

# Fotometrie slunečních erupcí – testy a první výsledky

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

## Abstrakt

Referát představuje metodiku přípravy kalibrovaných CCD snímků slunečních chromosférických erupcí pro jejich fotometrické zpracování programem Sluneční fotometrie verze 0.1. Dále se zabývá průběhem samotného zpracování dat s využitím softwarového nástroje a prezentuje první testy této relativní fotometrie slunečních erupcí včetně výsledků. Dále diskutuje výhody a nevýhody vyvíjeného programu, požadavků na vstupní data i metodiku měření. Ukazuje také výsledky simulovaných testů na jiných datech.

## 1. ÚVOD

Chromosférické erupce jsou pečlivě pozorovaným projevem sluneční aktivity, který je možné pozorovat i z pozemních observatoří. Rychlé a výrazné zvýšení jasu chromosféry (zjasnění) je způsobeno „bombardováním“ chromosféry proudem částic urychlených ve spodní koruně (v oblasti rekonexe). Při brždění svazků částic ve vrchních vrstvách chromosféry dochází k prudkému ohřevu materiálu v chromosféře (zjasnění) a řadě dalších jevů. Populární přehled o erupcích najdete například i na webu [1].

Při pozorování chromosférických erupcí můžeme registrovat a sledovat jejich časový vývoj v závislosti na morfologii chromosférických erupčních vláken, jejich zdánlivý pohyb, vývoj atd. Důležitým parametrem je také intenzita záření celé erupce, jejích částí a její časový vývoj části i celku. Tento aspekt erupcí je v kontextu s dalšími parametry velmi zajímavý a naší snahou je chromosférické erupce nejen pozorovat a registrovat [2], ale také zpracovávat a analyzovat. Proto vznikla díky spolupráci s externími kolegy první testovací verze programu **Sluneční fotometrie 0.1** [3].

Příspěvek seznamuje s průběhem a výsledky prvních zkušebních testů softwaru na reálných datech a diskutuje problémy, omezení a další možnosti vývoje a použití tohoto softwarového nástroje.

## 2. PŘÍPRAVA OBRAZOVÝCH DAT PRO ZPRACOVÁNÍ

Pro zpracování a měření je možné použít obrazová data jak snímků celého slunečního disku, tak také detailních snímků chromosféry. Důležitým aspektem je, aby se erupce nenacházela příliš na okraji snímku,

a výhodou jsou dobré pozorovací podmínky. Vliv pozorovacích podmínek na kvalitu výsledných dat ještě ověřujeme.

### 2.1. Pořízení a základní kalibrace obrazových dat

Snímky můžeme pořizovat v libovolné spektrální čáře (v našem případě jen v čarách H-alfa a CaII K), případně použít snímky fotosféry (ať už v bílém světle nebo s použitím širokopásmového filtru). Je potřeba hlídat si nastavení středu spektrální čáry a případně, pokud je to účelem, znát kam je propustnost filtru posunuta, jaká je charakteristika filtru apod.

Problémem je také expoziční doba. I když program **Sluneční fotometrie 0.1** počítá se změnou expozice a přepočítává tok záření na časovou jednotku, přičemž informaci o expoziční době si bere z hlavičky FITS souboru, je vhodnější zajistit po celou sérii stejnou expozici. To může být v praxi problém, protože stejně důležité je nastavit expozici tak, aby nedošlo k saturaci jednotlivých obrazových bodů. Při větších erupcích může díky prudkému nárůstu intenzity záření v erupčních vlákních k saturaci velmi rychle dojít. Program nás na tuto skutečnost (saturované pixely) upozorní.

Vhodnější jsou ucelené a pokud možno i dlouhodobější série pozorování s kadencí snímků od 2 do 0,1 snímku za sekundu. Poté musíme provést standardní kalibraci dat (flatfield, darkframe) [4].

### 2.2. Příprava obrazových dat pro zpracování

Po provedení základní kalibrace snímků je nutno provést jejich ruční prohlídku a odstranit případné problematické snímky. Pokud je kadence snímků dostatečná neznamená pro zachování kontinuity časové

řady vyřazení i většího počtu snímků problém. Vyřazují se zejména snímky s výskytem oblačnosti, nežádoucími artefakty, extrémně špatného seeingu či jiných defektů.

Poté je potřeba zajistit jejich co nejpřesnější registraci tak, aby se měřený jev vyskytoval ve stejné pozici na snímku vůči souřadnicím  $[x, y]$  pixelů. V našem případě provádíme registraci pomocí volně dostupného programu **ImageJ** [5]. Výsledky jsou uspokojivé a pro potřeby naší analýzy je program zcela dostačující. Po úspěšné registraci je provedena další kontrola kvality sesazení obrazu. Po tomto kroku jsou obrazová data připravena k analýze.

### 2.3. Problémy při přípravě dat

Jak se dalo předpokládat, v průběhu pozorování, ať už díky pozorovacím podmínkám či stavu a nastavení techniky, ovlivňuje finální kvalitu pozorování a tedy i výsledků analýzy celá řada faktorů. Ve fázi testování chceme všechny hlavní faktory identifikovat, popsat jejich vliv a případně navrhnout a otestovat metody na jejich eliminaci.

