

# Softwarový nástroj–Sluneční fotometrie verze 0.1

*L. Lenža, Hvězdárna Valašské Meziříčí, p. o., Valašské Meziříčí, Česká republika  
J. Benáček, Ústav teoretické fyziky a astrofyziky, Přírodovědecká fakulta,  
Masarykova univerzita, Brno, Česká republika*

## Abstrakt

Časové série snímků slunečních erupcí poskytují informace zejména o lokalizaci, časovém vývoji a morfologii těchto jevů. Zatím nám chyběl použitelný softwarový nástroj umožňující analyzovat také změnu intenzity záření ve vybrané oblasti pozorování, tedy provedení „fotometrické“ analýzy.

Príspevek predstavuje prvni verzi vyvinutého softwarového produktu zaměřeného na základní „fotometrické“ zpracování CCD snímků slunečních erupcí. Software umožňuje provádět měření (relativní fotometrii) erupcí jako celku a také vybraných detailů v morfologii erupce v závislosti na čase. Program dokáže pracovat jak s detailními, tak celkovými snímky sluneční chromosféry v dostatečné bitové hloubce. Referát představuje základní ideu programu, uživatelské prostředí a vstupy.

## 1. ÚVOD

Hvězdárna Valašské Meziříčí se již téměř 8 let velmi intenzivně zabývá pozorováním projevů sluneční aktivity jak v bílém světle, tak ve spektrálních čarách CaII K a H-alfa [1]. Po několika letech provozu se podařilo celý systém stabilizovat a vyřešit celou řadu problémů, na které jsme v průběhu času naráželi. Cílem těchto aktivit je registrace časového vývoje chromosférických erupcí [2]. Po několika letech provozu máme v archívech řadu pozorování slunečních erupcí, která čekají na další zpracování z pohledu jejich časového vývoje, morfologie erupčních vláken, vazeb na další pozorování a registraci dalších jevů apod.

Jedním ze zajímavých a relativně dobře měřitelných projevů chromosférických erupcí je změna intenzity jejich záření v závislosti na morfologickém vývoji erupce a čase. K tomu však potřebujeme efektivní nástroj na proměňování relativní intenzity erupčních vláken či jejich částí registrovaných moderními CCD kamerami [3].

Tato potřeba vyústila ve spolupráci s mladými kolegy a studenty Masarykovy univerzity v Brně zadáním záměru na tvorbu účelového softwaru na zpracování CCD snímků slunečních erupcí a relativní měření jejich intenzit.

## 2. VÝCHODISKA PRO NÁVRH SOFTWARE

Zadání programu bylo definováno na základě zkušeností s výstupy pozorování, cíli záměru a dostupného softwarového vybavení. Před samotným zpracováním je nezbytné snímky zkontrolovat a upravit.

Základní vstupní požadavky na software:

- exe soubor spustitelný pod WinXP-Win7
- základní vzhled uživatelského rozhraní (vycházel ze zkušeností a potřeb)
- vstupní snímky ve formátu FITS 16 bitů
- velikost snímků maximálně 2500×2500 pixelů
- možnost načíst i velké série snímků (až kolem 300 snímků); výběr snímků standardně myši
- daná syntaxe názvů souborů [4]
- výběr oblasti pro měření intenzit – ruční se dvěma možnostmi „fotometrické clonky“ – kruhové a obecně obdélníkové, možnost vybrat kurzorem nebo zadat souřadnice a rozměry
- výsledky měření a informace (včetně názvu souboru) k jednotlivým snímkům budou vypsány v protokolu měření

Požadavky byly v průběhu realizace softwaru postupně upřesňovány formou zpětné vazby na rozpracované části softwaru.

## 3. PROGRAM „PHOTOMETRY OF SUN“

Program **Photometry of Sun** [5] je aplikace určená k provádění plošné fotometrie na snímcích slunečního disku v různých filtrech. Záměrem bylo vytvořit jednoduchý a rychlý nástroj pro vyhodnocení napozorovaných dat – snímků chromosférických erupcí, případně dalších obdobných jevů ve sluneční atmosféře.

