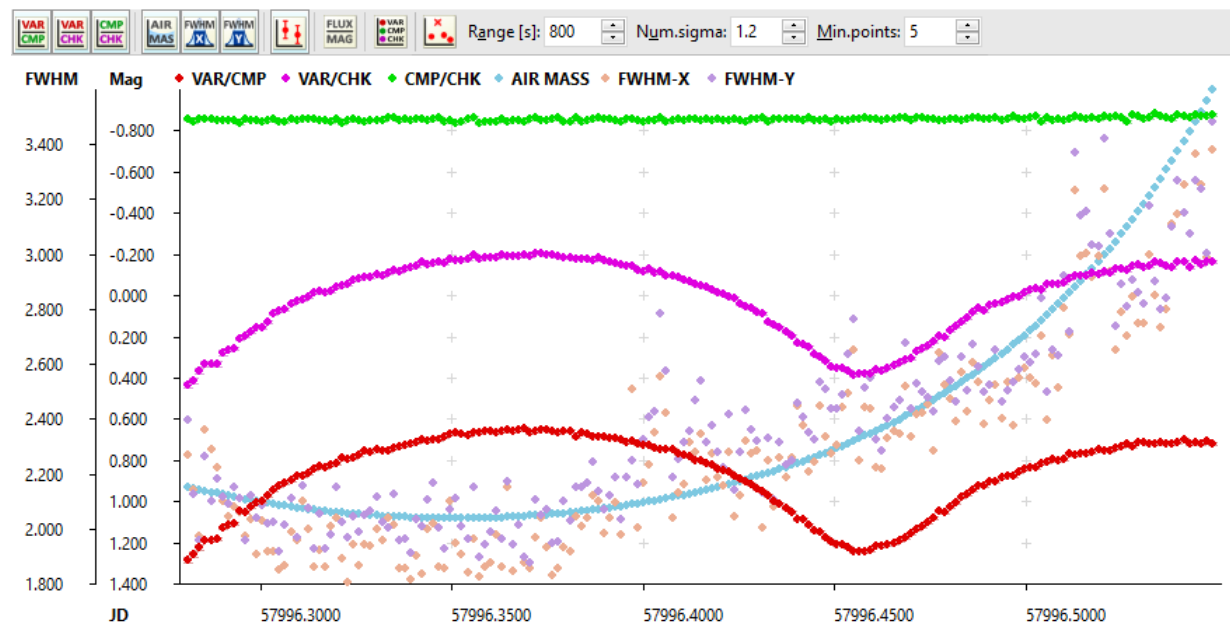
- Druhé pole označuje, zda byly ve snímku nalezeny hvězdy; je zobrazeno zeleným kroužkem:  
☒ ☒ ☐ ☐ C:\...\test PM\TY\_Tri\_0000.fits  
 Pokud jsou hvězdy nalezeny a snímky jsou vzájemně sesazeny, je zelený kroužek doplněn šipkami:
 ☒ ☒ ☒ ☒ C:\...\test PM\TY\_Tri\_0000.fits
- Pokud je snímek úspěšně vyřešen a spárován s katalogem, objeví se ve třetím poli ikony u zeleného kroužku symbol  $\alpha$  a  $\delta$ :  
☒ ☒ ☒ ☒ C:\...\test PM\TY\_Tri\_0000.fits
- A nakonec, když je vypočtena fotometrie každé hvězdy, zobrazí se ve čtvrtém poli každé ikony symbol dvou modrých kroužků:  
☒ ☒ ☒ ☒ C:\...\test PM\TY\_Tri\_0000.fits

Pod samotným seznamem se nachází informační panel zobrazující podrobné informace o aktuálně vybraném snímku:

- Panel vždy nejprve zobrazuje vybraný **název snímku**.
- JD** zobrazuje juliánské datum středu expoziční doby snímku.
- Loc. date** zobrazuje datum a čas středu expozice snímku, ale v místním datu a čase.
- Stars** zobrazuje celkový počet hvězd detekovaných ve vybraném snímku.
- Aligned** zobrazuje, kolik hvězd bylo sesazeno s referenčním snímekem.
- Matched** zobrazuje, kolik hvězd bylo spárováno s katalogem. Pokud astrometrie používá dva katalogy, zobrazují se počty hvězd spárovaných z obou katalogů samostatně.

## Panel světelné křivky

**Panel světelné křivky**, umístěný v levé dolní části okna nástroje **Photometry**, zobrazuje grafy instrumentální magnitudy nebo relativního toku vybrané proměnné hvězdy v průběhu časové řady.



Poznámka:

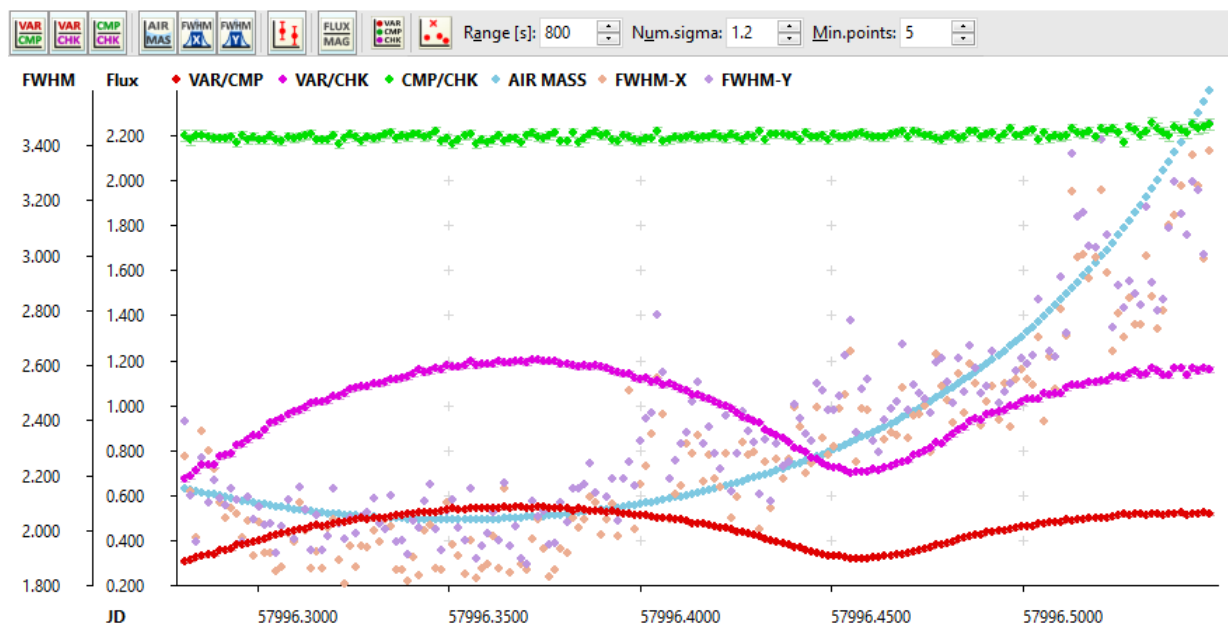
**Panel světelné křivky** vyžaduje, aby byly snímky v **seznamu snímků** alespoň sesazeny, aby byla vypočtena fotometrie a aby byly označeny proměnná a srovnávací hvězda. Jinak se žádná světelná křivka nezobrazí.

Světelná křivka se nemusí zobrazit také tehdy, pokud je označená proměnná a/nebo srovnávací hvězda na všech snímcích satureovaná. Pokud je satureován i jediný pixel proměnné nebo srovnávací hvězdy, SIPS příslušný fotometrický bod zneplatní, protože nelze určit množství toku ztraceného v satureovaných pixelech, a tak by byl bod nevyhnutelně chybný.

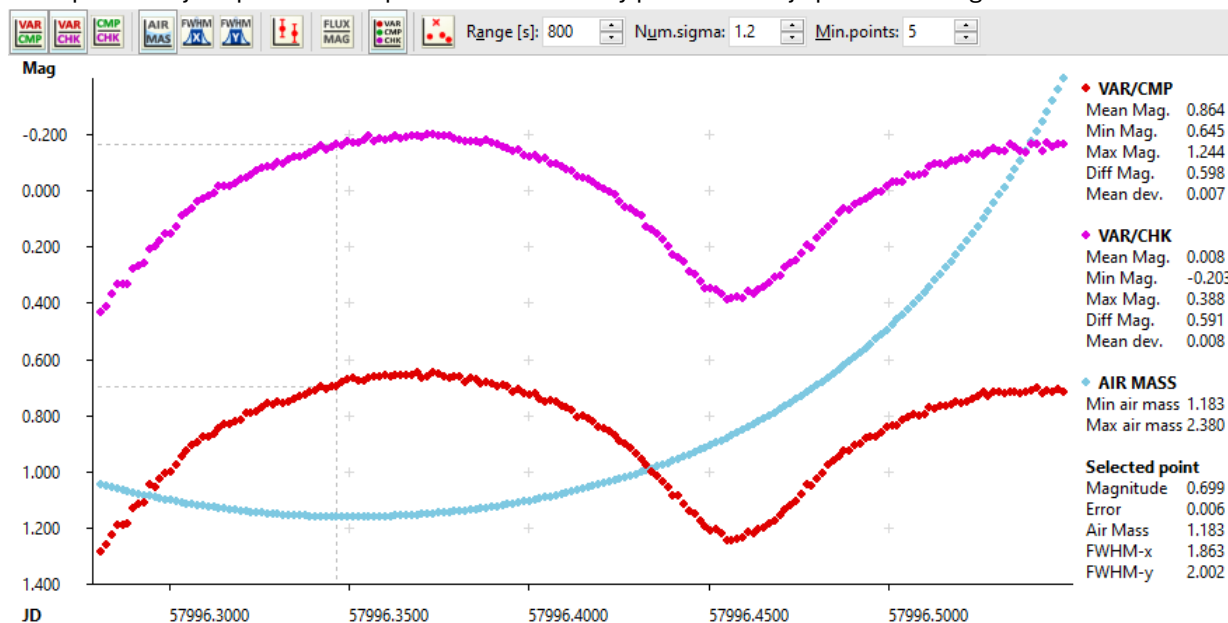
Panel nástrojů v horní části panelu obsahuje řadu přepínačů ovlivňujících vzhled zobrazovaných grafů.

-  Zobrazit graf proměnné hvězdy porovnané se srovnávací hvězdou.
-  Zobrazit graf proměnné hvězdy porovnané s kontrolní hvězdou.
-  Zobrazit graf srovnávací hvězdy porovnané s kontrolní hvězdou.
-  Zobrazit graf vzdušné hmoty pro každý zobrazený bod. Vzdušná hmota se počítá pouze tehdy, pokud jsou známy rovníkové souřadnice každého snímku a je definována poloha observatoře. Teprve potom je možné vypočítat azimutální souřadnice každého snímku a z nich vzdušnou hmotu. Vzdušná hmota se počítá podle Pickeringova vzorce (2002) z úhlové výšky nad obzorem.
-  Zobrazit FWHM hvězdy (v pixelech) ve směru osy x snímku.
-  Zobrazit FWHM hvězdy (v pixelech) ve směru osy y snímku.
-  Zobrazit chybu (nejistotu) každého fotometrického bodu.
-  Přepnout použitou jednotku jasnosti z magnitud na relativní tok. Protože magnituda je logaritmická jednotka, ovlivňuje to také tvar světelné křivky. A protože logaritmus součinu je součtem logaritmů, škálování jasnosti vyjádřené v magnitudách se provádí přičtením čísla, zatímco škálování toku vyžaduje násobení číslem.

