

OBSAH

1. Úvod.....	3
2. Základy astrofotografie	4
Význam a metody správného zaostření.....	4
Střádání světla.....	6
Pointace na objekt.....	6
3. Digitální snímače obrazu	7
Formáty digitálních snímačů obrazu.....	9
Šum digitálních snímačů obrazu.....	10
4. Přístroje pro digitální astrofotografii	12
Astrofotografie pomocí digitálního fotoaparátu.....	13
Astrofotografie pomocí kamery.....	16
5. Další pomůcky digitální astrofotografie	20
Autoguidery.....	20
Elektronicky řízené montáže.....	21
6. Rozdělení digitální astrofotografie	22
Širokoúhlá astrofotografie.....	22
Astrofotografie s teleobjektivem.....	23
Astrofotografie v primárním ohnisku kratšího dalekohledu.....	23
Astrofotografie s dlouhoohniskovým dalekohledem.....	24
7. Základy následného zpracování	25
Aplikace opravných snímků.....	25
Matematické skládání snímků.....	25
Tvorba mozaiky.....	26
Zmenšování snímků.....	27

8. Příklady vhodného freeware	29
Registax	29
Deep sky stacker	30
Startrails	31
Foto2avi	31
Astrofotografické výpočty	32
9. Praktické ukázky	33
Pohyb oblohy z pevného fotoaparátu	34
Měsíc v různých fázích pomocí dalekohledu	35
Popelavý svit Měsíce	36
Mozaika Měsíce pomocí DSLR	37
Detaily Měsíce složené do mozaiky	38
Jupiter pomocí CCTV a dlouhoohniskového dalekohledu	40
Pohyb komety na hvězdném pozadí	41
Kometa Holmes na dva způsoby	42
Detaily ve sluneční fotosféře	43
Fotografie letadla přelétajícího před slunečním diskem	44
Mozaika přeložených snímků při prstencovém zatmění Slunce	45
Přechod Venuše přes Sluneční disk 2004	46
Detaily sluneční chromosféry	47
Mozaika Mléčné dráhy	48
10. Glossář	50
11. Závěr	53
Seznam zdrojů	54

1. ÚVOD

Astronomická fotografie je stará již přes sto let, kdy byla vyvinuta suchá fotografická emulze. Tím se astrofotografie výrazně zjednodušila. S využitím fotografie udělala astronomie obrovský krok kupředu. Postupem let astronomická fotografie pronikla snad do všech astronomických odvětví a byla pro ně přínosem. Z počátku byla astrofotografie výsadou profesionálů, ovšem postupem času se stala velmi oblíbenou i v řadách amatérů.

S digitální astrofotografií to bylo podobné. První elektronické detektory obrazu použitelné pro aplikace v astronomii byly tak drahé, že si je mohli dovolit jen některá profesionální pracoviště. Postupem času došlo k rozšíření těchto přístrojů a jejich ceny klesly na úroveň přijatelnou i pro amatéry.

Samozřejmě v současné době jsou jedny z nejkvalitnějších elektronických detektorů používány v astronomických aplikacích, ovšem ceny těchto zařízení jsou taktéž astronomické. Cílem této práce je popsat možné činnosti s jednoduššími přístroji, dostupnými na běžném trhu. Právě tento druh přístrojů je hojně využíván současnými astronomy – amatéry.

2. ZÁKLADY ASTROFOTOGRAFIE

VÝZNAM A METODY SPRÁVNÉHO ZAOŠTŘENÍ

Jedním ze základních a nutných předpokladů při astrofotografii je úspěchu je správné zaostření. Je přitom jedno, zda se jedná o astrofotografii pořízenou pomocí digitálního fotoaparátu, či kamery.

Zřejmě nejbližšími objekty snímanými při astrofotografii jsou meteory, světelné stopy po drobných tělíscích meziplanetární hmoty, zanikajících v horních vrstvách atmosféry. Jejich vzdálenost se může běžně pohybovat od 50 km do několika set kilometrů. U naprosté většiny optických soustav je již tato vzdálenost považována za vzdálenost nekonečnou. K dalším blízkým, astrofotograficky zajímavým objektům patří družice na oběžné dráze Země. Všechny ostatní objekty jsou v takových vzdálenostech, že i poměr mezi vzdáleností meteorů a družic a těchto objektů je nepředstavitelný.

Z toho důvodu má pro astrofotografii význam jediné zaostření, a to zaostření na nekonečno. Až na výjimky však není možné vyrobit k astrofotografii tzv. *fixfokus*, čili optickou soustavu zaostřenou na nekonečno bez možnosti přeostršení. Takový fotoaparát by poskytoval ostré fotografie pouze v určitém rozsahu teplot, jinak by byl rozostřen vlivem tepelné roztažnosti. Navíc by byl použitelný pouze k fotografování oblohy a vzdálených pozemských objektů. Takový druh fotoaparátů se vyskytuje pouze v nejlevnějších a nejjednodušších případech, jako jsou například dětské fotoaparáty, některé fotoaparáty v mobilních telefonech atd. Všechny běžné fotoaparáty, respektive jejich objektivy, i astronomické dalekohledy mají ostřicí mechanismy.

U zaostřování DSLR je nejjednodušší způsob zaostření podle matnice v hledáčku fotoaparátu. Bohužel je tato metoda také nejméně přesná a eventuální správné zaostření je spíše dílem náhody, než výsledkem cílevědomého snažení. Obraz na matnici je totiž příliš malý a matnice není dostatečně jemná, aby bylo možné jednoznačně rozeznat, kdy jsou hvězdy bodové a kdy ještě ne. Poněkud lepší práce může být s matnicemi opatřenými ostřicími klíny, ovšem jich se nechá použít pouze u plošných objektů, jako jsou Měsíc, Slunce atd.