Aplikace zpracovává napozorovaná data (obrázky) ve standardním formátu FITS, dále je analyzuje až do výsledné „světelné křivky“ jednoduše vybraného objektu. Výsledky ukládá jako textový soubor s hlavičkou. Program běží pod operačními systémy

Windows, Linux a Mac OS X, není třeba jej instalovat, stačí jen stáhnout spustitelný balíček.

$$F_p = \frac{F}{S - S_{satur}},$$

### 3.1. Příprava obrazových dat ke zpracování

Surové snímky ze CCD kamer jsou standardním způsobem kalibrovány [6] a ukládány ve formátu FITS. S ohledem na skutečnost, že montáže, na kterých jsou umístěny dalekohledy, nejsou zcela přesné, dochází v průběhu pořízení série snímků k posunu obrazu po snímacím prvku. Proto je potřeba provést pečlivé sesazení snímků. Tuto činnost provádíme pomocí programu ImageJ [7] a výsledky jsou dobré. Po této registraci jsou snímky uloženy ve formátu 16bitových FITS obrázků a je provedena jejich vizuální kontrola kvality sesazení, jsou vyřazeny případně zcela defektní snímky (oblačnost, velmi špatná kvalita obrazu, defekty apod.).

Dále může být proveden výběr snímků s cílem snížit počet měřených souborů (surové snímky jsou snímány s kadencí až 2 snímky za sekundu), vyloučit snímky s velmi špatnou kvalitou obrazu, oblačností apod.

### 3.2. Postup zpracování

Zpracování obrazových dat probíhá v následujících krocích:

1. Načtení všech napozorovaných dat (snímků ve formátu FITS) kliknutím na tlačítko přidat.
2. Zobrazí se seznam všech načtených souborů a základních informací o nich. Prohlížení jednotlivých snímků je možné kliknutím.
3. Označení souborů, které chceme zpracovávat (např.: Ctrl+a) a kliknutí na ikonu fotometrické části programu.
4. V části fotometrie vybereme oblast, kterou chceme měřit, a to zadáním kurzorem přímo ve snímku nebo zadáním souřadnic [x, y] středu oblasti. Pak zadáme rozměr oblasti. Klikneme na OK.
5. Program provede fotometrické měření a výstupy vloží do jednoduchého textového souboru pro další zpracování. Vybereme místo pro uložení výsledného souboru na disk.

Výpočet toku na jeden snímek se provádí velmi jednoduchou metodou. Proměnné  $a$  představující jednotky ADU pro každý pixel jsou počítány pro danou oblast  $S$  podle vztahu

$$F = \frac{\sum_{i,j} a_{ij}}{t_{exp}},$$

kde  $i, j$  jsou z množiny  $S$ . Pokud je pixel  $(i, j)$  saturovaný nebo záporný, nepočítá se do této sumy, ale převede se do samostatné proměnné  $S_{satur}$ . Toto opatření je zatím dočasné.

Jednotky ADU jsou převáděny do jednotek ADU/s. Díky dělení časem se tok stává nezávislý na délce expozice. Výsledný tok na jeden pixel  $F_p$  pak činí

kde  $S_{satur}$  je plocha saturované oblasti v pixelech.

Výsledná data obsahují mimo jiné v hlavičce: jméno objektu, čas zpracování, umístění oblasti a saturační hodnotu. Dále je pro každé měření uloženo: čas pozorování, tok, plošná hvězdná velikost, počet saturovaných pixelů.

Vlastní fotometrie probíhá jako suma všech hodnot v zadané masce na snímcích. Poloha masky je při zpracování pro všechny snímky stejná, je proto nutné mít snímky vůči sobě zarovnané. Plošný tok je počítán na plochu jednoho pixelu, stejně jako hvězdná velikost.

V případě potřeby porovnat výsledné toky mezi různými pozorovateli (s různou technikou) je nutné přepočítat nejen velikosti pixelů, ale i apertury dalekohledů, spektrální vlastnosti filtru, závislost citlivosti kamery na vlnové délce aj. Jedná se jen o relativní měření a vzájemná kalibrace více přístrojů je možná prakticky jen pozorováním stejného jevu na základě sesazení časového průběhu křivky.

### 3.3. Popis aplikace

Aplikace je vnitřně vyvinutá v programovacím jazyce Python [8] s grafickou nástavbou pomocí knihovny WxWidgets [9], která poskytuje podporu pro velké množství platform. Pro načítání dat ve formátu FITS je použita knihovna Astropy [10].

Program „Sluneční fotometrie“ načítá data ze standardních hlaviček souborů a využívá je pro správné vyhodnocení výsledků a vzájemnou opakovatelnost mezi pozorovateli.