Pro ilustraci porovnejte příklad světelných křivek v magnitudách zobrazený na obrázku výše se stejnými světelnými křivkami zobrazenými v relativních tocích:



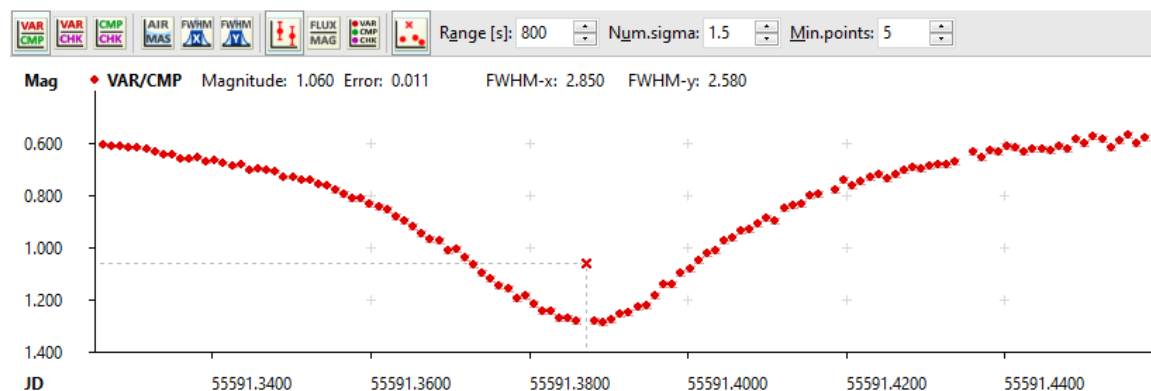
- Přepnout, zda se legenda grafu zobrazuje ve stručné podobě v horní části panelu světelné křivky, nebo podrobněji na pravé straně panelu. Níže uvedený příklad ukazuje podrobnou legendu:



Legenda zobrazuje rozsahy jednotlivých řad, a pokud je vybrán fotometrický bod, zobrazí se v legendě také jeho podrobné hodnoty. Graf rovněž zobrazuje šedé přerušované čáry ukazující přesnou polohu vybraného bodu.

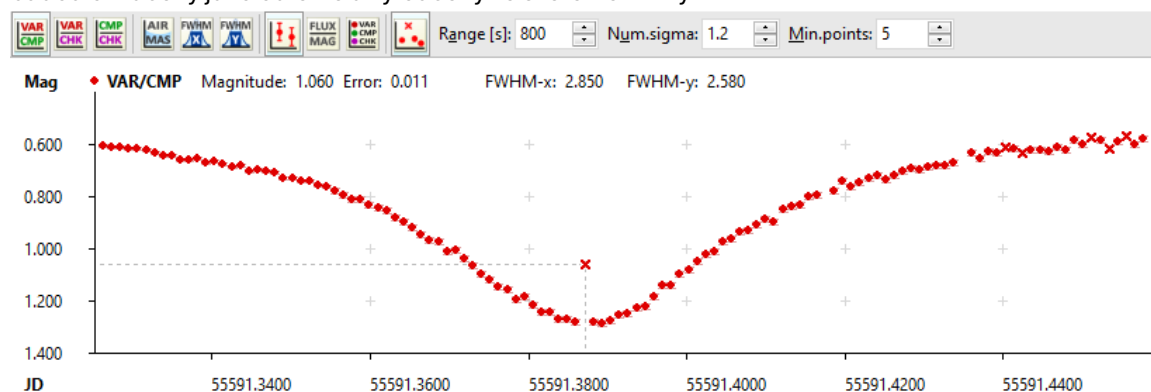
- Zapnout filtrování odlehlých bodů. Filtrování je založeno na jednoduchém vyhodnocení vzdálenosti fotometrického bodu od kvadratické funkce, fitované na interval fotometrických bodů. Interval je definován jako časový rozsah (v sekundách) kolem aktuálního bodu. Pro vzdálenost všech bodů v definovaném časovém rozsahu od fitované parabolické funkce se vypočítá směrodatná odchylka; pokud vzdálenost aktuálního bodu překročí definovaný násobek směrodatné odchylky, je bod označen jako odlehlý.

Body splňující kritérium odlehlosti (tedy body příliš vzdálené od fitované paraboly) jsou označeny křížkem místo kroužku.



Obrázek výše znázorňuje zjevně odlehlý bod označený křížkem. Je-li filtrování odlehlých bodů zapnuto, body označené jako odlehlé jsou vyloučeny z [fotometrického protokolu](#).

Snížení násobku směrodatné odchylky způsobí, že kritérium nesplní více fotometrických bodů; ty pak budou označeny jako odlehlé a vyloučeny ze světelné křivky.



Na obrázku výše byl násobek sigma snížen z 1,5 na 1,2, což způsobilo, že také některé body na konci světelné křivky jsou označeny jako odlehlé.

#### Varování:

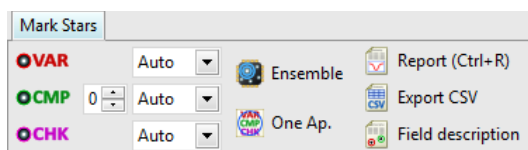
Filtrování odlehlých bodů používejte opatrně. Někdy je nutné upravit rozsah (například kratší rozsah pro rychlé fyzické proměnné a delší pro pomalu se měnící dlouhoperiodické proměnné hvězdy) i násobek směrodatné odchylky tak, aby odpovídaly kadenci vzorkování řady apod. Filtrování také může odstranit skutečné jevy, například velmi krátká vzplanutí hvězd.

## Označování hvězd

Označování hvězd se liší v režimech **relativní fotometrie** a **sborové fotometrie**.

### Označování hvězd v režimu relativní fotometrie

Aby se zobrazila světelná křivka, je nutné správně označit jednotlivé typy hvězd: proměnnou hvězdu (VAR), srovnávací hvězdu (CMP) a kontrolní hvězdu (CHK). Pás karet **Mark Stars** obsahuje ovládací prvky související s úlohami prováděnými po úspěšném výpočtu fotometrie.



Nástroj SIPS Photometry umožňuje označit libovolný typ hvězdy třemi způsoby.

- První a nejpřirozenější způsob označení hvězdy je kliknout na požadovanou hvězdu v **panelu snímku**, zobrazeném v levém horním rohu okna nástroje **Photometry**. Na pásu karet Mark Stars jsou tři zaškrťací tlačítka, která určují typ označované hvězdy:
  -  kliknutá hvězda bude označena jako proměnná hvězda,
  -  kliknutá hvězda bude označena jako srovnávací hvězda,
  -  kliknutá hvězda bude označena jako kontrolní hvězda.

Pokud nejsou zaškrtnuta (jsou uvolněna) všechna tři tlačítka, kliknutá hvězda se pouze označí, ale již se nepoužije pro vykreslení světelné křivky.

SIPS Photometry umožňuje vybrat více srovnávacích hvězd. V takovém případě je každá hvězda porovnávána se srovnávací hvězdou ve skutečnosti porovnávána s průměrným tokem všech vybraných srovnávacích hvězd. Kvůli možnosti výběru více srovnávacích hvězd je k dispozici malé

číselné pole určující, která z 10 možných srovnávacích hvězd je aktuálně vybrána . Logika výběru více hvězd však nespočívá v jednoduchém kliknutí na první srovnávací hvězdu, potom na druhou atd. SIPS vždy vybírá pouze hvězdu s indexem uvedeným v číselném poli. Pokud je vybrána srovnávací hvězda (například CMP0) a potom kliknete na jinou hvězdu, původně vybraná hvězda CMP0 se zruší a vybere se nová hvězda CMP0. Chcete-li vybrat druhou srovnávací hvězdu, zvýšte index v číselném poli za tlačítkem na 1. Kliknutím na jinou hvězdu se potom vybere druhá srovnávací hvězda CMP1.

#### Tip:

Srovnávací hvězdy není nutné označovat se vzestupnými indexy. Je například možné vybrat index 9 a potom označit srovnávací hvězdu CMP9 bez předchozího výběru hvězd CMP0 až CMP8.

Hvězdu označenou jako VAR, CMPx nebo CHK lze zrušit třemi způsoby:

- pokud je vybrána jiná hvězda stejného typu,
- pokud je stejná hvězda vybrána jako jiný typ,
- pokud je znovu vybrána jako stejný typ hvězdy.

#### Poznámka:

Pokud jsou vybrány hvězdy VAR a CMPx, měla by se zobrazit světelná křivka. Pokud se nezobrazí, může to být proto, že jednu nebo obě vybrané hvězdy nelze pro fotometrii použít. Nejčastějším důvodem je, že hvězda obsahuje v apertuře saturovaný pixel. Zkontrolujte v tabulce hvězd hodnoty **Max. Px**—pokud hodnota dosahuje 65535 (u 16bitové kamery; u kamer s nižším rozlišením je hodnota saturace nižší), hvězdu nelze pro fotometrii použít.

- Kliknutí (zvýraznění) na libovolný řádek v **panelu tabulky hvězd** také vybere odpovídající hvězdu (hvězda se zároveň vystředí v **panelu snímku**). **Panel tabulky hvězd** je podrobně popsán později (viz podkapitola [Panel tabulky hvězd](#)).

Typ hvězdy (VAR, CMPx, CHK) vybraný označením řádku tabulky hvězd je určen stavem tlačítek ,  a  stejně jako při výběru hvězdy na snímku.

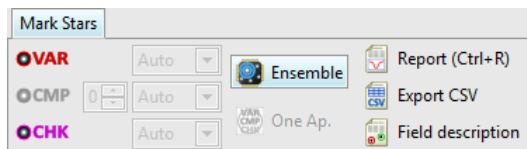
- **Tabulka hvězd** také dokáže vyhledat a označit konkrétní hvězdu podle jejího uživatelsky definovaného názvu, katalogového identifikátoru nebo rovníkových souřadnic (přepínače na panelu nástrojů určují, zda se má vyhledávat podle **Name**, katalogového identifikátoru **Catalog** nebo souřadnic **RA Dec**). Formát souřadnic je libovolný; SIPS se pokusí správně rozpoznat souřadnice zadané v různých formátech:
  - Dvě desetinná čísla jsou interpretována jako R.A. a Dec. v desetinných stupních.
  - Dva řetězce oddělené mezerou nebo mezerami jsou interpretovány jako R.A. a Dec. ve tvaru „HH:MM:SS.ss +DD:MM:SS.ss“. Oddělovače mohou být libovolné nečíselné znaky, takže jsou přijímány také tvary „HHhMMmSS.ss +DDdMMmSS.ss“ a podobné.
  - Šest řetězců oddělených mezerami je interpretováno jako R.A. a Dec. ve formátu „HH MM SS.ss +DD MM SS.ss“.

Vyhledávání pomocí vyhledávacího nástroje  také respektuje stav tlačítek VAR, CMPx a CHK. Je však možné hvězdy vyhledávat a označovat je jako konkrétní typ pomocí tlačítek ,  a  bez ohledu na stav hlavních tlačítek výběru typu hvězdy. Tato funkce výrazně urychluje správné označení hvězd.

- Třetí možností, jak vybrat hvězdy VAR, CMPx a CHK, je použití **popisu pole**. Popis pole je pokročilá funkce SIPS Photometry, která může ušetřit velké množství práce potřebné pro zpracování fotometrie časových řad. Podrobnosti jsou popsány později v kapitole [Popis pole](#).