Lepší výsledky poskytuje zaostření optické soustavy pomocí stupnice, jak je to známé například z ručně ostřených fotografických objektivů. Jejich stupnice je ovšem příliš hrubá a k přesnému zaostření se nehodí. Dalekohledy, které jsou vyráběny jako fotografické, většinou mají na svém ostření určitý druh hrubší, či přesnější stupnice. V případě použití fotogra-

fických objektivů či dalekohledů nevybavených stupnicí je možné celkem jednoduchou a přesnou stupnici vyrobit například z proužku milimetrového papíru. Taková stupnice pak umožňuje opakované nastavení ostřicího mechanismu do stejné polohy. Pokud je tedy jednou známa poloha ohniska při zaostření na nekonečno, stačí ji na stupnici poznačit a kdykoli se k ní vrátit. Je ovšem třeba mít na paměti, že u systémů s delší ohniskovou vzdáleností se může vlivem tepelné roztažnosti poloha ohniska se změnou teploty měnit. Pokud je navíc v ostřicím mechanismu vůle, je nutné posouvat se k značce na stupnici vždy ze směru, z jakého se ostřicí mechanismus posouval při hledání značky, jinak by se tato vůle v ostření projevila.

Ostření pomocí stupnice je také značně nepraktické u dalekohledů typu SCT, MC a podobných. Jejich ostřicí mechanismus bývá ovládán ostřicím šroubem, který je možné v průběhu přeostrřování otočit vícekrát, a tak by musela být stupnice opatřena navíc i počítadlem otáček šroubu, nebo by sloužila jen jako pomůcka pro relativní odečet pootočení šroubu v rámci jedné otočky. I to ovšem může být užitečné například při zaostřování metodou pokusných expozic, při níž je vhodná poloha roviny snímáče zjišťována fotografováním krátkých expozic například jasné hvězdy tak, že po každé expozici jemně přeostrříme. Porovnáváním ostrostí lze najít docela přesně nejlepší zaostření. Stupnice v tomto případě pomáhá při odhadování kroku, po kterém fotografujeme zkušební snímky, a dále také pro možnost dostatečně přesného návratu k některé z předchozích poloh.

Velmi praktickou metodou zaostřování je tzv. *parfokalizovaný okulár*, neboli okulár se se-souhlaseným ohniskem. Většinou jde o relativně levný krátkoohniskový okulár, na jehož optické kvalitě nepříliš záleží. Při parfokalizování okuláru je nutné nejdříve co nejdokonaleji zaostřit fotoaparát (některou z metod), pak jej sejmout z dalekohledu a nahradit ho okulárem. Na barel¹ okuláru bývá nasazen tzv. *parfokalizační kroužek*. Posunem volného okuláru v pevném okulárovém výtahu je třeba okulár zaostřit a pak ho v této poloze zajistit parfokalizačním kroužkem. Pokud je parfokalizační kroužek dostatečně pevně zajištěn tak, aby se neposunul, je možné kdykoli zasunout okulár do výtahu a rychle a přesně zaostřit. Když je pak okulár nahrazen fotoaparátem, je i fotoaparát zaostřen.

Zajímavou metodou je využití tzv. *Hartmannovy masky*. Je to deska, která se vkládá před objektiv a v níž jsou zpravidla tři otvory rozmístěny tak, aby propouštěly světlo nikoli středovou částí objektivu, ale jeho okrajovými partiemi. Otvory bývají rozmístěny po obvodu po 120°. *Hartmannova maska* způsobuje, že při rozostření se nevytváří z každého bodového

¹ Barel je označení pro válcovou část okuláru, za kterou je okulár uchycován v okulárovém výtahu. Nejběžnější průměry barelů jsou 1,25" a 2".

zdroje neostré kolo, ale tři menší neostrá kolečka, ve stejné konfiguraci, jako jsou rozmístěny otvory na desce. To napomáhá ostření tím, že při zaostření se hvězdy jeví jako bodové a při nepatrném rozostření se již z bodů začínají vytvářet trojúhelníčky, které jsou snáze odlišitelné od bodů než drobná neostrá kolečka. Je nutné mít na paměti, že *Hartmannovu masku* je potřeba před začátkem fotografování z objektivu sundat, protože by zbytečně ubírala mnoho světla vstupujícího do soustavy a značně by prodlužovala expozici.

Metodu Hartmannovy masky je možné kombinovat s jakoukoli předchozí metodou.

STRÁDÁNÍ SVĚTLA

Fotoaparáty dokáží něco, co lidský zrak nedokáže, a to akumulovat světlo po delší dobu a zachytit tak i slabé objekty. Zřejmě proto jsou fotografie nebeských objektů tak líbivé, protože je na nich většinou zachyceno něco, co pouhým zrakem nedokážeme nikdy zaznamenat. Lidské oko dokáže exponovat pouze několik setin sekundy², což je v porovnání s fotoaparáty, umožňující i mnohaminutové, či hodinové expozice, omezené hlavně jasnem oblohy. Ohromná výhoda astrofotografie je také možnost pořizování barevných fotografií. Lidský zrak vnímá pomocí dvou druhů fotocitlivých buněk, tyčinek zachycujících jen odstíny a čípků reagujících na barvy. Čípky ovšem nejsou tak citlivé jako tyčinky, a tak je jejich funkce omezena tmavostí scény. Při velmi nízkých hladinách osvětlení je lidský zrak jen černobílý a to je právě případ většiny vesmírných objektů, které prostě nejsou natolik jasné, aby byly viditelné barevně.

POINTACE NA OBJEKT

Aby mohl vzniknout ostrý snímek, je nutné, aby se fotografovaný objekt v průběhu expozice neposunul v zorném poli fotoaparátu. Z toho důvodu je důležité, aby byl vždy fotografický přístroj naváděn za fotografovaným objektem, a to co nejpřesněji. Výjimkou jsou fotografie, kde je rozmáznutí účelné, například fotografie typu „*startrails*“, nebo fotografie objektů tak jasných, že pro jejich nafotografování stačí expozice tak krátké, že se pohyb oblohy nestihne viditelně projevit.

Pointace může být zajištěna několika způsoby, od běžné rovníkové montáže s pohonem hodinové osy, přes rovníkovou montáž určenou pro fotografování, vybavenou elektronickou korekcí *periodické chyby*, až po elektronické autoguidery přesně navádějící montáž za objektem v obou osách. Nároky na úroveň pointace závisí hlavně na délce expozice a na úhlové velikosti obrazu zobrazeného jedním pixelem snímače.