Aplikace se skládá z horního nástrojového panelu, který představuje pro uživatele rozcestník a listovací části pro seznam souborů. Nejdůležitější volbu představuje funkce *Photometry*, která vyvolá okno s možnostmi uživatelské konfigurace způsobu zpracování měření. Uživatel má možnost si oblast fotometrie vybrat tahem myši nebo zadáním příslušných hodnot.

Filename	Date	Time	Exposure	W x H	Filter
HWIDSC_2014-07-13_09-15-56_0431_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:15:56.776	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-16-01_0432_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:16:00.660	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-16-20_0455_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:16:18.674	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-16-31_0488_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:16:30.999	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-16-53_0488_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:16:52.480	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-16-54_0489_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:16:53.525	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-17-14_0524_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:17:14.054	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-17-57_0553_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:17:56.315	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-18-18_0624_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:18:17.286	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-22-48_0608_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:22:47.865	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-22-49_0601_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:22:48.942	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-22-51_0603_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:22:50.985	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-22-52_0609_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:22:52.062	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-22-53_0602_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:22:53.139	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-23-56_1077_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:23:56.083	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-23-58_1073_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:23:58.083	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-23-59_1074_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:23:59.064	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-34-01_1071_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:34:00.139	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-34-02_1069_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:34:01.187	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-47-18_1421_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:47:18.125	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-47-20_1422_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:47:19.184	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-47-21_1421_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:47:20.198	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-47-28_1451_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:47:28.080	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-48-28_1488_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:48:24.734	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-50-30_1813_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:50:30.029	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_09-52-58_1874_FitsRaw.fits	2014-07-13	09:52:58.062	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_10-00-53_1872_FitsRaw.fits	2014-07-13	10:00:52.184	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_10-00-53_1876_FitsRaw.fits	2014-07-13	10:00:53.179	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_10-00-52_1875_FitsRaw.fits	2014-07-13	10:00:56.135	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_10-00-58_1878_FitsRaw.fits	2014-07-13	10:00:58.095	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_10-00-58_1879_FitsRaw.fits	2014-07-13	10:00:58.099	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_10-00-59_1880_FitsRaw.fits	2014-07-13	10:00:59.092	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_10-01-01_1881_FitsRaw.fits	2014-07-13	10:01:01.045	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_10-01-02_1882_FitsRaw.fits	2014-07-13	10:01:02.056	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_10-01-04_1884_FitsRaw.fits	2014-07-13	10:01:04.072	0.09	1628 x 121	3842 NB
HWIDSC_2014-07-13_10-01-05_1885_FitsRaw.fits	2014-07-13	10:01:05.053	0.09	1628 x 121	3842 NB

Obrázek 1. Náhled obrazovky programu se seznamem zvolených souborů ke zpracování.

### 3.4. Uživatelské prostředí

Uživatelské prostředí bylo navrženo úsporně, ale přehledně s ohledem na funkčnost. Návrh počítá s modulovým přístupem, tedy, že je možné doplňovat do programu další měřicí a analytické nástroje pod samostatné ikonky v horní liště programu. Obrazovka pro načtení souborů je zcela standardní (viz obrázek č. 1) a ovládání je intuitivní.

Část programu určena k výběru oblasti pro provedení měření a nastavení dalších nezbytných parametrů je dostupná po rozkliknutí nabídky *Run Photometry*.

V nabídce musíme ručně nastavit úroveň saturace obrazu ve snímcích (*Saturation*) dle bitové hloubky obrazu, dále označení aktivní oblasti na Slunci či obecně objektu včetně možné poznámky. Dále můžeme číselně nastavit umístění a velikost clonky pro fotometrii v analyzovaném obraze. Viz obrázek č. 2.



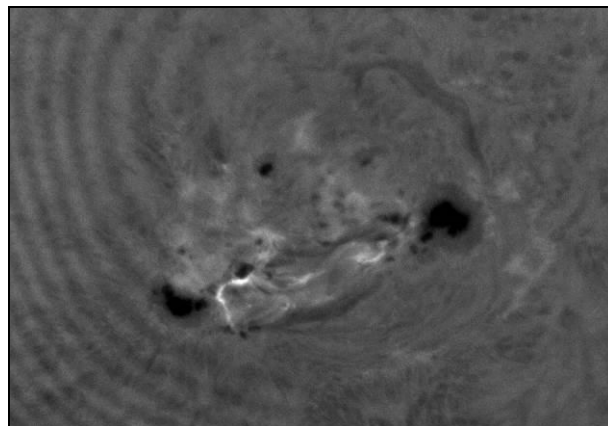
**Obrázek 2.** Náhled obrazovky programu s výběrem oblasti (červený kroužek) pro provedení fotometrie. V horní části obrazovky je možno volit vstupní údaje.