## Označování hvězd v režimu sborové fotometrie

Pokud je vypočtena [sborová fotometrie](#), zpřístupní se na pásu karet **Mark Stars** přepínač **Ensemble**.



Zaškrtnutím tlačítka **Ensemble** se nástroj **Photometry** přepne do režimu sborové fotometrie. Protože sborová fotometrie nepracuje se srovnávacími hvězdami, není možné srovnávací hvězdy označovat; označovat lze pouze proměnné a kontrolní hvězdy.

### Tip:

Pokud je sborová fotometrie vypočtena, je možné kdykoli volně přepínat mezi režimy relativní a sborové fotometrie.

## Panel tabulky hvězd

**Panel tabulky hvězd** (pravá dolní část okna **Photometry**) je tabulka zobrazující všechny hvězdy detekované na aktuálním snímku.

| var15 |       | <div></div> <div>NameCatalogRA Dec</div> |         |         |              |              |         |            |              |              |       |      |      |
|-------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|--------------|--------------|---------|------------|--------------|--------------|-------|------|------|
|       | Name  | FWHMx p                                                                                                                                                                                                                                                                                     | FWHMy p | Max. Px | R.A.         | Dec.         | Catalog | Cat. Name  | Cat. R.A.    | Cat. Dec.    | Mag.  | B-V  | J-K  |
| 610   |       | 1.98                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2.20    | 4339    | 20 14 20.535 | +16 50 19.24 | UCAC4   | 535-124350 | 20 14 20.437 | +16 50 19.39 | 15.09 | 0.92 | 0.57 |
| 611   |       | 1.88                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2.13    | 4700    | 20 14 05.067 | +16 56 59.10 | UCAC4   | 535-124217 | 20 14 05.009 | +16 56 58.28 | 15.44 | 0.40 | 0.36 |
| 612   |       | 1.99                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2.10    | 4538    | 20 12 35.786 | +16 52 17.84 | UCAC4   | 535-123550 | 20 12 35.726 | +16 52 17.89 | 15.10 | 0.71 | 0.39 |
| 613   |       | 1.98                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2.15    | 4293    | 20 13 37.890 | +16 53 12.19 | UCAC4   | 535-123962 | 20 13 37.917 | +16 53 11.92 | 15.25 |      | 0.50 |
| 614   | var15 | 1.92                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2.00    | 4663    | 20 14 30.895 | +16 44 17.46 | UCAC4   | 534-122267 | 20 14 30.875 | +16 44 17.31 | 15.42 |      | 0.33 |
| 615   |       | 2.00                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2.05    | 4332    | 20 13 09.673 | +16 45 25.36 | UCAC4   | 534-121673 | 20 13 09.765 | +16 45 25.96 | 15.44 | 0.90 | 0.59 |
| 616   |       | 2.45                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2.91    | 3223    | 20 13 46.518 | +16 50 33.84 | UCAC4   | 535-124043 | 20 13 46.531 | +16 50 34.29 | 15.03 |      | 0.19 |
| 617   |       | 2.16                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2.81    | 3502    | 20 13 43.204 | +16 59 13.33 | UCAC4   | 535-124004 | 20 13 43.190 | +16 59 12.63 | 15.37 | 0.94 | 0.43 |
| 618   |       | 1.91                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2.35    | 3087    | 20 12 49.071 | +16 52 55.72 | UCAC4   | 535-123657 | 20 12 49.017 | +16 52 56.05 | 15.35 |      | 0.52 |

Tabulka zobrazuje všechny informace, které SIPS Photometry vypočítal nebo získal o všech hvězdách. To znamená výsledky jednotlivých kroků zpracování provedených při zpracování seznamu snímků—vyhledání hvězd (souřadnice centroidu hvězdy ve snímku, FWHM hvězdy, ...), astrometrie a párování s katalogem (rovňkové souřadnice, katalogový identifikátor, jasnost, barevné indexy, ...) a fotometrie (toky pro všechny apertury, hodnoty prstence pozadí, ...).

Dalším účelem tabulky hvězd je umožnit výběr hvězd VAR, CMPx a CHK. Tato funkce je popsána v bodě č. 2 výše uvedené podkapitoly [Označování hvězd](#).

## Filtrování sloupců

Počet sloupců je vysoký a ne všechny hodnoty jsou při práci s nástrojem Photometry důležité. **Tabulka hvězd** proto umožňuje vybrat pouze požadované sloupce a ostatní skrýt. Tlačítko otevře dialogové okno pro výběr sloupců.

Star sheet columns

☒ Name
☐ X px
☐ Y px
☒ FWHMx px
☒ FWHMy px
☒ Max. Px
☒ R.A.
☒ Dec.
☒ Catalog
☒ Cat. Name
☒ Cat. R.A.
☒ Cat. Dec.
☒ Mag.
☒ B-V
☒ J-K
☐ Back.
☐ Back. dev.
☐ Auto Ap.
☐ Ap

OK

Cancel

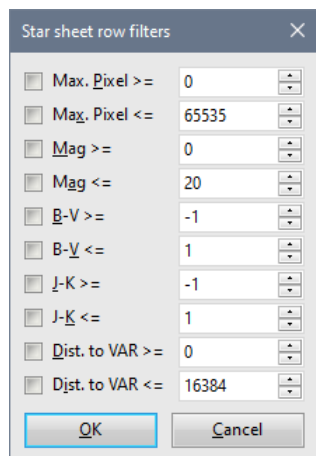
## Filtrování řádků

V závislosti na zorném poli použité kamery/dalekohledu i na poloze pole na obloze (blízkost roviny Mléčné dráhy) se počet detekovaných hvězd a odpovídajících řádků v tabulce hvězd může pohybovat od několika

desítek až po více než sto tisíc. Procházení takto rozsáhlé tabulky, například při hledání vhodné srovnávací hvězdy se správným barevným indexem (kvůli potlačení trendů způsobených atmosférickou extinkcí), vhodnou jasností (pro dosažení co nejvyššího S/N bez saturace) a nepříliš velkou vzdáleností od proměnné hvězdy (kvůli potlačení vlivu proměnných gradientů pozadí), může být náročné.

**Tabulka hvězd** nabízí filtrování zobrazených řádků podle několika kritérií definovaných v dialogovém okně filtru

řádků, které se otevírá tlačítkem .



Filtrování řádků může být založeno na:

- Maximální hodnotě pixelu (aby bylo zajištěno, že hvězda není saturovaná).
- Magnitudě.
- Barevném indexu B–V.
- Barevném indexu J–K.
- Vzdálenosti od proměnné hvězdy vyjádřené v pixelech.

Poznámka:

Filtrování řádků vyžaduje, aby byla na snímcích provedena astrometrie. Jasnosti a barevné indexy se také načítají z katalogu. Ne všechny katalogy obsahují barevné indexy (např. USNO-B1.0), a i když je katalog obecně obsahuje (např. UCAC4), nemusí být barevné indexy dostupné pro všechny hvězdy.

Filtrování řádků je možné zrušit i bez nutnosti odškrtnout všechny volby v dialogovém okně filtru řádků; slouží k tomu tlačítko .

## Export fotometrického protokolu

Zobrazenou světelnou křivku lze exportovat do textového souboru protokolu a doprovodného obrázku zobrazujícího vybrané hvězdy VAR, CMPx a CHK pomocí tlačítka  Report (Ctrl+R) nebo klávesovou zkratkou <Ctrl>+<R>. SIPS otevře dialogové okno pro potvrzení všech parametrů.

Photometry Report

Folder: C:\Users\pc.MII\OneDrive\LCI

File name: var150

Append to name: ☐ Date ☐ Time ☐ Filter

Time format: ☒ Convert time to HJD

Report format: ☒ Standard ☐ AAVSO

☒ Include comment lines

☒ Include star metadata

User's Comment:

Comment prefix: #

☒ Also save image

☒ Same image name

Image name:

Image zoom: 1x

Image format: JPG (JPEG)

☐ Overwrite existing files

OK Cancel

Dialogové okno **Photometry Report** je optimalizováno tak, aby bylo možné protokol uložit co nejrychleji, bez zdržování následným otevíráním a potvrzováním standardních dialogových oken „Uložit jako“, potvrzováním formátu obrázku, přiblížení apod. Všechny potřebné informace (názvy souborů, složky, formát obrázku a přiblížení, ...) se zadávají v jediném dialogovém okně a pamatují se, dokud je uživatel nezmění. Uložení protokolu tak obvykle spočívá pouze v otevření dialogového okna a kliknutí na tlačítko OK.

#### Poznámka:

Ušetřený čas potřebný k uložení protokolu není u jedné světelné křivky tak důležitý, ale u desítek nebo více než stovky světelných křivek je úspora času významná.

SIPS Photometry podporuje dva formáty fotometrického protokolu, které se rozlišují přepínači **Report format**.

- **standardní** formát
- formát specifický pro AAVSO

Společné parametry zahrnují:

- **Folder** je název složky, do které se má uložit textový soubor a doprovodný obrázek.
- **File name** určuje název textového souboru (a případně také souboru obrázku).

#### Tip:

Pokud má konkrétní proměnná hvězda definovaný **Name v tabulce hvězd** (což je často případ při použití **popisu pole**), dialog protokolu vyplní tento název do pole **File name**, takže není nutné název souboru zadávat ručně.

- **Append to name** zaškrťovací políčka umožňují rozšířit název souboru o **Date**, **Time** a **Filter** prvního fotometrického bodu ve světelné křivce.
- **Time format** určuje, zda má SIPS Photometry použít heliocentrickou korekci juliánského data označujícího čas jednotlivých fotometrických bodů. Použití heliocentrického juliánského data (HJD), které není ovlivněno rozdíly v době letu světla způsobenými oběhem Země kolem Slunce a vlastními geocentrickému juliánskému datu (GJD), je nezbytné pro jakoukoli analýzu světelných křivek. Někteří

badatelé však mohou dát přednost tomu, že tuto korekci provedou sami, a uložit protokol v geocentrickém GJD.

Poznámka:

Protože heliocentrická korekce závisí na souřadnicích objektu, časové značky HJD lze použít pouze tehdy, pokud bylo na snímcích provedeno astrometrické řešení.

Je-li zaškrtnuta volba **Convert time to HJD**, do standardního protokolu se přidá čtvrtý sloupec (vedle HJD, jasnosti a chyby), který obsahuje použitou heliocentrickou korekci. I když je tedy heliocentrický převod proveden, je možné rekonstruovat původní čas GJD a převést JD do jiného systému, například BJD (barycentrické juliánské datum) apod.

Formát JD (GJD nebo HJD) je uveden v řádce atributů textového souboru protokolu za klíčovým slovem „JD:“. Hodnoty atributu JD jsou „geocentric“ nebo „heliocentric“.

- Pokud zůstane zaškrtnuté políčko **Overwrite existing files** nezaškrtnuté a některý z ukládaných souborů již existuje, **Photometry report** se nejprve zeptá uživatele na potvrzení přepsání existujícího souboru či souborů.

## Standardní formát protokolu

Standardní protokol je běžný textový soubor obsahující tři nebo čtyři sloupce čísel oddělené mezerami:

1. Juliánské datum obsahující buď GJD, nebo HJD (určeno atributem „JD:“ v hlavičce protokolu).
2. Hodnota jasnosti buď v magnitudách, nebo v tocích (určeno atributem „Unit:“ v hlavičce protokolu, obsahujícím identifikátor „magnitude“ nebo „flux“).
3. Chyba hodnoty (nejistota).
4. Případně heliocentrická korekce použitá k získání HJD v prvním sloupci z GJD uloženého ve snímku.