² O trénovaných pozorovateli deep-sky objektů se někdy tvrdí, že dokáží zklidnit svůj zrak natolik, že jejich oči několikrát prodlouží tento expoziční čas.

3. DIGITÁLNÍ SNÍMAČE OBRAZU

V klasických filmových fotoaparátech bylo možné používat různé druhy filmů s různými vlastnostmi a měnit je podle potřeby. Bylo tedy možné zvolit fotomateriál s velkým dynamickým rozsahem, s věrným podáním barev, citlivý i málo citlivý atd. A díky tomu mohl jeden fotoaparát podávat velmi různorodé výsledky.

Digitální fotoaparáty jsou o tuto variabilitu ochuzeny, protože snímače obrazu jsou v nich pevně instalovány a jejich parametry nejde upravovat výměnou za vhodnější typ. Z toho důvodu je obrazový snímač skutečným srdcem digitálního fotoaparátu. Při výběru fotoaparátu pro astrofotografii je nutné se soustředit právě na vlastnosti obrazového snímače.

Prvním z častých omylů je tzv. honba za megapixely, neboli snaha preferovat fotoaparáty s největším množstvím pixelů na snímači. To je mnohdy spíše komerční tah výrobce, protože s rostoucím počtem pixelů na konstantní ploše klesá jejich plocha a tím pádem i citlivost. Navíc větší hustota obrazových elementů na jednotce plochy má význam jen při použití adekvátně kvalitní optiky, pokrývající svým rozlišením rozlišení snímače. Z toho plyne vyšší cenová náročnost při použití „*high-end*“ objektivů. U levnější optiky s nižším rozlišením budou fotografie vždy rozostřeny, protože „*spot*“, neboli *Airyho disk* zaostřeného objektivu je několika-násobně větší, než rozměr pixelu na snímači. Nabízí se pak otázka, zda surová data některých fotoaparátů, tzv. *RAW* soubory jsou skutečně surové informace ze snímače, či zda byly již nějak upraveny ve fotoaparátu a nějakým způsobem doostřeny. Z fotoaparátů by v takové situaci byly „černé skříňky“, dělající s obrazem něco, co uživatel nezjistí, a při zpracování vlivy těchto úprav nemůže nijak eliminovat. Tím se v procesu zpracování vyskytují neznámé, které mohou na výsledném obrazu zanechat značný vliv. Navíc rozlišení objektivů nebývá po celé ploše snímku stejné, ale je nejvyšší u středu a k okrajům zorného pole se zhoršuje. Při použití snímače s nižším rozlišením vychází celý snímek stejnoměrnější a „plošší“, ovšem při použití snímače s menšími pixely a stejným objektivem se mohou výrazněji projevit rozdíly mezi kvalitou obrazu uprostřed a na okraji.

Dalším omezením je fakt, že u delších ohniskových vzdáleností se začíná projevovat vliv seeingu, který i při použití kvalitní optiky rozmazává bodové obrazy hvězd do větších plošek. V obou případech, při nedoostření vlivem rozlišení optiky i při nedoostření vlivem seeingu je často vhodné využít tzv. „*softwarového binningu*“, což je funkce matematického sloučení čtvercového pole 2×2 , nebo i 3×3 pixelů. Tím se sníží šum a klesne rozlišení výsledného obrazu. Mluvíme pak o *binningu* 2×2 a *binningu* 3×3 . U profesionálních astronomických

CCD kamer je možné využít i hardwarového binningu, který je výhodnější v tom, že náboje vzniklé na jednotlivých pixelech pole 2×2 nebo 3×3 jsou sloučeny ještě před digitalizací na výstupu z CCD snímače. To má výhodu v tom, že na A/D převodníku je již digitalizován silnější sloučený signál a je vyšší šance na digitalizování i slabých obrazových informací, které by se při digitalizaci signálu z jednoho pixelu nedostaly ani přes nejnižší úroveň převodníku a při digitalizaci by se ztratily. Zde se projevuje nevýhoda *softwarového binningu*, který v obraze nedokáže zachovat nejslabší informace, které jsou mnohdy při astrofotografii důležité. Jediným řešením je bohužel nákup finančně nákladné CCD kamery. *Softwarový binning* je tedy otázkou kompromisu.

Při porovnání digitálních obrazových snímačů se širokým spektrem chemických fotografických materiálů vyznačujících se mnoha různorodými vlastnostmi je zřejmé, že digitální snímače nemohou překonat všechny klady různých druhů materiálů. Například dynamický rozsah digitálních senzorů dosahuje hodnot v řádu desítek tisíc³. Naopak barevné negativní fotografické materiály mají běžně dynamický rozsah více než milion. Dynamický rozsah je poměr mezi nejsvětlejšími a nejtmavšími prokreslenými partiemi obrazu. Právě jako reflexe na tento nedostatek se vyvinuly dnes známé fotografické techniky pro zlepšení těchto nedostatků. Nebeské objekty s velkým rozsahem jasů jsou například galaxie *M31 v Andromedě* s velmi jasným jádrem a slabými partiemi ve spirálních ramenech, nebo *Velká mlhovina M42 v Orionu* s velkým rozsahem mezi slabými a jasnými partiemi a v neposlední řadě *sluneční koróna*, viditelná při úplném zatmění Slunce, jejíž dynamika se blíží až k deseti milionům. U těchto objektů je nutné exponovat sadu snímků s rozdílnými délkami expozic, na nichž jsou vždy některé části objektu přeexponovány a některé podexponovány. V grafickém editoru je možné z jednotlivých snímků použít do výsledného obrazu pouze dobře exponované části a postupným sloučením všech částí vytvořit prokreslený obraz celého objektu s vysokým dynamickým rozsahem.