Předpokládáme, že vývoj uživatelského prostředí a jeho grafického vzhledu bude v průběhu času pokračovat.

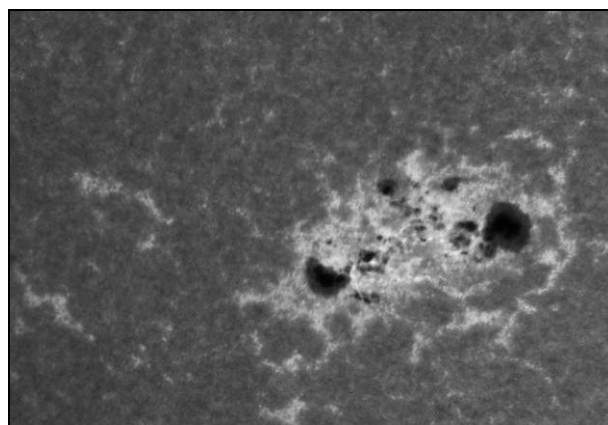
### 4. VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ DATA

Analyzovaným vstupem pro představovaný software mohou být kalibrované CCD snímky jak celodiskových, přehledových, snímků Slunce ve spektrálních čarách vodíku a vápníku (H-alfa a CaII K), tak detailní snímky ve stejných spektrálních čarách a v případě výskytu bílé erupce i snímky fotosféry.

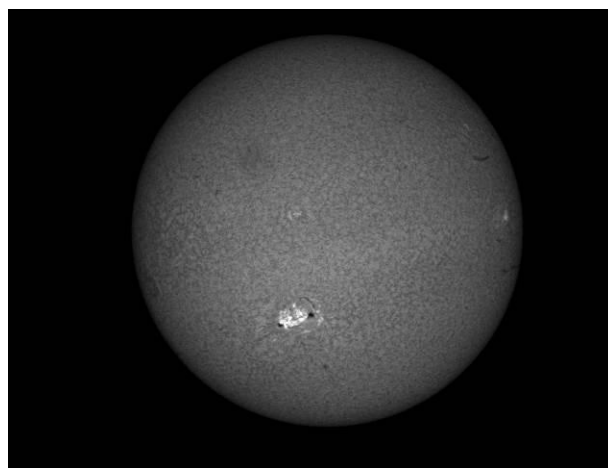
Charakter analyzovaných snímků je dobře patrný z níže uvedených příkladů. Jedná se o téměř simultánní závěr stejné erupce.



**Obrázek 3.** Snímek aktivní oblasti NOAA 12403 ze dne 22. 8. 2015 s erupcí o mohutnosti C6.3. Snímek byl pořízen ve spektrální čáře H-alfa v 10:28:02 UT. Na snímku jsou vidět artefakty v podobě interferenčních kroužků. Hvězdárna Valašské Meziříčí, p. o.



**Obrázek 4.** Snímek aktivní oblasti NOAA 12403 ze dne 22. 8. 2015 s erupcí o mohutnosti C6.3. Snímek byl pořízen ve spektrální čáře CaII K v 10:28:16 UT. Hvězdárna Valašské Meziříčí, p. o.



**Obrázek 5.** Celkový snímek Slunce v čáře H-alfa ze dne 22. 8. 2015. Na disku je v aktivní oblasti NOAA 12403 dobře patrná erupce o mohutnosti C6.3. Snímek byl pořízen ve spektrální čáře H-alfa v 10:28:02 UT. Hvězdárna Valašské Meziříčí, p. o.

Výstup z analýzy má podobu textového souboru, který může být vstupem pro další automatické zpracování a analýzu naměřených údajů, případně mohou být údaje zkopírovány do tabulkového procesoru.