Standardní formát protokolu obvykle začíná několika řádky komentáře. Řádky komentáře nezačínají číslem, čímž se odlišují od datových řádků. Obsah řádků komentáře a také předpona (pokud existuje) lze upravit parametry definovanými v dialogovém okně **Photometry report**.

Parametry dialogového okna standardního protokolu:

- **Include comment lines** určuje, zda budou v protokolu přítomny řádky komentáře.
- **Include star metadata** způsobí vložení řádku metadat pro každou hvězdu použitou k vytvoření světelné křivky (VAR, CMPx, CHK). Tato volba vyžaduje, aby byla zaškrtnuta předchozí volba.
- **User's comment** umožňuje vložit do fotometrického protokolu libovolný textový řádek.
- **Comment prefix** je pole určené pro libovolný speciální znak nebo posloupnost znaků, která se umístí na začátek každého řádku komentáře.

Poznámka:

Předpona řádku komentáře je obvykle nějaký speciální znak, například „#“ nebo „\$“. Taková předpona je nutná, pokud **User's comment** začíná číslem a mohl by tedy být zaměněn za datový řádek. Standardní řádky komentářů však vždy začínají písmeny a lze je odlišit od datových řádků, které začínají číslem. Účel pole **Comment prefix** je tedy spíše estetický: speciální znak jasně naznačuje „tento řádek je komentář, nikoli data“, zejména pro lidské čtenáře.

- **Also same image** určuje, zda se má uložit také doprovodný obrázek.

- **Same image name** umožňuje použít pro obrázek stejný název (lišit se bude pouze přípona souboru). To je obvyklý případ; pouze pokud existuje důvod pojmenovat oba soubory odlišně, zrušte zaškrtnutí tohoto políčka, aby bylo možné vyplnit následující parametr.
- **Image name** umožňuje v případě potřeby definovat odlišný název souboru doprovodného obrázku.
- **Image zoom** určuje měřítko doprovodného obrázku (mapy) v rozsahu od 1/8 do 8×. V závislosti na rozlišení kamery může zmenšení obrázku ušetřit značné množství místa na disku, ovšem za cenu menšího množství zachycených detailů.
- **Image format** umožňuje zvolit běžný obrazový formát doprovodného obrázku (mapy). Použití bezztrátového formátu, například PNG, zajistí obrázky bez kompresních artefaktů, ale soubory jsou větší. Ztrátový formát, například JPEG, poskytuje menší soubory, ale detaily obrazu mohou být kompresí narušeny.

Příklad několika prvních řádků souboru standardního protokolu:

```
# HJD V-C s1 HJD-GJD
# VarAperture: 9.01 CmpAperture: 18.00 JD: heliocentric Unit: magnitude Filter: Clear
# VAR Name: CzeV800 RA: 21:38:11.557 Dec: +58:13:46.70 Catalog: UCAC4 CatalogId: 742-073727
# CMP0 Name: cmp5 RA: 21:37:42.943 Dec: +57:36:31.39 Catalog: UCAC4 CatalogId: 739-073746
2460235.320737 3.4704 0.0228 0.002447
2460235.321792 3.4742 0.0230 0.002447
2460235.322847 3.4822 0.0229 0.002447
```

Poznámka:

Řádky komentářů odpovídající metadatům hvězd jsou ve výše uvedeném příkladu souboru protokolu zkráceny, aby zůstaly na jednom řádku.

První řádek komentáře popisuje údaje ve sloupcích datových řádků.

Druhý řádek obsahuje atributy související se světelnou křivkou:

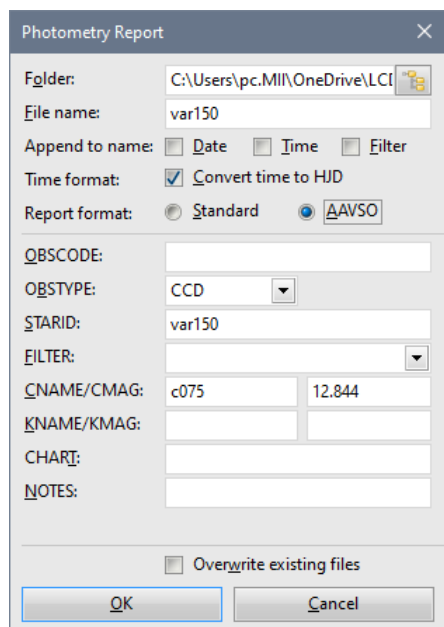
- „VarAperture:“ apertura použitá pro proměnnou hvězdu
- „CmpAperture:“ apertura použitá pro srovnávací hvězdu
- „JD:“ použité juliánské datum, „geocentric“ nebo „heliocentric“
- „Unit:“ použitá jednotka jasnosti, „magnitude“ nebo „flux“
- „Filter:“ filtr použitý k pořízení této světelné křivky

Následující řádky obsahují metadata hvězd použitých k vytvoření této světelné křivky. Každý řádek začíná identifikací hvězdy („VAR“ pro proměnnou hvězdu, „CMPx“ pro srovnávací hvězdy číslo 0 až 9 a „CHK“ pro kontrolní hvězdu, přestože kontrolní hvězda samotnou světelnou křivku nijak neovlivňuje).

- „Name:“ název hvězdy přiřazený v **tabulce hvězd**
- „RA:“ rektascenze hvězdy určená astrometrickým řešením snímku
- „Dec:“ deklinace hvězdy určená astrometrickým řešením snímku
- „Catalog:“ katalog použitý pro astrometrické řešení
- „CatalogId:“ identifikátor ve výše uvedeném katalogu, pokud byla hvězda spárována
- „CatalogRA:“ rektascenze hvězdy v katalogu
- „CatalogDec:“ deklinace hvězdy v katalogu
- „CatalogMag:“ magnituda hvězdy v katalogu
- „CatalogB-V:“ barevný index B-V hvězdy v katalogu
- „CatalogJ-K:“ barevný index J-K hvězdy v katalogu

## Formát protokolu AAVSO

AAVSO (American Association of Variable Star Observers) používá vlastní datový formát. Formát AAVSO je poměrně rozsáhlý (mnoho informací se opakuje u každého fotometrického bodu), ale uživatelé, kteří chtějí vložit světelnou křivku do databáze AAVSO, musí dodat protokol právě v tomto formátu. Proto SIPS Photometry umožňuje použít pro fotometrický protokol formát AAVSO.



Příklad několika prvních řádků souboru protokolu AAVSO:

```
#TYPE=EXTENDED
#OBSCODE=
#SOFTWARE=SIPS v 4.0 64bit (x64)
#DELIM=;
#DATE=HJD
#OBSTYPE=CCD
#NAME;DATE;MAG;MERR;FILT;TRANS;MTYPE;CNAME;CMAG;KNAME;KMAG;AMASS;GROUP;CHART;NOTES
var150;2457996.285329;17.8767;0.1411;na;NO;STD;c075;-13.2622;na;na;1.2715;1;na;...
var150;2457996.286787;17.6862;0.1106;na;NO;STD;c075;-13.2716;na;na;1.2676;1;na;...
var150;2457996.288370;17.6919;0.1043;na;NO;STD;c075;-13.2788;na;na;1.2635;1;na;...
var150;2457996.289875;17.9162;0.1228;na;NO;STD;c075;-13.2729;na;na;1.2597;1;na;...
```

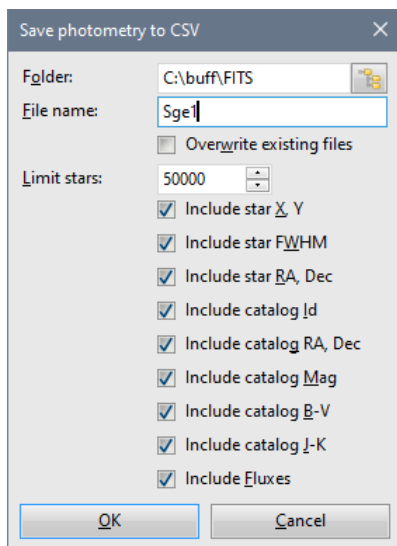
Poznámka:

Řádky končící znakem ... byly ve výše uvedeném příkladu zkráceny, aby příklad zůstal názorný.

## Export fotometrie do CSV



Nástroj SIPS **Photometry** dokáže exportovat všechny informace obsažené v **tabulce hvězd** do souboru CSV pro každý snímek v implicitní sadě snímků. Počet vytvořených souborů CSV se tedy rovná počtu snímků v seznamu snímků. Příslušné tlačítko otevře dialogové okno **Save photometry to CSV**.



Parametry dialogového okna jsou:

- **Folder** určuje složku, ve které budou jednotlivé soubory CSV vytvořeny.
- **File name** je předpona názvu souborů CSV. Jednotlivé soubory jsou číslovány přidáním pořadového čísla („Sge1\_0000.csv“, „Sge1\_0001.csv“, ... ve výše uvedeném příkladu).
- Pokud ve zvolené složce již existuje soubor se stejným názvem, volba **Override existing file** vypne potvrzování nahrazení existujícího souboru novým.
- **Limit stars** umožňuje omezit počet hvězd (řádků tabulky CSV) zahrnutých do souborů. Exportované soubory CSV jsou obvykle určeny ke zpracování v jiném softwarovém balíku a ne všechny detekované hvězdy jsou pro takové zpracování vhodné. Typicky pouze nejjasnější hvězdy (ať už jde o desítky, nebo desítky tisíc) v zorném poli nabízejí dostatečně vysoký poměr S/N pro vědecké využití. Zahrnutí všech detekovaných hvězd proto obvykle pouze plýtvá místem na disku a zbytečně zvětšuje soubory CSV.
- Sada zaškrťovacích políček umožňuje určit, které sloupce budou do souborů CSV zahrnuty. Tyto sloupce odpovídají tabulce **Star sheet** nástroje **Photometry**.

Každý soubor CSV začíná dvěma sloupci klíčových slov a hodnot, které poskytují metadata snímku, z něhož byl soubor CSV vytvořen. Poté následuje řádek buněk začínající klíčovým slovem „Name“, který obsahuje názvy datových sloupců. Následující řádky obsahují čísla kopírující hodnoty z **tabulky hvězd**.