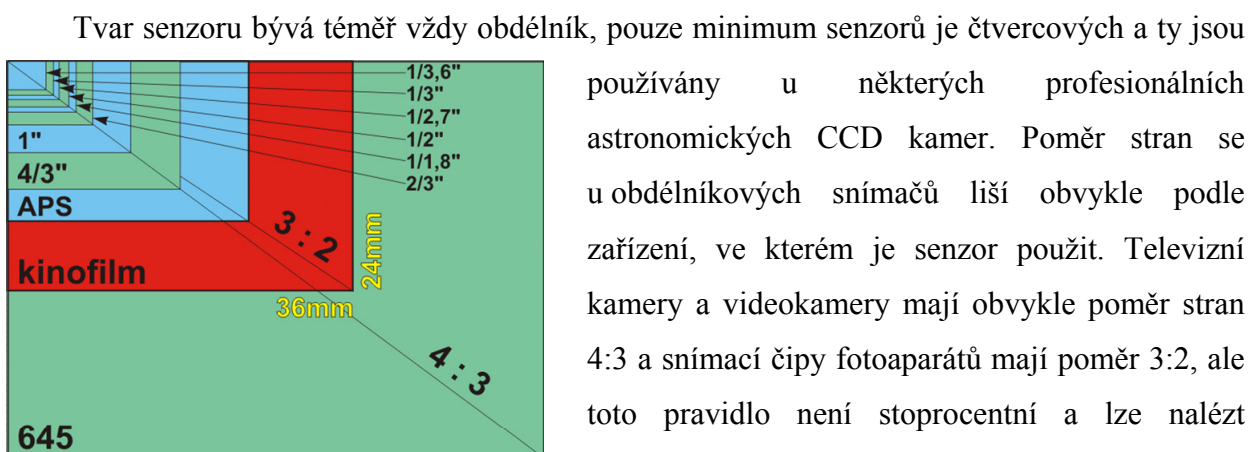
³ U profesionálních CCD čipů pro astronomické kamery se jen málokdy blíží půl milionu.

FORMÁTY DIGITÁLNÍCH SNÍMAČŮ OBRAZU

V elektronických obvodech pro snímání obrazu jsou optické senzory skládány do matic. Můžeme mluvit o senzorech lineárních a plošných, ovšem lineární senzory nemají v přístrojích vhodných pro digitální astrofotografii význam a využívají se převážně ve scannerech, čtečkách čárových kódů a podobně. Asi jediný případ, kdy by mohl být využit lineární senzor, je snímání světelného spektra na výstupu spektrografu. To je ale již záležitost ne zcela amatérského pozorování či fotografování. Ve všech ostatních případech jsou využívány senzory plošné. Jejich tvary si jsou celkem podobné, ne už tak jejich rozměry.

Tabulka 1: Formáty digitálních obrazových snímačů⁴

Název	Diagonála mm	Šířka mm	Výška mm	Poměr stran š:v
1/3,6"	5	4	3	4:3
1/3"	6	4,8	3,6	4:3
1/2,7"	6,592	5,27	3,96	4:3
1/2"	8	6,4	4,8	4:3
1/1,8"	8,933	7,176	5,319	4:3
2/3"	11	8,8	6,6	4:3
1"	16	12,8	9,6	4:3
4/3"	22,5	18	13,5	4:3
APS-C	30,1	25,1	16,7	3:2
35 mm	43,3	36	24	3:2
645	69,7	56	41,5	4:3



Obr. 1: Diagram rozměrů a formátů optických senzorů

⁴ Tabulka je převzata z internetových stránek http://cs.wikipedia.org/wiki/Digitální_fotoaparát

Tabulka 2: Velikosti senzorů DSLR⁵

Označení	<u>Rozměry</u> mm	Crop faktor	Výrobci
Full-frame	36×24	1	Canon; Nikon
APS-H	28,7×19	1,3	Canon
APS-C	23,6×15,8	1,5	Nikon; Pentan; Sony; <i>Konica Minolta</i>
APS-C	22,2×14,8	1,6	Canon
Foveon	20,7×13,8	1,7	Sigma
System 4/3	18×13,5	2	Olympus; Konak; Leica; Panasonic

Velikosti senzorů se značně liší a společně s velikostí se značně liší i plocha senzoru. To má několik důsledků. Jednak na menší čip se může vejít stejný počet pixelů jako na větší pouze v případě, že rozměry jednotlivých pixelů jsou menší, a to znamená, že mají nižší citlivost. Dalším důsledkem je rozdílnost nároků na optiku, v závislosti na ploše, respektive úhlopříčce čipu. U větších čipů musí být použita optika schopná kvalitně vykreslit větší pole.

ŠUM DIGITÁLNÍCH SNÍMAČŮ OBRAZU

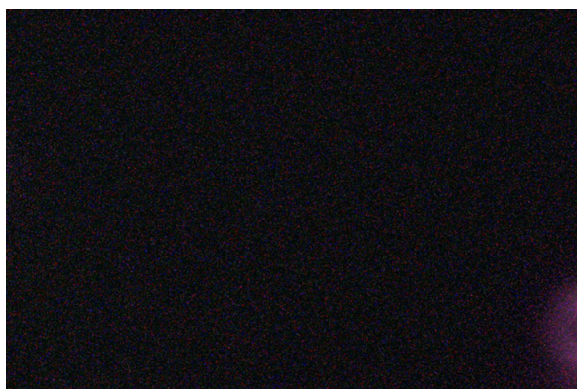
U klasických filmových fotografických materiálů bylo známo několik desítek více či méně významných efektů, které se většinou negativně projevovaly na výsledném podání obrazu a jeho odlišnosti od reality. Mezi jeden z nejznámějších jevů patřil tzv. *Svarzhildův jev*, způsobující pokles citlivosti filmu při delších expozicích. Tento jev se projevoval při delších expozicích, obvyklých právě při astrofotografii. Při použití digitálních snímačů se tento a většina ostatních jevů neprojevuje, ale bohužel se projevují jiné efekty. Obecně se říká, že jde o šumy, protože právě nejvýznamnější z těchto efektů se projevují šumem v obraze. Dalo by se říci, že jistý šum, způsobený zrnitostí fotografické emulze, měl i klasický film, ovšem tento šum byl konstantní a byl dán vlastnostmi použité chemikálie. Šum digitálních senzorů obrazu je závislý na délce expozice a postupně jeho množství roste. Navíc má celkový šum několik původců.