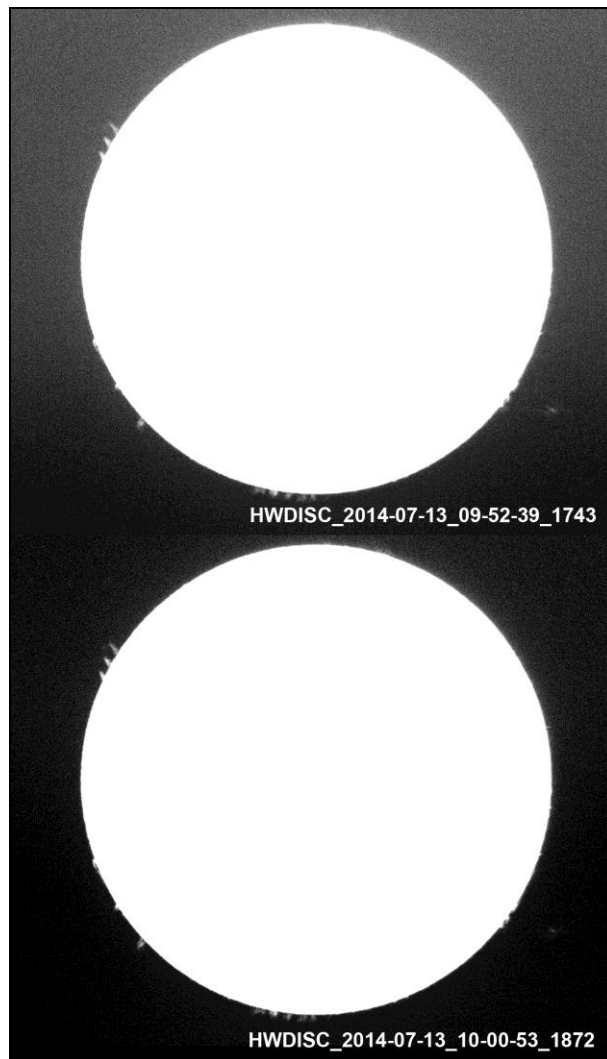
Prvním problémem je výskyt oblačnosti. Nemáme na mysli hustou běžnou oblačnost, ale relativně nenápadnou oblačnost ve vysokých vrstvách atmosféry, případně oblačnost spojenou s leteckým provozem, který je zvláště v letních měsících velmi hustý. Už i malá vrstva oblačnosti měření ovlivňuje a tento negativní vliv je nezbytné eliminovat resp. popsat a ve výsledcích diskutovat.

Dalším faktorem, který může měření ovlivnit, je změna expozice. Samotné nastavení programu, který výsledný tok přepočítává na stejnou jednotku času (na sekundu) tento negativní efekt změny do značné míry eliminuje. Pokud předpokládáme lineární závislost odezvy CCD prvku, pak bychom tento problém dále nemuseli (snad kromě případných extrémních případů) řešit.

Dalším faktorem, se kterým je nezbytné počítat, je nedokonalá registrace snímků, která zejména díky nekvalitním pozorovacím podmínkám a malé kvalitě výsledného obrazu může být velkým problémem. Menší erupce, případně vybraný detail v erupčních vláknecích, může měnit svou pozici v obraze až o několik pixelů (až o více jak 10 pixelů). Při volbě menší „fotometrické“ clonky se tak může v průběhu hromadného zpracování stát, že část intenzivně zářícího erupčního vlákna či bodu se dostane mimo měřenou oblast a měření ovlivní. Možné řešení je volba větší „fotometrické clonky“, která však znamená více nežádoucího šumu v datech z okolí erupce.

Dalším faktorem jsou vlastnosti snímacího prvku, které jsme zatím v první etapě testování podrobněji neprověřili, ale podle prvních údajů se zdá, že na kvalitu dat má vliv také teplota čipu a tedy úroveň šumu. Na obrázku č. 1 je dvojice snímků celého slunečního disku ve spektrální čáře H-alfa, které byly pořízeny asi s 9 minutovou prodlevou. Při analýze byla zjištěna výrazně vyšší teplota čipu v případě prvního snímku. Problém vzniká díky tomu, že při plném provozu

nestačí napájení kamery k zajištění plné datové přenosové kapacity při současné funkci chladicího ventilátoru, který snižuje své otáčky. Příklad uvedený na obrázku 1 zřejmě vznikl použitím kalibračního temného snímku (darkframe) pro kalibraci několika sérií exponovaných s větším časovým odstupem, kdy se změnila teplota snímacího prvku. Byl použit nekorektní kalibrační temný snímek.



**Obrázek 1. Porovnání dvou snímků slunečního disku v čáře H-alfa ze dne 13. 7. 2014, které ukazují možný vliv teploty snímacího prvku a použití nekorektního kalibračního temného snímku na celkový šum a tedy i kvalitu měření. Horní snímek (číslo 1743) byl pořízen při teplotě čipu 32,89 °C, spodní snímek (číslo 1872) při teplotě 27,69 °C. Horní snímek vykazuje vyšší viditelný šum, který zřejmě vznikl použitím nesprávného kalibračního temného snímku. Snímky na obrázku byly zpracovány identickým postupem. Hvězdárna Valašské Meziříčí.**

Předpokládáme, že v následující etapě testování identifikujeme další faktory, které kvalitu analyzovaných dat a vlastní analýzu ovlivňují a budeme se snažit najít metody, které v co největší míře negativní dopady na výsledky popsatelným a funkčním způsobem eliminují.