Příklad několika prvních řádků exportovaného souboru CSV:

```
sep=;
ExposureBegin;2017-08-30T18:43:56.227
Exposure;2017-08-30T18:44:46.231
ExposureEnd;2017-08-30T18:45:36.235
ExposureTime;100.00000000
JDBegin;2457996.28051189
JDEnd;2457996.28166939
GJD;2457996.28109064
HJD;2457996.28532935
Filter;NoFilter
CenterRA;20 13 42.357
CenterDec;+16 51 43.66
CenterRAHour;20.22843240
CenterRADeg;303.42648594
CenterDecDeg;16.86212638
Width;1536
```

```

Depth;1024
PixelScaleX;1.34460101
PixelScaleY;1.34460101
Object;
Instrument;
Telescope;
Observer;
Software;SIPS Version 4.0 64bit (x64)
Name;X;Y;FWHMx;FWHMy;RA;Dec;Catalog;CatalogId;CatalogRA;CatalogDec;CatalogMag;CatalogBV;...
;7.75;287.23;;6.10;20 14 53.222;+16 46 25.07;UCAC4;534-122437;20 14 53.339;...
;1454.82;81.55;5.65;5.92;20 12 37.450;+16 42 18.67;UCAC4;534-121413;20 12 37.301;...
;314.27;209.82;5.46;5.75;20 14 24.403;+16 44 47.86;UCAC4;534-122232;20 14 24.334;...

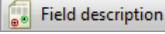
```

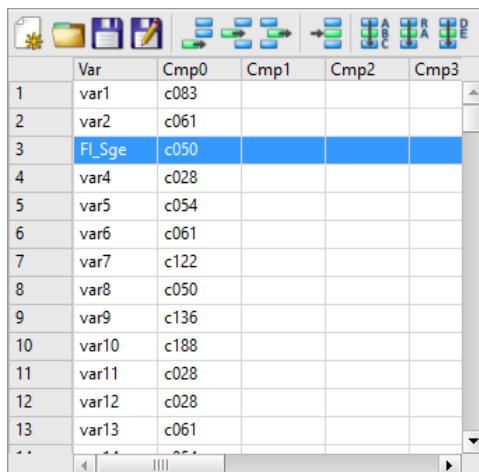
Poznámka:

Řádky končící znakem ... byly ve výše uvedeném příkladu zkráceny, aby příklad zůstal názorný.

První buňka souboru CSV obsahuje řetězec „sep=;“, který označuje, že hodnoty jednotlivých buněk nejsou odděleny čárkami, ale středníky. Toto rozšíření formátu CSV zajišťuje kompatibilitu s aplikací Microsoft Excel.

## Popis pole

**Panel Field description** se otevírá (a zavírá) tlačítkem  na pásu karet **Photometry**. Jeho hlavním účelem je uložit všechny označené hvězdy (proměnné, srovnávací a kontrolní hvězdy) do souboru popisu a později tento soubor použít k rychlému vytvoření světelných křivek a protokolů všech zajímavých hvězd v poli.



|    | Var    | Cmp0 | Cmp1 | Cmp2 | Cmp3 |
|----|--------|------|------|------|------|
| 1  | var1   | c083 |      |      |      |
| 2  | var2   | c061 |      |      |      |
| 3  | Fl_Sge | c050 |      |      |      |
| 4  | var4   | c028 |      |      |      |
| 5  | var5   | c054 |      |      |      |
| 6  | var6   | c061 |      |      |      |
| 7  | var7   | c122 |      |      |      |
| 8  | var8   | c050 |      |      |      |
| 9  | var9   | c136 |      |      |      |
| 10 | var10  | c188 |      |      |      |
| 11 | var11  | c028 |      |      |      |
| 12 | var12  | c028 |      |      |      |
| 13 | var13  | c061 |      |      |      |

Poznámka:

Jednotlivé hvězdy jsou identifikovány podle svých rovníkových souřadnic, takže popis pole funguje pouze na snímcích, u nichž bylo úspěšně provedeno astrometrické řešení.

Je velmi žádoucí používat vždy stejný astrometrický katalog, s nímž byl popis vytvořen. Název katalogu (identifikátor) se používá jako primární identifikace hvězdy, takže použití popisu pole vytvořeného s jiným katalogem přináší významná omezení.

I když konkrétní hvězda není zahrnuta v použitém katalogu, může být do popisu pole přesto zahrnuta; je pouze identifikována souřadnicemi, nikoli názvem v katalogu.

Vytvoření popisu pole se skládá ze dvou kroků:

1. Všechny zajímavé hvězdy, ať už proměnné, srovnávací nebo kontrolní, musí být jednoznačně pojmenovány. Hvězdu lze pojmenovat v **tabulce hvězd** zadáním jejího názvu do prvního sloupce.
2. Poté je možné přidat další položku do tabulky popisu pole, kde jsou uloženy názvy proměnné hvězdy a srovnávací a kontrolní hvězdy či hvězd.

Popis pole se ukládá do textového souboru s výchozí příponou „.sfd“ a dodržuje konvence souborů INI. Struktura textového souboru odráží způsob, jakým je popis vytvářen.

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

[Stars]
cmp2 = 5.395547204E-1; 5.691312848E-1; 614-005727; 5.395552059E-1; 5.691316911E-1
cmp3 = 5.38700184E-1; 5.701288131E-1; 614-005718; 5.387024041E-1; 5.701280414E-1
v4 = 5.410245319E-1; 5.721339355E-1; 614-005744; 5.410203177E-1; 5.721310928E-1
cmp1 = 5.402964787E-1; 5.706426903E-1; 614-005736; 5.402940474E-1; 5.706397623E-1
v2 = 5.414696827E-1; 5.72068233E-1; 614-005749; 5.414679461E-1; 5.720669083E-1
v1 = 5.414845401E-1; 5.718940758E-1; 614-005750; 5.41483305E-1; 5.718923996E-1
v3 = 5.412030003E-1; 5.721243677E-1; 614-005747; 5.41198191E-1; 5.721220898E-1