Skutečný šum, tedy kolísání jasnosti jednotlivých pixelů kolem skutečné hodnoty, se v obraze vyskytuje, ovšem jeho význam je jen malý. Výraznější jsou vlivy nazývané také šumy, ovšem způsobené vlastnostmi obrazových snímačů a deformujících skutečnou obrazovou informaci. Jedná se hlavně o *temný proud* a *vyčítací šum*.

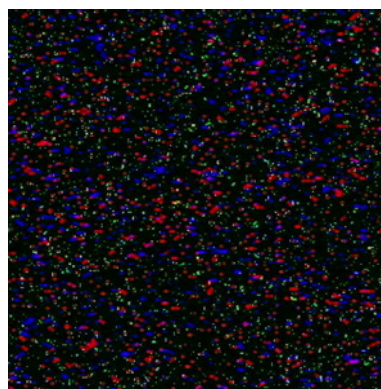
⁵ Tabulka je převzata z internetových stránek http://cs.wikipedia.org/wiki/Digitální_fotoaparát.

Temný proud je způsoben kvantovými jevy v polovodičích, které se projevují generací náboje v potenciálových jamách pixelů, i když na snímač nedopadá žádné světlo. Temný proud je závislý na teplotě snímače, s jejíž nárůstem exponenciálně přibývá. Ve výsledku tento šum pokrývá fotografie po celé ploše, ovšem ne homogenně, protože v okolí snímacích prvků bývají další elektronické obvody produkující teplo. Obvykle bývá tento šum nejvýraznější na straně snímače, kde je zesilovač výstupního signálu, což je součástka produkující mnohdy značné teplo a která musí být umístěna nedaleko obrazového snímače.

Vyčítací šum má svůj původ právě v elektronickém obvodu mezi obrazovým snímačem a A/D převodníkem. Jednotlivé náboje jsou nejdříve vyčítány ze senzoru pomocí posuvného registru, který postupně čte jednotlivé řádky ze všech sloupců snímače a zde může vytvářet deformace jednotlivých sloupců tím, že jednotlivé buňky posuvného registru mohou mít trochu odlišné vlastnosti a více či méně pozmění nábojové hodnoty vyčtené z různých sloupců. Dále jsou úrovně jednotlivých pixelů zesilovány ve výstupním zesilovači a následně digitalizovány v A/D převodníku. Pokud není zesilovač v průběhu vyčítání zcela stabilní, zesílení není konstantní a úrovně některých pixelů jsou zesilovačem nadhodnoceny a některé podhodnoceny.



Temný proud fotoaparátu Canon EOS 350D při nastavení citlivosti ISO 1600 a délce expozice 30 minut. Výrazně vyšší šum v pravém dolním rohu je způsoben blízkým výstupním zesilovačem.



Výřez 1:1 ze středu vedlejšího snímku

Obr. 2: Ukázka temného proudu.

4. PŘÍSTROJE PRO DIGITÁLNÍ ASTROFOTOGRAFII

Současná nabídka trhu nám pro účely digitální astrofotografie umožňuje používat mnoho druhů spotřební elektroniky. Masová výroba těchto přístrojů výrazně snížila cenovou náročnost digitální astrofotografie. Na druhou stranu může být pro laika obtížné orientovat se v množství různých výrobků na dnešním trhu.

ASTROFOTOGRAFIE POMOCÍ DIGITÁLNÍHO FOTOAPARÁTU

Digitální fotoaparáty se v poslední době staly silnou konkurencí klasické fotografii a postupně si nad ní vydobývají vedoucí postavení téměř ve všech odvětvích fotografie. Klasická fotografie se však nevzdávala a nevzdává lehce, což je pro běžné uživatele přínosem, a mimojiné to i umožnilo rychlejší rozšíření digitálních fotoaparátů takových vlastností, že jsou dobře použitelné i v dosti specializované a technicky náročné astrofotografii. První digitální fotoaparáty se začaly na trhu objevovat na přelomu 80. a 90. let minulého století. Jejich senzory měly pouze několik desítek tisíc pixelů, byly černobílé a měly nevalný dynamický rozsah. Relativně rychle se ale začaly zlepšovat a na trhu se objevovaly stále dokonalejší a dokonalejší modely, které se začaly přibližovat kvalitou zobrazení podřadnějším fotografickým filmům. To nezůstalo bez odezvy výrobců filmů, kteří za cenu nemalých investic do vývoje začali fotografické filmy podstatně zlepšovat. Díky tomu se kvalita chemických fotomateriálů v průběhu posledních patnácti let zlepšila mnohonásobně. Pokud například běžné fotografické emulze pro barevný negativní proces měly dříve 5–6 chemických vrstev, v současnosti jich mají i více než 30. Přesto však digitální fotografie ve většině případů nakonec klasickou chemickou cestu překonala. Významné ovšem bylo, že tato závěrečná „křeč“ klasické fotografie pozvedla běžné standardy kvality fotografie, na které jsme zvyklí a díky tomu donutila výrobce digitálních fotoaparátů vyrábět přístroje s dostatečným rozlišením, barevnou hloubkou, barevným podáním a dynamikou, která dokáže klasické fotografii konkurovat či ji dokonce překonat.

KOMPAKTNÍ FOTOAPARÁTY

Běžně známé „kompakty“ jsou ve fotografii velmi populární. Jsou koncipovány tak, aby byly snadno ovladatelné, všestranné a aby fotografie jimi pořízené byly pěkné na pohled a nebylo třeba je jakkoli dále upravovat. Bohužel tyto vlastnosti svádějí ke kompromisům a astrofotografie je značně specifický a náročný obor, kde kompaktní fotoaparáty příliš neobstojí.