### 3. TESTOVÁNÍ SOFTWARE A VÝSLEDKY

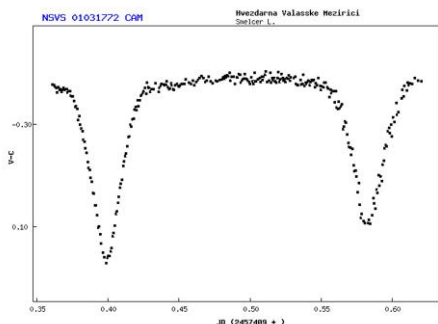
První etapa testování měla dvě fáze. V první z nich jsme potřebovali prověřit principiální funkčnost, tedy, zda je program schopen analyzovat změnu toku detekovaného záření, ve druhé etapě jsme provedli testy na reálných vybraných sériích chromosférických erupcí.

#### 3.1. Základní test funkčnosti

Základní test jsme provedli na dobře zdokumentované a analyzované sérii dat, která pochází z jiného observačního programu na Hvězdárně Valašské Meziříčí, a to na sérii snímků proměnné hvězdy z programu CCD fotometrie proměnných hvězd.

Software jsme testovali na sérii snímků hvězdy NSVS 01031772 Cam z noci z 21. na 22. 1. 2016. Analyzované snímky byly pořízeny v časovém intervalu od 20:40:02 do 02:57:58 UT v červeném filtru R.

Na obrázku č. 2 vidíme standardní fotometrickou křivku, tedy změnu jasnosti hvězdy v čase. Na obrázku č. 3 vidíme výslednou „fotometrickou křivku“ pořízenou jen prostou analýzou v popisovaném programu Sluneční fotometrie 0.1. Na snímku č. 4 je superpozice obou křivek.



Obrázek 2. Standardní fotometrická křivka proměnné hvězdy NSVS 01031772 Cam.

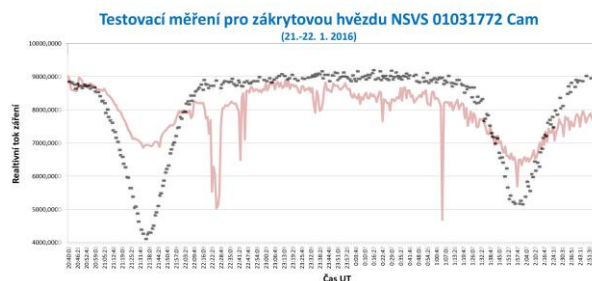


Obrázek 3. Výsledky proměření stejných snímků proměnné hvězdy NSVS 01031772 Cam pomocí programu Sluneční fotometrie 0.1. Pro měření byly použity pouze údaje o samotné hvězdě a ty nebyly srovnávány s žádnými dalšími objekty na snímku.

Snímky byly standardním způsobem kalibrovány, registrovány, byly odstraněny viditelně problematické snímky (pohnutí s montáží, oblačnost apod.) a zpracovány v programu.

Námi analyzovaná křivka vypadá jinak než fotometrická křivka „zákrytářů“, což je dáno skutečností, že při našem měření jsme nevyužívali žádné srovnání se srovnávacími hvězdami a žádné korekce a přepočty. Jedná se pouze o měření plošného toku ve vybrané „fotometrické clonce“ s proměnnou hvězdou. Projevují se tam všechny nedostatky primárních dat (rozostření, mraky, další defekty související s montáží apod.).

Pokud však proložíme obě křivky přes sebe, zjistíme, že shoda jak v trendech, tak v čase je velmi dobrá. Obě proložené křivky jsou zobrazeny na obrázku č. 4. Celkový pokles námi naměřené křivky (červená křivka) je dán snižující se výškou hvězdy nad obzorem. Prudké výkyvy na naší křivce jsou dány různými faktory na snímcích (zejména chyby montáže, vysoká oblačnost – kondenzační stopy letadel aj.).



Obrázek 4. Porovnání standardní světelné křivky zákrytovou hvězdu NSVS 01031772 Cam s měřením plošného toku záření pomocí programu Sluneční fotometrie 0.1. Shoda v trendech a jejich časovém výskytu je velmi dobrá.

Tento test dopadl z našeho pohledu dobře a program měří změnu plošných toků záření sledovaných objektů na snímacím prvku podle zadání a správně.

#### 3.2. Testy měření na snímcích chromosféry

Další skupina testů byla prováděna na reálných datech slunečních pozorování. Do tohoto příspěvku zařazujeme a diskutujeme, s ohledem na rozsah příspěvku, jen dvě testovaná měření.

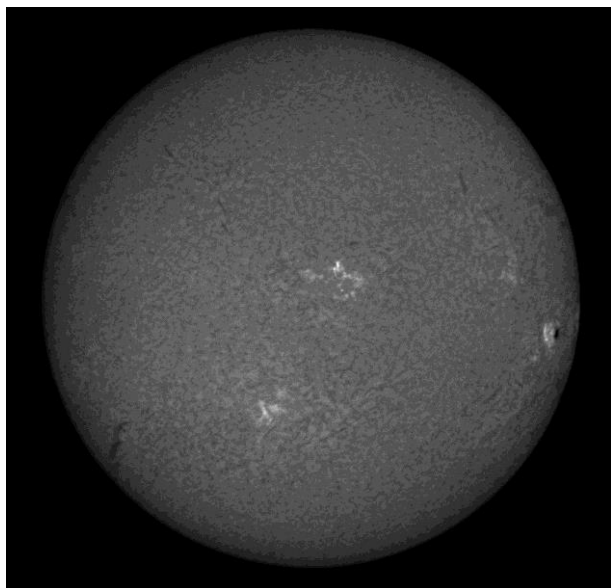
Záměrně jsme pro první testování vybrali dva možné základní typy datových sad v podobě snímků sluneční chromosféry. První série byla pořízena synoptickým chromosférickým dalekohledem na observační plošině a druhá detailním chromosférickým dalekohledem v kopuli odborného pracoviště Hvězdárny Valašské Meziříčí [6].