[Variables]
v1 = cmp3; ; ; ; ; ; ; ; ;
v2 = cmp1; ; ; ; ; ; ; ; ;
v3 = cmp2; ; ; ; ; ; ; ; ;
v4 = cmp3; ; ; ; ; ; ; ; ;
```

Sekce **[Description]** obsahuje hlavičku, v současnosti číslo verze a použitý katalog.

Sekce **[Stars]** vypisuje všechny použité hvězdy. Za definovaným názvem hvězdy (přiřazeným uživatelem) následují rovníkové souřadnice hvězdy určené astrometrickým řešením. Poté následuje katalogový identifikátor (pokud existuje) spolu s rovníkovými souřadnicemi definovanými v katalogu. Po načtení popisu pole se sekce **[Stars]** promítne do **tabulky hvězd**—jednotlivé hvězdy jsou nalezeny a definované názvy jsou přidány do tabulky.

A konečně sekce **[Variables]** obsahuje seznam posloupností názvů. První název je vždy název proměnné hvězdy. Následující názvy jsou až 10 srovnávacích hvězd a poslední název je název kontrolní hvězdy. Po načtení popisu pole se sekce **[Variables]** promítne do tabulky přímo v **panelu Field description**.

#### Poznámka:

Tabulka popisu pole neumožňuje uživateli přímo upravovat jednotlivé položky (řádky). Každou položku lze vytvořit nebo upravit pouze výběrem hvězd VAR, CMPx a CHK a následným uložením tohoto konkrétního stavu do popisu pole. Tento mechanismus pomáhá udržovat celý popis pole konzistentní, bez chyb způsobených překlapy apod.

Panel nástrojů panelu Field description nabízí následující nástroje:

-  Vymazat aktuální popis pole a začít s novým prázdným popisem.
-  Otevřít nový popis pole ze souboru .sfd. Aktuální popis pole bude vymazán.
-  Uložit aktuální popis pole do souboru .sfd.
-  Uložit aktuální popis pole do souboru .sfd pod jiným názvem.

-  Přidat novou položku do popisu pole. Aktuálně vybrané hvězdy VAR, CMPx a CHK budou přidány jako nový řádek.

**Poznámka:**

Všechny vybrané hvězdy (VAR, CMPx, CHK) musí mít v **tabulce hvězd** název. Pokud některá hvězda není pojmenovaná, zobrazí se chybová zpráva a žádná položka se nepřidá.

-  Funguje jako „Přidat novou položku“, ale vloží položku na aktuálně vybranou pozici.
-  Odebrat aktuálně vybranou položku z popisu pole.
-  Aktualizovat (nahradit) aktuálně vybranou položku v popisu pole vybranými hvězdami.
-  Seřadit popis pole podle názvu proměnné hvězdy.
-  Seřadit popis pole podle rektascenze proměnné hvězdy.
-  Seřadit popis pole podle deklinace proměnné hvězdy.

**Tip:**

Nástroj Photometry vždy vyhledává hvězdy definované v popisu pole na aktuálně vybraném snímku. Pokud například některá hvězda definovaná v sekci **[Stars]** není na aktuálním snímku nalezena, všechny definice odkazující na tuto konkrétní hvězdu se stanou neplatnými. U srovnávacích hvězd to obvykle nenastává, protože jsou zpravidla voleny jako jasné a neležící příliš blízko jiné hvězdy, a proto jsou snadno detekovatelné na všech snímcích. Pokud však některá slabá proměnná hvězda není na vybraném snímku nalezena, může být detekována na jiném snímku, pořízeném například ve větší výšce nad obzorem nebo za příznivějšího počasí.

Vždy se může stát, že některá hvězda nebude v aktuální sérii snímků nalezena (např. je mimo zorné pole), nebo že popis pole není konzistentní (to znamená, že některá položka v sekci **[Variables]** odkazuje na název hvězdy, který není definován v sekci **[Stars]**). Tabulka popisu pole na to uživatele upozorňuje barvou použitou k zobrazení konkrétního názvu hvězdy:

- Černé názvy označují hvězdy správně nalezené na snímku.
- Modré názvy odkazují na hvězdy ze sekce **[Variables]**, které nebyly nalezeny v sekci **[Stars]**.
- Červené názvy označují hvězdy, které nebyly na aktuálním snímku spárovány. To znamená, že hvězda je příliš slabá (pod detekčním prahem), nebo je mimo zorné pole.

## Výběr hvězd pomocí popisu pole

Hlavním účelem panelu **Field description** je umožnit rychlý výběr hvězd VAR, CMPx a CHK v poli bez nutnosti hledat je ve snímku a vybírat je myší. Uložení protokolů pro všechny hvězdy v zorném poli je pak otázkou minut místo hodin.

Tabulka **Field description** vybírá hvězdy definované v příslušných sloupcích (Var jako VAR, Cmp0 jako CMP0 atd.) při výběru libovolné položky (řádku). Zároveň se aktualizuje **panel světelné křivky**, takže lze okamžitě zobrazit světelnou křivku proměnné hvězdy.

**Tip:**

Snímek v **panelu snímku** se vystředí kolem vybrané proměnné hvězdy, pokud je vybrán celý řádek v tabulce **Field description**, například kliknutím na buňku s číslem řádku vlevo.

Je však možné vybrat také každou buňku tabulky samostatně. V takovém případě se v **panelu snímku** vystředí hvězda pojmenovaná ve vybrané buňce.

## Popis pole v režimu sborové fotometrie

Sborová fotometrie vypočítává absolutní magnitudu každé hvězdy z transformační funkce fitované samostatně pro každý snímek. Srovnávací hvězdy se tedy nepoužívají. Přesto má smysl kromě proměnné hvězdy označit také kontrolní hvězdu. Kontrolní hvězda by neměla být proměnná a její jasnost by měla být v čase konstantní.

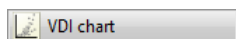
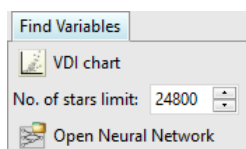
V režimu sborové fotometrie jsou z tabulky popisu pole skryty všechny srovnávací hvězdy; viditelné zůstávají pouze sloupce VAR a CHK. Nástroj **Photometry** také již netrvá na označení a pojmenování alespoň jedné srovnávací hvězdy před přidáním proměnné hvězdy do seznamu pole; v tomto režimu ve skutečnosti není možné srovnávací hvězdu vůbec označit.

Poznámka:

Popisy pole vytvořené v režimu **relativní fotometrie** zůstávají použitelné i v režimu **sborové fotometrie**; pouze srovnávací hvězdy jsou skryty a nepoužívají se. Položky popisu pole vytvořené nebo upravené v režimu sborové fotometrie však nelze použít v režimu relativní fotometrie.

## Hledání proměnných hvězd

SIPS Photometry podporuje vyhledávání proměnných hvězd mezi všemi hvězdami detekovanými v zorném poli. Ovládací prvky související s hledáním proměnných hvězd jsou seskupeny na pásu karet **Find Variables**.

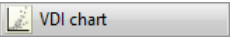


SIPS v současnosti podporuje tři způsoby detekce proměnných hvězd, podrobně popsané níže. Dvě metody jsou založeny na statistické analýze světelné křivky, třetí používá neuronovou síť. Výsledky statistické analýzy i odezva neuronové sítě se zobrazují v grafu, který uživateli umožňuje vybírat kandidáty na proměnné hvězdy. Graf je zobrazen v **panelu Find Variables** v okně nástroje **Photometry**. Protože výpočet statistik nebo odvození odezvy neuronové sítě obvykle nějakou dobu trvá, zejména u hustých a širokých polí s tisíci hvězd, panel **Find Variables** se otevírá pouze na žádost uživatele pomocí příslušného tlačítka.