Povzneseme-li se do obecné roviny použití kompaktních fotoaparátů pro astrofotografii, nalezneme některé výhody a také řadu nevýhod. Přitom se mohou mezi kompaktními fotoaparáty nabízenými na trhu objevit výjimky. Tento výčet je obecný a na trhu se objevují některé modely, které mají vhodnější specifikace. Takové fotoaparáty jsou pak v astrofotografii využitelné více. V poslední době se stále častěji objevují kompaktní fotoaparáty, umožňující fotografovi více ovlivňovat fotografický proces. Některé disponují i funkcemi známými spíše z poloprofesionálních tříd jednobokých digitálních zrcadlovek.. Bohužel napevno zabudovaný objektiv i tyto vhodnější fotoaparáty neustále omezuje pouze na využití v afokální fotografii. Případně na širokoúhlou fotografii pouze pomocí vlastního objektivu.

Možnosti jejich použití se v podstatě omezují pouze na fotografování jasných objektů, převážně tedy Slunce, Měsíce a jasnějších planet. Protože jsou tyto objekty úhlově malé a objektiv nelze sejmout, jejich nejčastější použití je ve spojení s dalekohledem v konfiguraci okulárové projekce.

výhody	nevýhody
malé rozměry a hmotnost	neumožňují ukládat do RAW
obvykle možnost pořizovat videosekvence	objektiv pevně spojen s tělem fotoaparátu
	omezené možnosti manuálních nastavení
	vysoký šum a malá citlivost snímače

EVF⁶ ZRCADLOVKY

Hybridní forma fotoaparátů, která vznikla relativně nedávno kombinuje některé schopnosti klasických zrcadlovek s operativností a uživatelskou jednoduchostí kompaktních fotoaparátů. Jde o poněkud rozměrnější fotoaparáty vybavené většinou objektivem typu *ultrazoom*⁷ s rozsahem obvykle více než desetinásobným. Falešné zrcadlovky se jim říká proto, že mají

⁶ EVF je zkratka anglických slov Electronic View Finder (elektronický hledáček).

⁷ Proměnný objektiv s velkým rozsahem ohniskových vzdáleností.

kromě běžného velkého displeje hledáček s malým displejem pro reálný náhled, kterým se podobají zrcadlovkám. Některé modely umožňují fotografování do bezztrátových formátů *RAW* a nabízejí mnoho manuálních nastavení. Při tom zvládají i tvorbu videosekvencí. Limitující je ovšem objektiv, který nelze z těla demontovat, a tak jsou tyto fotoaparáty stejně jako kompakty odsouzeny pouze pro afokální fotografii. Především u levnějších modelů, ale nejen u nich, je navíc kvalita objektivu značně diskutabilní. Při velkém rozsahu zoomu jde vždy o kompromisy a nedá se očekávat, že kvalita objektivu bude srovnatelná se zoomy s menším rozsahem, nebo dokonce s objektivy s pevnými ohnisky.

výhody	nevýhody
částečně manuální režim	objektiv pevně spojen s tělem fotoaparátu
obvykle možnost pořizovat videosekvence	vysoký šum a malá citlivost snímače
někdy kvalitnější objektiv	

JEDNOOKÉ DIGITÁLNÍ ZRCADLOVKY

Pravé digitální zrcadlovky jsou v angličtině často zkracovány jako DSLR⁸

Již brzy po vzniku jednookých zrcadlovek počátkem 20. století se přišlo na to, že tento druh fotoaparátu je díky svým vlastnostem a univerzálnosti ideální pro fotografy, kteří chtějí mít většinu faktorů tvůrčí fotografie plně pod kontrolou a zároveň chtějí fotoaparát dostatečně pohotový, kompaktní a spolehlivý. Tyto vlastnosti si jednooké zrcadlovky zachovaly dodnes a byly zachovány i u digitálních fotoaparátů této třídy.

Digitální zrcadlovky se vyznačují možností zcela manuálního režimu, nedestruktivní demontáže objektivu a velkým, kvalitním senzorem. Díky tomu jsou nejlepší variantou pro obory astrofotografie, vyžadující fotografování v primárním ohnisku a fotografování dlouhými expozicemi (lepší zrcadlovky zvládají bez problému i mnohaminutové expozice). Obrazové snímače DSLR jsou i několikrát větší než snímače kompaktních fotoaparátů a z hlediska šumu jsou většinou mnohem kvalitnější.

V současné době je navíc možnost pořídit tyto fotoaparáty za velice přijatelné ceny. Ať již nové, či starší v bazarech. Přitom i kvalita bazarových kusů bývá mnohdy na vysoké úrovni a důvody jejich prodeje jsou spíše charakteru morálního zastarávání těchto fotoaparátů díky

⁸ Digital Single Lens Reflex (camera)

nástupu nových modelů. Pro potřeby astrofotografie se však mnohdy vlastnosti starších modelů příliš neliší od modelů novějších.

výhody	nevýhody
plná kontrola nad tvůrčím procesem	neumožňují videosekvence
odnímatelný objektiv	větší rozměry
Podpora formátu RAW	
vysoká obrazová kvalita	

ASTROFOTOGRAFIE POMOCÍ KAMERY

V astrofotografii se kamery využívají zejména ke dvěma účelům. Jednak k zaznamenání zajímavých rychlých jevů, jako jsou například zákryty planet Měsícem, přelety umělých družic přes disk Slunce a Měsíce, planetkové zákryty, tečné zákryty hvězd Měsícem a podobně. Druhou oblastí, kde se kamery hojně využívají, jsou detailní snímky jasných objektů sluneční soustavy, zejména *Venuše*, *Marsu*, *Jupiteru*, *Saturnu*, *detailů Měsíce* a *Slunce*. Tyto objekty jsou úhlově velice malé, takže je nutné používat pro jejich snímání dalekohledy s větší ohniskovou vzdáleností. Na takových soustavách jsou kamery s úspěchem používány, protože jasnost objektů bohatě dostačuje pro snímání krátkými expozicemi, které kamery umí. Zároveň množství snímků vzniklých takto během několika desítek sekund, umožňuje následné softwarové zpracování, zdůrazňující detaily překryté atmosférickým *seeingem*.