##### 3.2.1. Analýza z celkových snímků

Z archivu byla vybrána obrazová data ze dne 13. 7. 2014 v čase od 09:15:56 do 10:28:50 UT. Byla analyzována konečná část erupce v aktivní oblasti NOAA 12109 o mohutnosti C6.4, lokalizace S08W65.

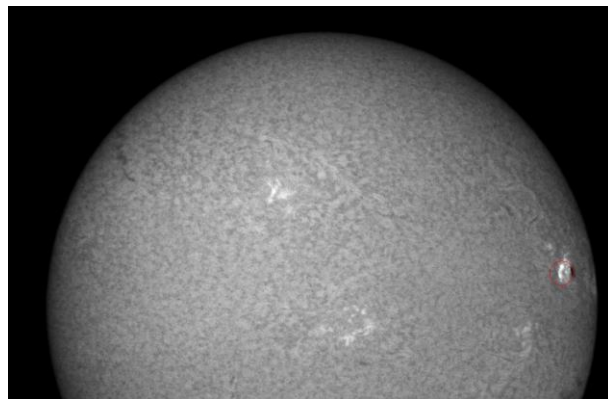
Celkový vzhled chromosféry Slunce a rozložení aktivních oblastí je dobře patrný na obrázku č. 5. Analyzována byla konečná fáze erupce na západní části

slunečního disku (na snímku vpravo). Ve stejné době došlo k malé erupci i nedaleko středu disku, ta byla také analyzována, ale není v této práci popsána.

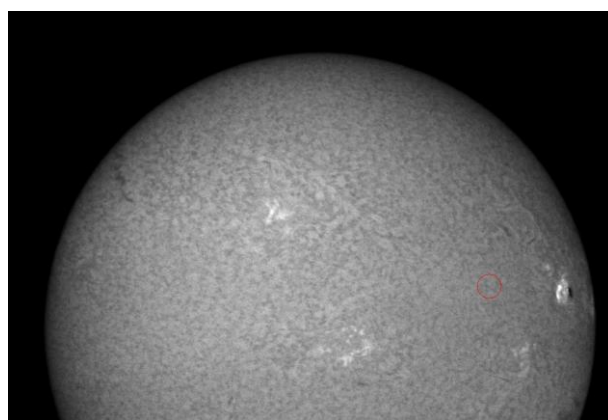


Obrázek 5. Celkový vzhled chromosféry dne 13. 7. 2014 v 10:01:02 UT. Analyzována byla konečná fáze malé erupce na západním okraji disku (vpravo).

Pozice vybrané clonky pro měření toku záření je dobře patrná na obrázku č. 6, kde je červeným kolečkem vyznačena oblast, ve které byl tok měřen a analyzován. Kromě základního měření toku záření přepočteného na standardní jednotku času na pixel jsme provedli také základní normalizaci dat prostou metodou. Normalizace byla provedena následovně. Z měření toku vybraného pozadí (viz obrázek č. 7) jsme spočetli průměr. Vyšli jsme ze zjednodušeného předpokladu, že jasnost pozadí (vůči kterému „kalibrujeme“) se nemění změnou intenzity záření ve vybrané části chromosféry, ale pouze jinými vlivy (oblačnost, seeing apod.). Tento předpoklad má jistá omezení.

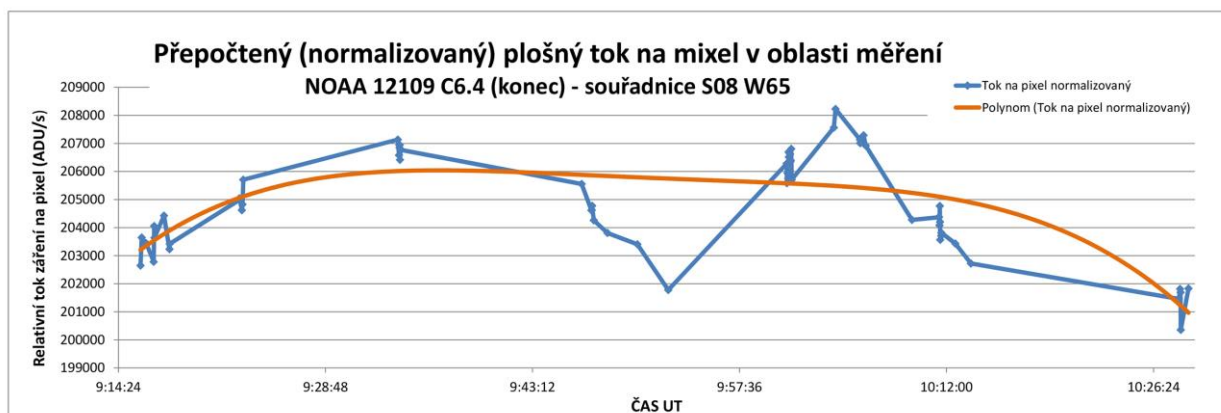


Obrázek 6. Označení výběru clonky pro měření toků záření z erupce. Červené kolečko vymezuje oblast, ve které jsou vyčítány a analyzovány pixely.