Poznámka:

Zkratka „VDI“ znamená Variability Detection Index. V závislosti na zvolené detekční metodě může jít pouze o směrodatnou odchylku, výsledek složitější a robustnější analýzy nebo odezvu neuronové sítě.

Graf v **panelu Find Variables** se počítá pro všechny hvězdy detekované na aktuálně vybraném snímku. Musí být vybrána srovnávací hvězda (nebo hvězdy), aby SIPS mohl vypočítat body grafu; světelné křivky všech hvězd jsou vztaženy k aktuálně vybrané srovnávací hvězdě. Odezva je také ovlivněna zvolenou aperturou proměnné i srovnávací hvězdy.

Výběr jiné srovnávací hvězdy, změna apertury nebo výběr jiného snímku tedy vyvolá přepočtení bodů grafu, což způsobí dočasné pozastavení odezvy nástroje **Photometry**. Před takovými změnami se doporučuje panel **Find Variables** zavřít dalším kliknutím na tlačítko .

Poznámka:

Vzhledem k silné závislosti relativního toku nebo instrumentální magnitudy na použité apertuře se při hledání nových proměnných hvězd vždy doporučuje použít pro proměnnou hvězdu automatickou aperturu, aby se co nejvíce odstranily artefakty. Apertura srovnávací hvězdy může být pevná nebo automatická podle preferencí uživatele.

Příkazy panelu nástrojů **Find Variables** jsou:

-  Vybrat hvězdu s nejbližším vyšším indexem variability. Klávesy <Up> nebo <Left> jsou zkratkami pro tuto funkci, pokud je vybrán **panel Find Variables**.
-  Vybrat hvězdu s nejbližším nižším indexem variability. Klávesové zkratky jsou <Down> nebo <Right>.
-  Vybrat hvězdu s nejbližším vyšším indexem variability, která ještě není označena jako proměnná (tedy možná nová proměnná hvězda). Tato funkce se opírá o **popis pole**, který v prvním sloupci uvádí známé proměnné hvězdy. Klávesové zkratky jsou <Shift>+<Up> nebo <Shift>+<Down>.
-  Vybrat hvězdu s nejbližším nižším indexem variability, která ještě není označena jako proměnná (tedy možná nová proměnná hvězda). Tato funkce se opírá o **popis pole**, který v prvním sloupci uvádí známé proměnné hvězdy. Klávesové zkratky jsou <Shift>+<Down> nebo <Shift>+<Right>.
-  ,  a  definují metodu vyhledávání proměnných hvězd (viz vysvětlení níže).
-  Přepne osu y do logaritmického měřítka.

Klávesy <Page Up> a <Page Down> také posouvají aktivní (vybranou) hvězdu, pokud je vybrán **panel Find Variables**. Tentokrát se přeskočí všechny hvězdy, jejichž body leží v grafu na stejné úrovni (stejně souřadnici y) vpravo, a vybere se nejjasnější hvězda s bodem v řádku nad nebo pod aktuální polohou.

## Metody detekce proměnných hvězd

Podporované metody detekce proměnnosti jsou:

-  **Metoda RMS** počítá směrodatnou odchylku časové řady pro každou hvězdu. U stálých hvězd se směrodatná odchylka zvyšuje s magnitudou. Proměnné hvězdy (a bohužel také artefakty) vykazují směrodatnou odchylku nad průměrem stálých hvězd dané magnitudy. Vyšší než průměrná hodnota RMS časové řady indikuje možnou proměnnost.
-  **Metoda VDI** (Variability Detection Index—název zvolený v SIPS pro označení této metody) vychází z metody původně navržené k detekci Blazhkova efektu u proměnných hvězd typu RR Lyrae<sup>1</sup>. V SIPS je metoda VDI mírně upravena tak, aby lépe indikovala rychlé fyzikální proměnné hvězdy, jejichž světelná křivka během jednoho pozorování mnohokrát protíná průměrnou jasnost.
-  **Metoda neuronové sítě** používá jednoduchou třívrstvou neuronovou síť, trénovanou na tvarech světelných křivek různých typů proměnných hvězd. Podrobnosti o funkci neuronové sítě a jejím trénování jsou uvedeny níže.

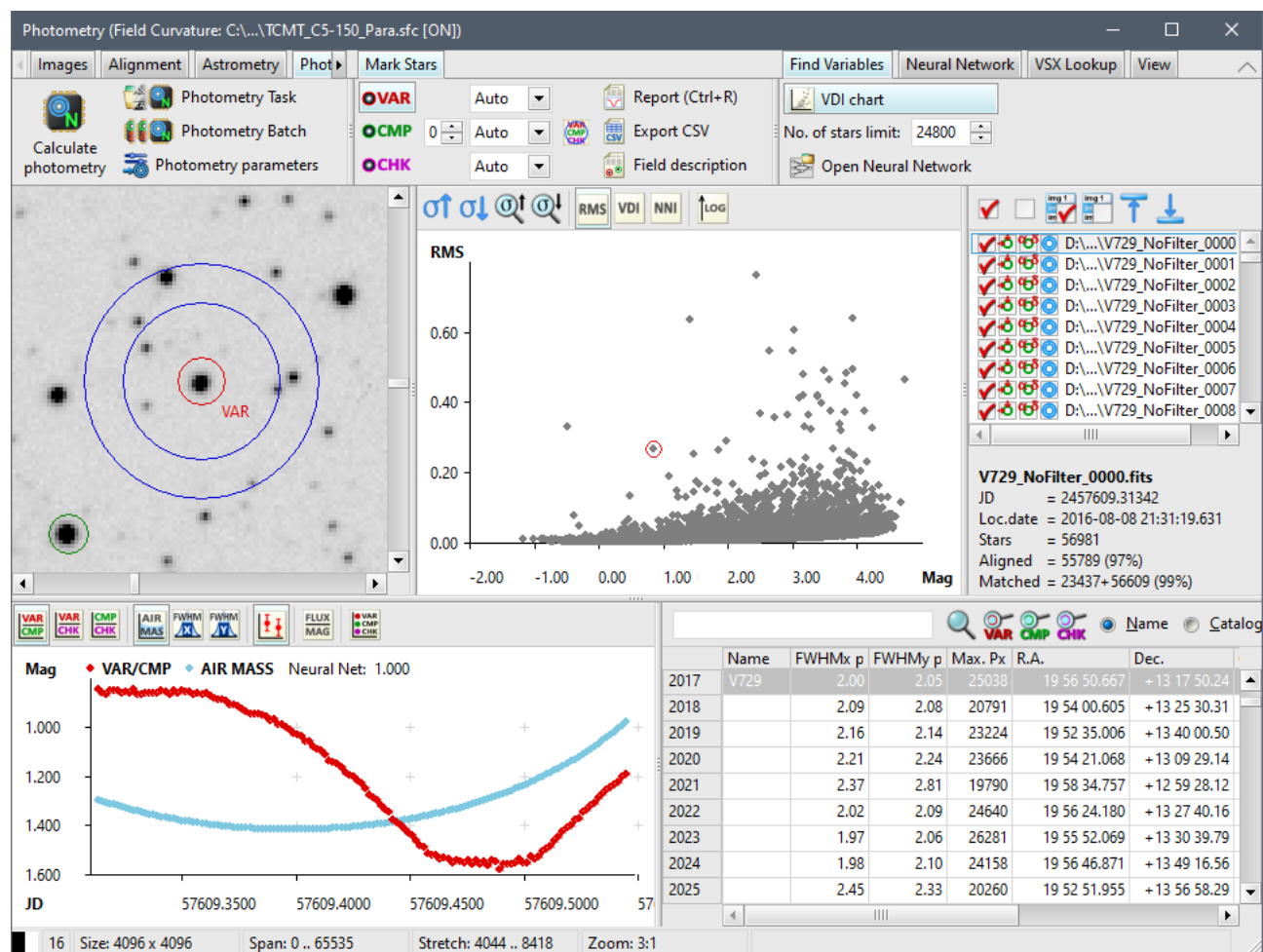
<sup>11</sup> Jaimes, R. F. et al, Variable stars in the globular cluster NGC 7492, A&A, 2013, 2013A&A...556A..20F

## Graf panelu VDI

**Panel Find Variables** zobrazuje bod pro každou hvězdu detekovanou v aktuálně vybraném snímku, porovnanou s vybranou srovnávací hvězdou (nebo hvězdami) pomocí definovaných apertur. Osa x grafu roste s magnitudou (klesající jasností), osa y představuje pravděpodobnost (index), že daná hvězda je proměnná.

Je-li použita metoda RMS, body představující jednotlivé hvězdy vytvářejí typický tvar „hokeyky“, protože slabší hvězdy (na pravé straně grafu) vykazují vyšší RMS (v horní části grafu). Proměnné hvězdy určité jasnosti však mají obvykle vyšší RMS než neproměnné hvězdy, takže body odpovídající proměnným hvězdám leží nad oblakem bodů neproměnných hvězd ve tvaru „hokeyky“.

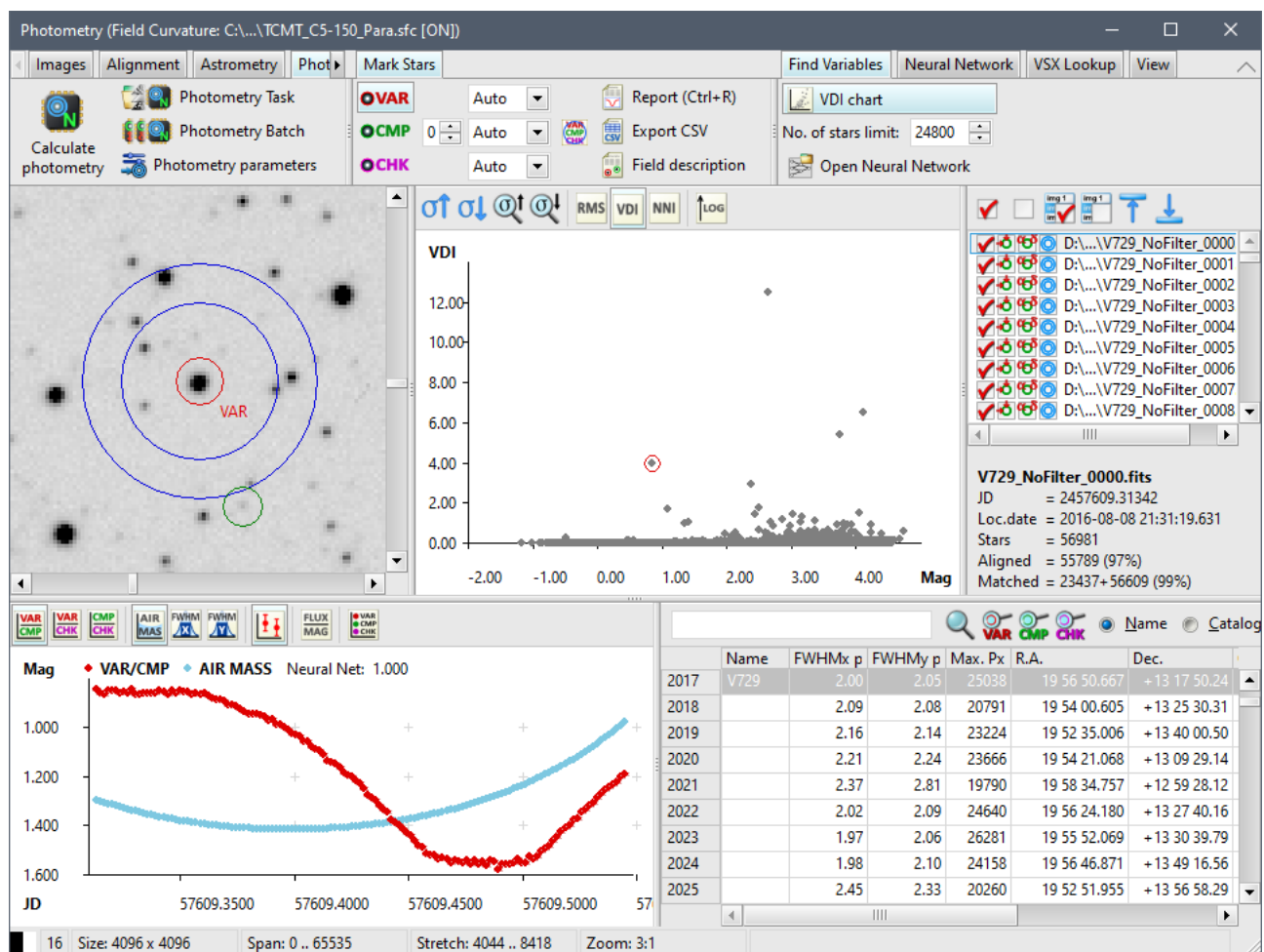
Níže uvedený příklad ukazuje minimum V0729 Aql v grafu RMS.



Hustší pole s větším počtem detekovaných hvězd samozřejmě trpí větším množstvím artefaktů. Mnoho hvězd vykazuje změny jasnosti způsobené chybnou detekcí hvězd, difrakčními paprsky blízkých jasných hvězd apod. Všechny tyto falešně pozitivní případy zaplňují prostor grafu nad „hokeykou“, takže rozlišení proměnné hvězdy je obzvláště obtížné.

Metoda VDI je ve srovnání s jednoduchou metodou RMS propracovanější, zejména při potlačování falešně pozitivních detekcí.

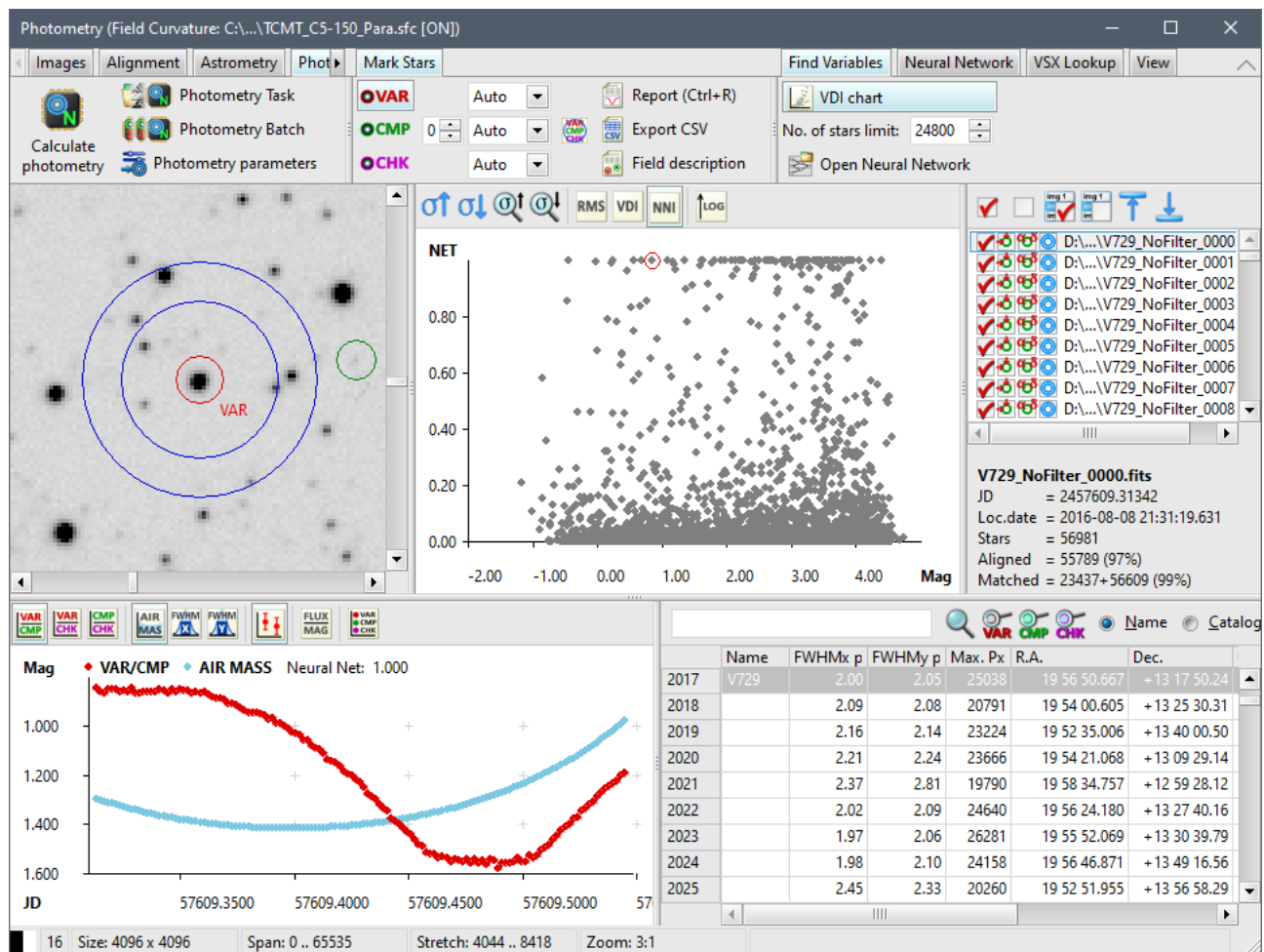
Níže uvedený příklad ukazuje minimum V0729 Aql v grafu VDI.



Neuronová síť pracuje jinak než statistická metoda. Mechanismus detekce proměnných hvězd je podobný mechanismu používanému člověkem—síť jednoduše „vidí“ podobnost světelné křivky s některými z tisíců světelných křivek proměnných hvězd, které jí byly předloženy během fáze učení. Jednoduchá síť je samozřejmě mnohem náchylnější k falešným detekcím než člověk, protože je nesrovnatelně jednodušší než lidský mozek. Na druhou stranu se počítač provozující neuronovou síť nikdy neunaví ani neztrácí trpělivost.

Odezva neuronové sítě je pravděpodobnost, že konkrétní světelná křivka je světelnou křivkou proměnné hvězdy, vyjádřená číslem od 0 (rozhodně nejde o proměnnou hvězdu) do 1 (jistě jde o proměnnou hvězdu).

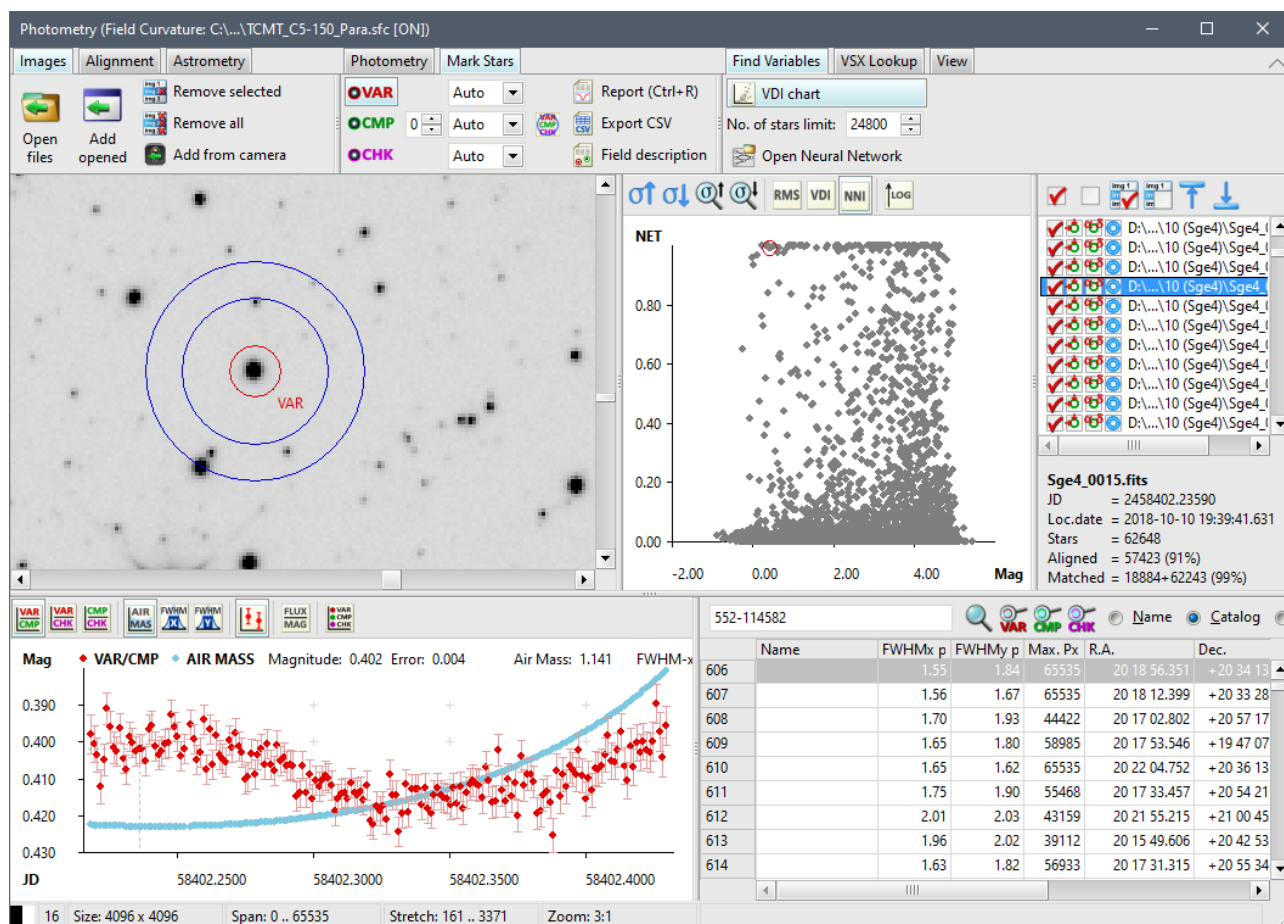
Níže uvedený příklad ukazuje odezvu neuronové sítě pro minimum V0729 Aql. Hodnota 1,000 vrácená neuronovou sítí znamená, že tato světelná křivka rozhodně patří proměnné hvězdě.



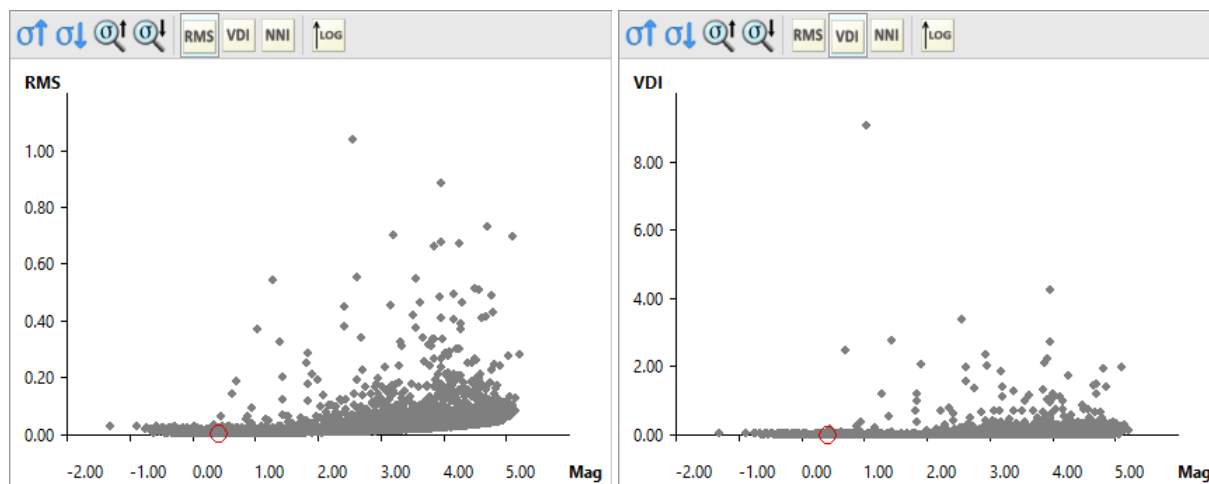
Účinnost neuronové sítě silně závisí na kvalitě dat (na množství hvězd vykazujících rychlé změny jasnosti způsobené různými artefakty).

Skutečnost, že neuronová síť předem škáluje amplitudy všech světelných křivek do rozsahu  $-1$  až  $1$ , činí síť obzvlášť necitlivou na amplitudu minim (na rozdíl od metod detekce proměnnosti založených na statistice). Neuronová síť je proto vhodná pro detekci proměnných hvězd s mělkými minimy, například tranzitů exoplanet. V závislosti na trénovací sadě může neuronová síť detekovat také pouze částečné světelné křivky.