V současné době se pro astrofotografii používá několik hlavních skupin kamer. Jednak jsou to webové kamery, dále pak citlivé bezpečnostní televizní kamery, běžné videokamery a astronomické kamery. Kromě videokamer potřebují všechny ostatní typy nějaké záznamové zařízení. Webkamery a astrokamery jsou odkázány na připojení k počítači a televizní kamery buď na videorekordér, grabovací či televizní kartu v počítači nebo na videokameru s AV vstupem.

Webkamery, astrokamery a digitální videokamery mají v sobě zabudován A/D převodník a jejich výstupem je již digitální videosignál. Televizní kamery a analogové videokamery mají jako výstup televizní signál, který je digitalizován teprve při převodu (grabování) do PC.

Kamery všeobecně neumožňují tak dlouhé expozice jako fotoaparáty. Obvyklé nejdelší časy expozic se u nich pohybují okolo 1/60–1/30 s. Výjimkou jsou speciální druhy bezpečnostních televizních kamer a astrokamer, které umožňují snímat expozice až několik sekund dlouhé.

WEBOVÉ KAMERY

Webkové kamery primárně slouží pro snímání obrazu osoby sedící u počítače pro účely internetové komunikace apod. Bývají k počítači připojeny pomocí USB rozhraní, což umožňuje dostatečný datový tok k přenosu 24bitového barevného videosignálu v rozlišení 640 x 480 pixelů a 30 snímcích za sekundu, který je v počítači obvykle silně komprimován, aby vyhověl nárokům přenosových rychlostí internetové videokomunikace. To je také nejobvyklejší vý-



Webkamera Logitech QuickCam 4000 Pro s originálním krytem a objektivem (foto Marek Česal)



Elektronika kamery zbavená krytu a objektivu



Kamera v nové krabičce se závitem M 42 × 1



Krabička s fotografickým objektivem Helios 44-2

Obr. 3: ukázka komerční webkamery a možnosti její přestavby pro využití v astrofotografii

stup z webových kamer. Jako snímací prvky bývají použity ne příliš citlivé barevné senzory typu CCD nebo CMOS s malými pixely.

Vzhledem k značné odlišnosti nároků kladených na kvalitu snímačů pro internetové video-konference a pro potřeby astrofotografie je již v současnosti většina nabízených modelů webových kamer nepoužitelná. Webkamery jsou totiž z důvodu zlevňování osazovány nepříliš kvalitními CMOS čipy s nevalnou dynamikou a poměrem užitečného signálu k šumu. Následkem toho vzniká zajímavý paradox, že amatérští astrofotografové vyhledávají například

jen jeden nebo dva druhy webkamer, navíc dost starých, a to právě pro obrazový snímač, kterým jsou tyto kamery osazeny.

TELEVIZNÍ KAMERY (CCTV)⁹

Jde o malé bezpečnostní kamerky, vyráběné pro zabezpečovací systémy, průmyslové televizní okruhy a podobně. Parametry některých z těchto miniaturních kamer jsou však vhodné i pro využití v astrofotografii. Citlivost jejich černobílých čipů je výrazně vyšší než běžná citlivost webových kamer a navíc existuje řada typů vybavených vyměnitelnými objektivy. Tyto kamery lze používat přímo v primárním ohnisku dalekohledu, bez nutnosti zasahovat do konstrukce kamery a násilně demontovat její vnitřní optiku. Úhlopříčky čipů se pohybují v rozmezí $\frac{1}{4} - \frac{1}{2}$ palce a rozlišení odpovídá televizní normě, pro kterou je daný model kamery konstruován. V Evropě jde o normu PAL, která má rozlišení 768×576 pixelů a v USA je používána norma NTSC s 525 řádky.

Některé dražší kamery (například *WATEC 120N*) disponují funkcí pro dlouhé expozice, kdy kamera akumuluje až 256 snímků do jedné expozice a pak teprve snímek z čipu vyčte a zobrazí na výstupu. V reálu to probíhá tak, že na výstupu kamery se opakuje neustále jeden a ten samý snímek, dokud neskončí expozice dalšího. Při nejdelším intervalu tak kamera vysílá jeden snímek přibližně 10 sekund. Magnitudový dosah takové kamery se tím mnohonásobně zvýší, ovšem prozatím nejsou tyto kamery univerzální a neumožňují běžné krátké expozice v řádu setin či tisícín sekundy. Navíc jejich cena je prozatím oproti běžným CCTV kamerám přibližně dvoj- až trojnásobná.

Mezi hlavní nevýhody CCTV kamer patří nutnost nahrávacího zařízení, jelikož kamera vytváří plnohodnotný analogový televizní signál (bez zvuku), který je buď nahrán klasickou cestou pomocí videorekordéru či videokamery s AV vstupem, nebo je rovnou přiveden na vstup grabovací karty počítače. Při převodu do počítače ovšem vždy dochází k zpětnému rozkladu televizního signálu a jeho převodu do digitální podoby. Kvalita výstupu z kamery je tedy závislá i na kvalitě dalších přístrojů, zařazených do přenosové cesty signálu před jeho digitalizací.

ASTROKAMERY

Astrokamery jsou založené na základě webových kamer, ovšem na rozdíl od nich jsou od počátku koncipovány s ohledem na kvalitu obrazu a citlivost. Proto bývají osazovány dražší-

⁹ Zkratka CCTV vychází z anglického sousloví *Close Circuit TeleVision*, neboli uzavřený televizní okruh.

mi čipy s většími pixely a vícebitovými A/D převodníky. Ke snížení šumu jejich čipů bývají osazeny pasivními nebo aktivními chladiči, snižujícími teplotu čipu.

Na rozdíl od webkamer nemají astrokamery objektiv, ale klasický barel 1,25" či 2". Zasouvají se přímo do okulárového výtahu místo okuláru. Napájení a komunikace s počítačem bývá zajištěna vysokorychlostním USB.

Na trhu jsou rozličné druhy s černobílými a barevnými senzory. Podle citlivosti a délky expozice je lze používat na planety a některé i na jasnější deep-sky objekty.