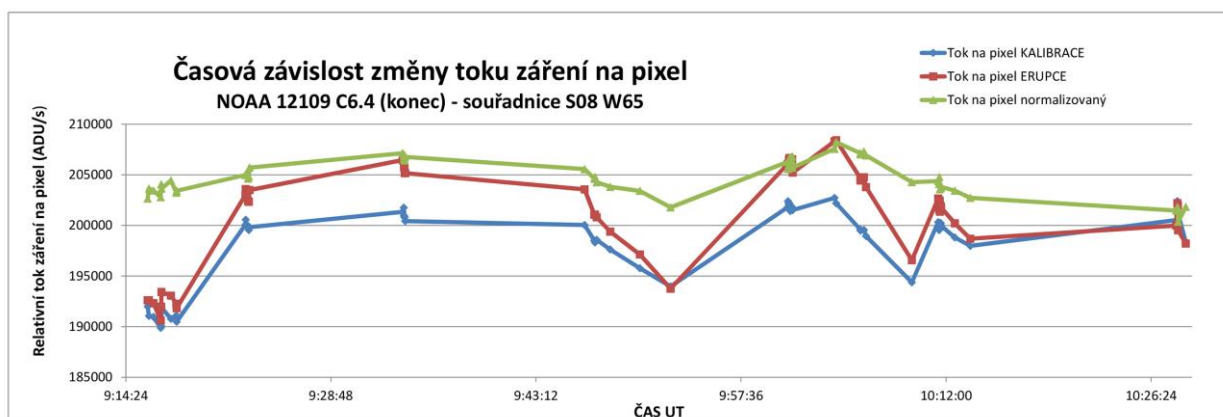


Obrázek 7. Označení výběru clonky pro měření toků záření z pozadí – vybrané oblasti klidné chromosféry.

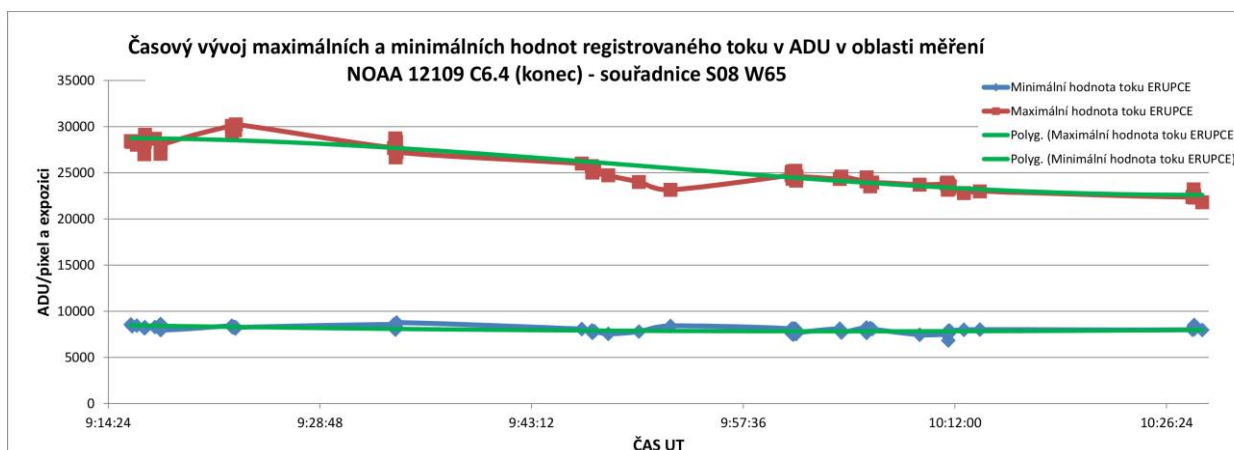
Výsledky provedených měření jsou v grafické podobě uvedeny na obrázcích číslo 8 až 10.



Obrázek 8. Normalizované hodnoty toku na jeden pixel za sekundu (ADU/s) pro závěrečnou fázi erupce v aktivní oblasti NOAA 12109 - erupce o mohutnosti C6.4. Jedná se o záznam relativně delšího období více jak 70 minut. Graf normalizovaného toku záření z erupce včetně zobrazeného trendu neodpovídá zcela předpokladu (postupnému poklesu intenzity) a ve svém počátku je ovlivněn jinými faktory. Právě na identifikaci a analýze těchto faktorů pracujeme v druhé etapě testování programu.



Obrázek 9. V tomto grafu jsou společně zobrazeny tři křivky změny toku záření v erupci v čase (identická data jako v grafu na obrázku č. 8). Kromě již samostatně uvedeného normalizovaného toku, jsou zde zobrazeny i primární veličiny toku na pixel v erupci a toku na pixel v oblasti vybrané pro kalibraci. V obou případech je patrné značné rozkollísání křivky, jehož původ s největší pravděpodobností nesouvisí se změnami v aktivní oblasti.