Uvedme jako příklad sekundární minimum proměnné hvězdy CzeV2494 (UCAC4 552-114582) o jasnosti 12,82 mag, pozorované 10. října 2018. Hloubka sekundárního minima je pouze 0,016 mag. Přesto neuronová síť identifikuje světelnou křivku jako proměnnou hvězdu s pravděpodobností 98 % a CzeV2494 je na vrcholu grafu indexu proměnnosti vytvořeného NNI, protože tvar světelné křivky je velmi podobný tvarům mnoha minim použitých k trénování neuronové sítě.



Statistické metody naopak takto mělké minimum zcela přehlédnou a umístí hvězdu úplně na spodní okraj grafů VDI. Odezva metody RMS je na obrázku vlevo dole a odezva metody VDI na obrázku vpravo dole (bod odpovídající CzeV2494 je označen červeným kroužkem).

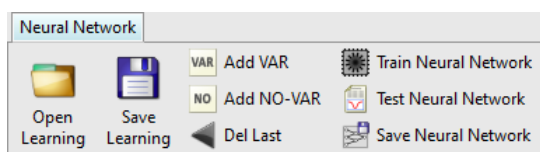


## Trénování neuronové sítě

Balík SIPS se instaluje s již natrénovanou neuronovou sítí pro detekci proměnnosti, připravenou k použití (parametry sítě jsou uloženy v souboru `NeuralNetwork_FindVariables.txt` v instalační složce

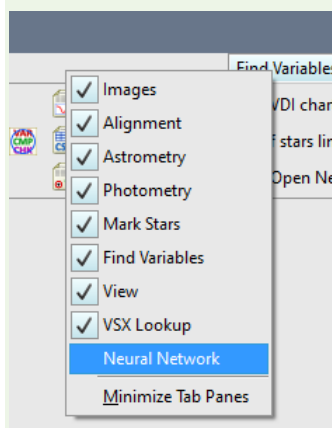
SIPS). Uživatelé se tedy nemusí zabývat poměrně složitým procesem vytváření učicí množiny, nastavování parametrů trénování apod. Tato kapitola je určena uživatelům s určitou znalostí principů neuronových sítí, kteří chtějí síť natrénovat na vlastních datech.

Jak bylo uvedeno výše, činnost neuronové sítě se výrazně liší od statistické analýzy. Schopnost neuronové sítě rozpoznat, že světelná křivka patří proměnné hvězdě, se získává učením. Během učení je nutné síti předložit ideálně desítky tisíc, nejméně však tisíce světelných křivek. Učicí množina by měla obsahovat také světelné křivky neproměnných hvězd a různých artefaktů, aby je síť dokázala rozlišit. Nástroj SIPS Photometry podporuje proces učení řadou nástrojů seskupených na pásu karet **Neural Network**.



#### Tip:

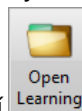
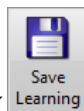
Trénování neuronové sítě se provádí tak zřídka, že příslušný pás karet je ve výchozím nastavení skrytý, aby nezabíral místo v okně nástroje **Photometry**. Chcete-li tento pás zobrazit, otevřete seznam pásů karet kliknutím pravým tlačítkem do prostoru záložek pásu karet. Poté zaškrtněte položku **Neural Network**.



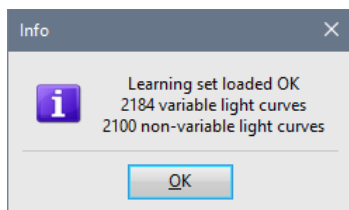
Podrobnější popis uživatelského rozhraní SIPS najdete v **Příloze A**.

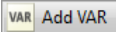
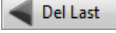
Nástroje pásu karet **Neural Network** umožňují vytvořit učicí množinu pro detekci proměnných hvězd. Učicí množina je jednoduchý textový soubor, v němž každý řádek obsahuje požadovaný výstup (1 pro proměnnou hvězdu, 0 pro neproměnnou hvězdu) následovaný 512 ekvidistantními body jasnosti, škálovanými do rozsahu od -1,0 do 1,0.

Protože učicí množina by měla obsahovat alespoň tisíce ukázkových světelných křivek, je prakticky nemožné



vytvořit ji z dat jedné pozorovací noci. Tlačítka pro uložení a načtení umožňují množinu uložit a znovu načíst před přidáním světelných křivek z další zpracované noci. Po načtení učicí množiny zobrazí informační okno počet přítomných světelných křivek proměnných a neproměnných hvězd.

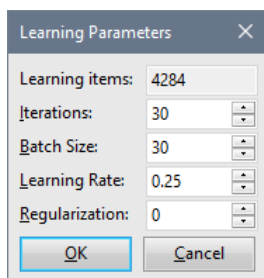


Po zpracování pozorovací noci v SIPS Photometry (a případně po otevření již existujícího souboru učicí množiny) lze světelnou křivku přidat do učicí množiny jako světelnou křivku proměnné hvězdy tlačítkem  nebo stisknutím klávesy <Y>, případně jako světelnou křivku neproměnné hvězdy tlačítkem  nebo klávesou <N>. Poslední omylem přidanou světelnou křivku lze odebrat tlačítkem  nebo klávesou <D>. SIPS však neposkytuje žádné pokročilejší prostředky pro úpravy učicí množiny.

**Tip:**

Je třeba zdůraznit, že síť rozpoznává pouze tvary, které jsou alespoň podobné světelným křivkám předloženým během učení. Proto je nutné, aby učicí množina zahrnovala co nejširší škálu typů proměnných hvězd (oddělené, polodotykové a dotykové zákrytové dvojhvězdy, pulzující hvězdy různých period, ...). Žádoucí jsou také částečné světelné křivky obsahující pouze začátek nebo konec minim.

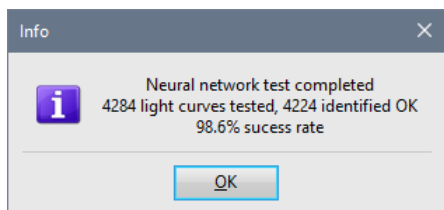
Síť se trénuje pomocí tlačítka . Zobrazí se dialogové okno s parametry trénování.



**Poznámka:**

Podrobný výklad procesu učení neuronové sítě přesahuje rámec této příručky.

Natrénovanou síť lze otestovat tlačítkem  a zobrazit úspěšnost.

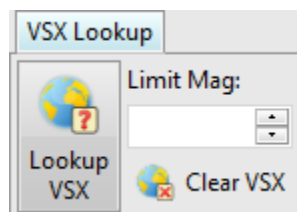


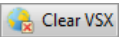
Je vhodné poznamenat, že správné testování neuronové sítě vyžaduje použití jiné množiny, než byla použita pro trénování. Testování sítě na použité trénovací množině je možné, ale je třeba jej brát s opatrností.

Konfiguraci natrénované neuronové sítě je třeba uložit do souboru tlačítkem . Jakmile je soubor parametrů otevřen pomocí tlačítka  na pásu karet **Find Variables**, SIPS uloží název souboru do konfigurace a používá jej, dokud není otevřen jiný soubor parametrů neuronové sítě.

## Vyhledávání v databázi VSX

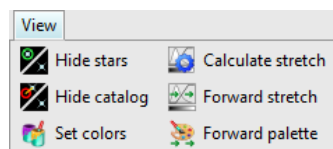
Online dotaz do databáze VSX umožňuje označit všechny proměnné hvězdy registrované ve VSX. Tato funkce je shodná s vyhledáváním VSX implementovaným v nástroji **Astrometry**. Podrobný popis této funkce najdete v popisu nástroje **Astrometry**.



Implementace vyhledávání VSX v nástroji **Photometry** se však od implementace v nástroji [Astrometry](#) liší způsobem zvýraznění hvězd VSX. Zatímco hvězdy registrované ve VSX jsou na snímku zobrazeném v okně snímku zvýrazněny pouze do výběru jiného snímku, hvězdy zvýrazněné v **panelu snímku** nástroje **Photometry** zůstávají zvýrazněné i při výběru jiných snímků ze seznamu. Ke skrytí popisků hvězd registrovaných ve VSX je nutné použít tlačítko .

## Uživatelská definice barev

Pás karet **View** nástroje **Photometry** obsahuje ovládací prvky ovlivňující zobrazení snímku. Jejich funkce odpovídají stejným ovládacím prvkům například v nástrojích [Blink Images](#) nebo [Astrometry](#).



Jedinou výjimkou je tlačítko , které otevře dialogové okno umožňující definovat barvy používané pro kreslení aperturních kružnic kolem proměnných, srovnávacích a kontrolních hvězd i prstence pozadí.

Kliknutím levým tlačítkem na vzorek barvy vlevo od názvu barvy otevřete dialogové okno **Color Definition**.