Každý výstupní soubor obsahuje úvodní tabulku se základními informacemi o sadě analyzovaných snímků:

- *NOAA Object* – označení objektu, číslo aktivní oblasti NOAA
- *Processing Date* – datum zpracování
- *Processing Time* – doba trvání analýzy
- *Number of Frames* – počet analyzovaných snímků
- *Area Size* – velikost analyzované plošky (clonky) v pixlech
- *Area Shape* – tvar vybrané fotometrické clonky (kruh, obecný obdélník)
- *Position* – pozice clonky (střed oblasti X, Y)
- rozměry clonky
- *Saturation Value* – nastavená úroveň saturace pixelu
- *Poznámky*

Následuje tabulka dat, která obsahuje tyto údaje: *Number* (pořadové číslo snímku), *Time* – čas pořízení, *Date* – datum pořízení, *Flux* – celková suma naměřeného toku ve vybrané clonce, *Flux-per-pixel* – suma toku na jeden pixel vybrané clonky, *Mag* – přepočítaný na magnitudu, *Min-Value* – minimální hodnota pixel v clonce, *Max-Value* – maximální hodnota pixel v clonce, *Saturated* – počet saturovaných pixel, *File* – název souboru.

## 5. ZÁVĚR

Program pro základní analýzu časového vývoje intenzity záření chromosférických erupcí v čáře H-alfa a CaII K vznikl jako nezbytná nástavba pozorovatelských aktivit na Hvězdárně Valašské Meziříčí. Jeho další vývoj závisí na možnostech a potřebách pracoviště podílet se dále na vývoji tohoto nástroje, na zkušenostech z praxe při jeho využívání. Velkým problémem je náročná metodika měření a také celá řada ne vždy dobře kvantifikovatelných vlivů na

kvalitu a relevantnost prováděných měření. Drobné zásahy vyžaduje i samotný program.

Budeme potěšeni, když se tento nástroj po dokončení testovací fáze stane vítaným pomocníkem při analýze nejen chromosférických erupcí.

## LITERATURA

- SRBA, Jiří, LENŽA, Libor, 2014. Nová generace systému pro pozorování projevů sluneční aktivity na Hvězdárně Valašské Meziříčí. *Zborník referátov z 22. celoštátného slnečného seminára 2014*, SÚH Hurbanovo. ISBN: 978-80-85221-80-0.
- SRBA Jiří, Libor Lenža. Zborník referátov z 22. CSS. *Slovenská ústredná hviezdáreň*. [online]. [2014] [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.suh.sk/obs/slsem/22css/37w.pdf>
- LENŽA, Libor, SRBA, Jiří, GREGOROVÁ, Bára, EXNEROVÁ, Martina, LENŽOVÁ, Naděžda. 2014. Pozorování erupcí v emisních čarách a jejich zpracování. *Zborník referátov z 22. celoštátného slnečného seminára 2014*, SÚH Hurbanovo. ISBN: 978-80-85221-80-0.
- LENŽA, Libor, Jiří Srba, Bára Gregorová, Martina Exnerová, Naděžda Lenžová. Zborník referátov z 22. CSS. *Slovenská ústredná hviezdáreň*. [online]. [2014] [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.suh.sk/obs/slsem/22css/38w.pdf>
- Pointační a zobrazovací CCD kamery řady G0 a G1. *Moravské přístroje a.s.* [online]. 9.12.2013 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.gxccd.com/art?id=328&lang=405>
- LENŽA, Libor, Jiří Srba, Martina Exnerová. Archivy pozorování. *Pozorování Slunce / Pozorovanie Slnka: Názvy souborů a jejich popis*. [online]. © 2014 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/archivy-pozorovani.html>
- BENÁČEK, Jan. Photometry of Sun. *jbenacek – Bitbucket*. [online]. 18. 5. 2015 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <https://bitbucket.org/jbenacek/photometry-of-sun/wiki/Home><https://bitbucket.org/jbenacek/photometry-of-sun>
- CCD G1-2000. *Hvězdárna Valašské Meziříčí: Úprava snímků*. [online]. © 2013 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.astrovm.cz/cz/odborna-cinnost/pozorovani-slunce/fotograficka-a-ccd-pozorovani/ccd-g1-2000.html>
- ImageJ. ImageJ. [online]. 26.5.2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://imagej.net/Welcome>
- Python. *Python Software Foundation*. [online]. © 2001-2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <https://www.python.org/>
- wxWidgets. *wxWidgets: Cross-Platform GUI Library*. [online]. © 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <https://www.wxwidgets.org/>
- Astropy. *Astropy*. [online]. [2016] [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.astropy.org>