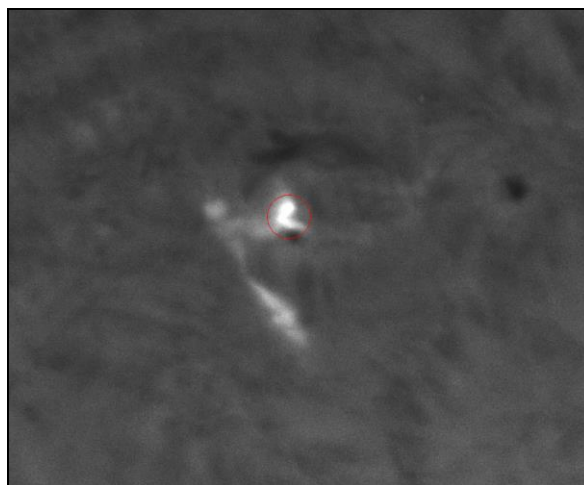
Obrázek 10. Tento graf zobrazuje stejné období jako ve dvou předchozích, ale jsou v něm zobrazeny nikoliv hodnoty toku v ADU/s pro oblasti výběru s erupcí, ale maximální (červená křivka) a minimální (modrá křivka) hodnoty ADU (vztaheno k expozičnímu času) ve výběru („fotometrické clonce“) včetně trendů. Minimální hodnoty jsou prakticky konstantní s šumem, maximální hodnoty klesají v souvislosti s končícím zjasněním v erupci.

### 3.2.2. Analýza detailních snímků

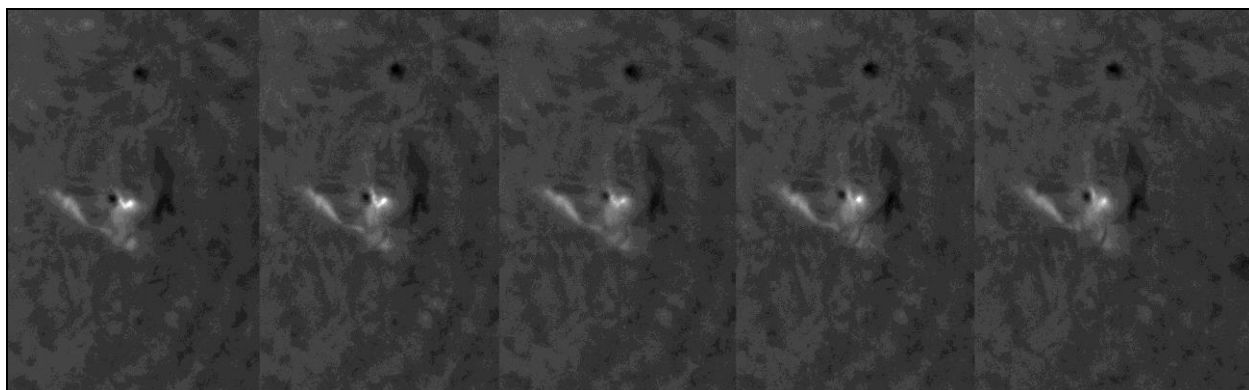
Pro analýzu vybraných detailních snímků jsme si vybrali naopak výrazně kratší časovou sérii konce erupce od 8:26:09 do 8:27:45 UT v aktivní oblasti NOAA 12322 - NOAA 12322 - erupce C4.7 (max-08:21 UT) - souřadnice N14 E12.

U detailních snímků byla použita identická metodika přípravy obrazových dat a jejich analýzy, včetně exportu a grafického zobrazení výsledků. V případě detailního pozorování jsme zvolili pro analýzu a testy menší erupci v aktivní oblasti dále od okraje slunečního disku a měření provedli v relativně menší clonce umístěné na výraznějším zjasnění erupčního vlákna – viz obrázek č. 11.

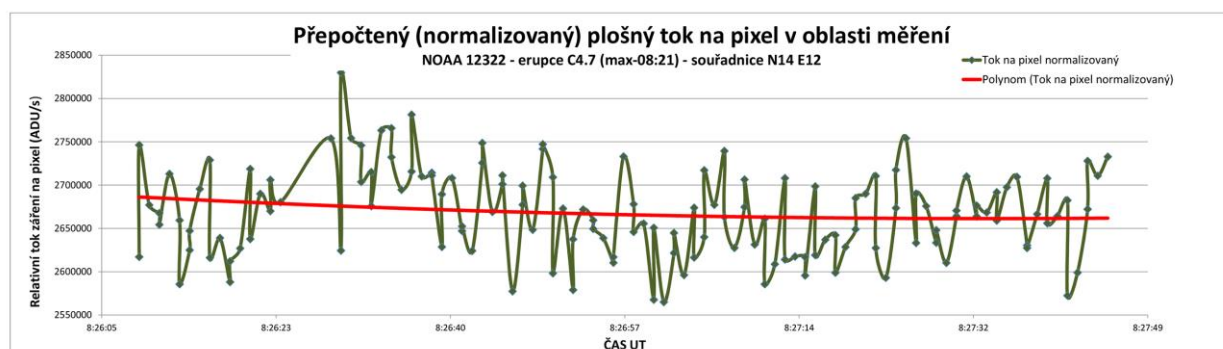
Celá série nebyla zcela dokonale kalibrována (výskyt interferenčních kroužků) a ukázky z celého intervalu, z něhož byly snímky analyzovány, jsou zobrazeny na obrázku č. 12.



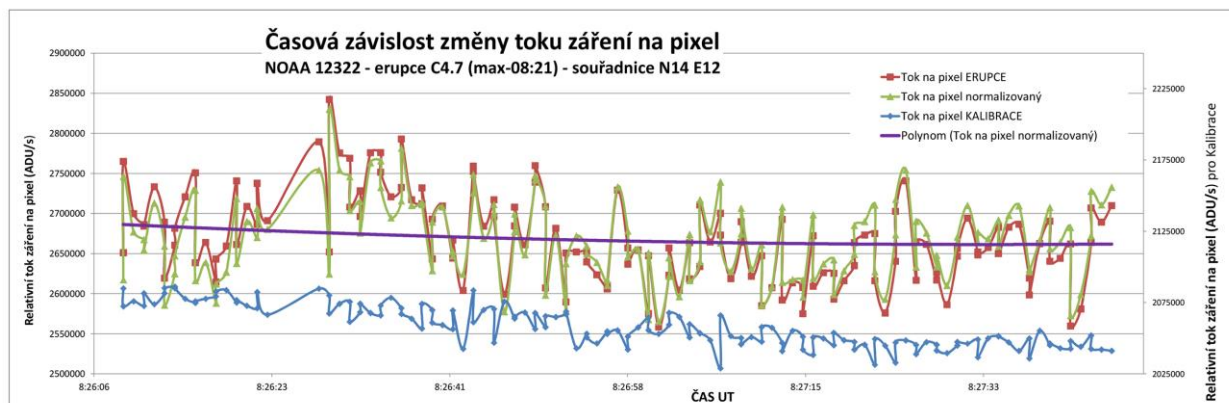
Obrázek 11. Označení výběru clonky pro měření toků záření z pozadí – vybrané oblasti klidné chromosféry.



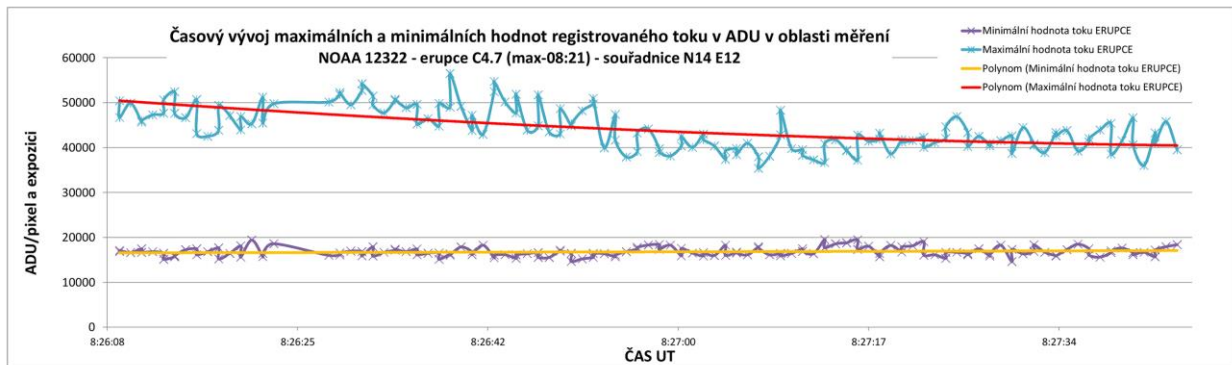
Obrázek č. 12. Série snímků malé erupce ze dne 13. 4. 2015 v aktivní oblasti NOAA 12322. Snímky byly pořízeny v čase od 08:26:18 do 08:27:43 UT. Snímky jsou otočeny vůči své orientaci na disku (západ je nahoře, sever vlevo). Hvězdárna Valašské Meziříčí.



Obrázek 13. Normalizované hodnoty toku na jeden pixel za sekundu (ADU/s) pro závěrečnou fázi erupce v aktivní oblasti NOAA 12322 - erupce o mohutnosti C4.7. Je dobře patrné „zašumění“ dat způsobené seeingem, ale také jednoznačný trend postupného poklesu toku záření na jeden pixel ve vybrané oblasti (viz obrázek č. 11). Je důležité si uvědomit, že uvedený graf pokrývá velmi krátký časový úsek od 8:26:09 do 8:27:45 UT. Jde tedy o primární data s velmi vysokou kadencí. Tomu odpovídají i chyby měření a šum.



Obrázek 14. V tomto grafu jsou zobrazeny tři křivky změny toku záření v čase (identická data jako v grafu na obrázku č. 13). Kromě již samostatně uvedeného normalizovaného toku, jsou zde zobrazeny i primární veličiny toku na pixel v erupci a toku na pixel v oblasti vybrané pro kalibraci.



Obrázek 15. Tento graf zobrazuje stejné období jako ve dvou předchozích, ale jsou v něm zobrazeny nikoliv hodnoty toku v ADU/s pro oblasti výběru s erupcí, ale maximální (světle modrá křivka) a minimální (fialová křivka) hodnoty ADU (vztaženo k expozičnímu času) ve výběru („fotometrické clonce“). Minimální hodnoty jsou prakticky konstantní s šumem, maximální hodnoty klesají v souvislosti s končícím zjasněním v erupci.

Druhá prezentovaná sada zpracovaných dat reprezentuje velmi krátké období řádově necelých dvou minut. Přesto jsou v grafech dobře patrné základní trendy změn toku záření, které se dají v průběhu erupcí předpokládat. Tedy v konečné fázi odeznívá zjasnění a celkový tok záření se v oblasti vrací na přerušovací úroveň.

### 3.3. Poznatky z první etapy testů

Jak už bylo výše zmíněno, zpracovali jsme do současné doby více měření, které jsme však s ohledem na rozsah a zaměření příspěvku neprezentovali. Díky nim však získáváme cenné zkušenosti, které postupně zúročujeme v úpravách softwaru a zejména v metodice přípravy a zpracování obrazových dat.

Výše uvedená dvě analyzovaná pozorování ukazují hlavní problémy, se kterými jsme se museli potýkat a jejichž uspokojivé vyřešení nás teprve čeká. Bude nutné zejména zpracovat a podrobně analyzovat větší množství dat s úpravami metodiky, které povedou k identifikaci kritických míst analýzy a cesty k jejich eliminaci.

Na základě dosavadních zkušeností můžeme specifikovat **základní skupinu problémů**, jejichž eliminaci (v co největší míře) budeme v první fázi řešit. K těmto problémům patří:

- problém správné kalibrace primárních obrazových dat (flatfield, darkframe), důraz na kvalitní kalibraci
- vliv kvality pozorovacích podmínek v době pozorování (chvění a kontrast obrazu)
- nezbytnost co nejlepšího zaostření dalekohledu
- kontrola expoziční doby a její úprava s cílem omezit počet saturovaných pixelů v oblasti zjasnění
- nezbytnost kvalitní registrace snímků a jejich kontrola s cílem odstranit defektní a nepoužitelné snímky
- rozsah platnosti předpokladu (v závislosti na výběru) pro kalibrace, tedy že tok záření

v kalibrační oblasti považujeme po celou dobu pozorování za konstantní; zatím je tento předpoklad kontrolován jen subjektivně při přípravě dat.

Samozřejmě důležité jsou a budou také kvalitní pozorovací podmínky, což je v posledních letech stále větší problém. Zejména díky houstnoucí letecké dopravě a vznikajícím kondenzačním stopám ve vysoké atmosféře, které pozorování nepřiliš nápadně, ale značně ovlivňují.

Chceme také vyzkoušet vliv ostrosti obrazu na výsledné měření toků záření, a to proto, že v mnoha dnech jsou pozorovací podmínky natolik špatné, že je otázkou, zda má vůbec smysl pozorovat a pořizovat obrazové záznamy. Pokud se ukáže, že z pohledu měření toků jsou i tato data akceptovatelná, bude přijatelné provádět snímkování i v poněkud horších podmínkách.

## 4. VÝHODY A NEVÝHODY ŘEŠENÍ

**Výhodou** realizovaného řešení je jeho dostupnost, možnost zasahovat do samotného programu, rozšiřovat jeho funkce, případně upravovat algoritmy včetně uživatelského rozhraní. Další výhodou je jednoduché a intuitivní ovládání, které zvládne i mírně poučený laik. To je výhodné zejména proto, že s tímto nástrojem mohou pracovat také poučení externí zájemci a spolupracovníci. Z dosavadních testů a zkoušek vyplývá, že předpokládané zadání program splňuje a po menších úpravách a drobných opravách bude schopen splnit původně požadované parametry.

Mezi **nevýhodou** můžeme zařadit nutnost náročnějšího předzpracování obrazových dat, zejména jejich co nejpřesnější registraci s použitím volně dostupných programů. S ohledem na náročnost absolutní kalibrace se jedná o metodu, která nám poskytuje jen hodnotu relativní změny toku v čase (včetně artefaktů a falešných signálů způsobených

jinými faktory než je změna toku záření v chromosférické erupci).

Obecně je problematika „fotometrie“ plošných objektů velmi náročná a měření ovlivňuje celá řada externích a mnohdy stěží ovlivnitelných a predikovatelných faktorů. To bude v budoucnu klást velké nároky na kvalitní metodiku, její dodržování a také pečlivost a pozornost pracovníků využívajících tento softwarový nástroj.

## 5. ZÁVĚR

Můžeme konstatovat, že vytvořený program Sluneční fotometrie 0.1 je v první fázi svého testování hodnocen jako uspokojivý a perspektivní. Před jeho běžným použitím nás ještě čekají další dvě fáze testování s cílem ověřit funkčnost programu a relevantnost jeho výsledků (porovnáním s jinými zdroji srovnatelných dat) a dokončit vývoj jeho základní verze 0.1 na verzi 1.0. Po otestování této základní verze bychom chtěli přikročit k jeho rutinnímu používání s cílem zpracovat touto metodou veškerá dostupná a vhodná pozorování chromosférických erupcí pořizena na Hvězdárně Valašské Meziříčí.

## LITERATURA

- HEINZEL, Petr. Sluneční erupce. *Pozorování Slunce / Pozorovanie Slnka: Odborné články*. [online]. 30.12.2013 [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.pozorovanislunce.eu/odborne-clanky/slunecni-erupce.html>
- LENŽA, Libor, SRBA, Jiří, GREGOROVÁ, Bára, EXNEROVÁ, Martina, LENŽOVÁ, Naděžda. 2014. Pozorování erupcí v emisních čarách a jejich zpracování. *Zborník referátov z 22. celoštátneho 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/slnsem/22css/38w.pdf>
- LENŽA, Libor, BENÁČEK, Jan. Softwarový nástroj – Sluneční fotometrie verze 0.1. *Zborník referátov z 23. celoštátneho slnečného seminára 2016*, SÚH Hurbanovo. V tisku.
- 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>
- Technické vybavení. *Hvězdárna Valašské Meziříčí: Odborná činnost*. [online]. © 2015 [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.astrovm.cz/cz/odborna-cinnost/technicke-vybaveni.html>