VIDEOKAMERY

Výhodou videokamer je jejich komplexnost, protože samotná videokamera má v sobě možnost rovnou ukládat videosoubory a také je alespoň v náhledu prohlížet. Díky tomu odpadá nutnost používat v průběhu filmování další zařízení, jako je tomu u webkamer, CCTV a astrokamer. Na druhou stranu není možné z naprosté většiny levnějších videokamer demontovat objektiv, a tak je jejich použitelnost omezena pouze na fokální konfigurace ve spojení s projekčními okuláry.

5. DALŠÍ POMŮCKY DIGITÁLNÍ ASTROFOTOGRAFIE

AUTOGUIDERY

Guider je výraz z angličtiny pro pointér neboli zařízení umožňující přesné vedení fotografického dalekohledu za objektem. Původně byl pointér druhý souosý dalekohled opatřený okulárem s dvojitým vláknovým křížem, do něhož se díval fotograf a případné odchýlení navigační hvězdy od kříže korigoval jemnými pohyby montáže. Tato činnost byla vždy velmi náročná, hlavně při delších expozicích. Současná technika umožnila vytvořit automatizovaná zařízení – *autoguidery*, která dokáží pomocí citlivé kamery a vyhodnocovací elektroniky řídit jemné pohyby motorizované montáže a tím nahradit člověka v této namáhavé činnosti.

Autoguidery na amatérské a poloprofesionální úrovni lze rozdělit na dvě hlavní skupiny: na autoguidery softwarové a autonomní. Softwarové autoguidery jsou řešeny specializovaným programem, do něhož vstupuje signál například z webkamery, zobrazující pointační hvězdu. Program si hlídá polohu této hvězdy vůči zornému poli kamery a případné posuny koriguje řídicími signály do motorizované montáže, připojené k počítači vhodným rozhraním. Hlavní nevýhodou tohoto řešení je nutnost běžícího počítače v průběhu fotografování, což bývá problémem hlavně proto, že jen málokdo fotografuje deep-sky objekty z místa bydliště, a proto je nutné provozovat tento druh autoguideru s notebookem. Samotná kamerka je jistě levnější než autonomní autoguider, na druhou stranu notebook může být značná investice a navíc provoz v prostředí otevřené noční krajiny, kde padá rosa, nemusí být pro většinu běžných notebooků to nejpříznivější prostředí. Notebook je ovšem univerzální zařízení, které lze využít i jinak než jen k pointaci.



Obr. 4: Autonomní autoguider Martina Myslivce s připojenou CCTV kamerkou Watec

Naopak druhá skupina autoguiderů je zcela samostatná. Namísto notebooku je zde pouze jednodušší jednoúčelová elektronická krabička, která se stará o vyhodnocování videosignálu a řízení montáže.

Moje osobní zkušenosti vycházejí z používání autonomního autoguideru, který vyvinul známý český astrofotograf

Ing. Martin Myslivec. Zařízení se skládá z řídicí krabičky, obsahující veškerou elektroniku,

všechny ovládací prvky, přehledný LCD a porty pro napájení, připojení kamery, montáže a pro případ úpravy firmware i port pro připojení počítače. Srdcem přístroje je vysokorychlostní obvod pro zpracování analogového televizního signálu. Celé zařízení je ovládáno pomocí jednoduchého menu, které je vkládáno do obrazu z kamery a zobrazuje se na displeji. Autoguidér je konstruován pro použití CCTV kamery. V mém případě jde o kameru *WATEC 903H SUPREME*, jejíž cena sice není zanedbatelná, ovšem jde o velice citlivou, kompaktní a vyzkoušenou černobílou kameru.

ELEKTRONICKY ŘÍZENÉ MONTÁŽE

Montáže určené prvořadě k astrofotografii se vyznačují zvýšenou robustností a co nejjemnějším bezvúlovým chodem, protože pokud by se montáž pohybovala trhaně, nebo by se snadno rozkmitala při závanu větru, byla by pro astrofotografii zcela nevhodná. Bylo by ji možné používat jen pro vizuální pozorování, nebo pro ty druhy astrofotografie, kterým stačí krátké expozice. Ve fotografických montážích jsou často použita kvalitnější ložiska a vybírané, správně zaběhnuté ozubené převody. Takové montáže jsou obvykle prodávány za vyšší cenu, než podobné montáže vhodné jen pro vizuální pozorování.

V posledních dvou desetiletích pronikla i do menších, amatérských montáží řídicí elektronika a kromě oblíbených naváděcích systémů, umožňujících automatické vyhledávání nebeských objektů výběrem z databáze, jsou obzvláště fotografické montáže vybavovány podpůrnými elektronickými obvody zlepšujícími vlastnosti montáže. Velmi často jsou montáže vybaveny funkcí PEC, neboli Period Error Correction¹⁰. Periodická chyba je způsobena nedokonalým tvarem šneku, který otáčí šnekovým kolem v hodinové ose montáže. Jejím projevem je periodické kolísání rychlosti, kterou se montáž otáčí za oblohou. Toto kolísání se může na fotografiích pořízených delšími expozicemi projevit rozmazáním ve směru rektascenze. Kolísání rychlosti nebývá lineární a jeho perioda bývá okolo deseti minut, ovšem závisí na počtu zubů šnekového kola v hodinové ose. Funkce PEC umožňuje nahrát průběh periodické chyby do paměti řídicích obvodů montáže, která pak podle tohoto průběhu zvyšuje, nebo snižuje rychlost motoru, a tím tuto nepravidelnost vyrovnává. Jiným, přesnějším způsobem korekce periodické chyby je pointace, ovšem ta vyžaduje buď trpělivé sledování pohybu hvězdy v zorném poli a následné korekce, nebo použití nějakého autoguideru, popsaného výše.

¹⁰ Korekce periodické chyby

6. ROZDĚLENÍ DIGITÁLNÍ ASTROFOTOGRAFIE

Na obloze je mnoho druhů objektů a jejich vzhled je natolik rozdílný, že jejich úspěšné fotografování nelze docílit pouze s jedním přístrojem. Následující výčet je značně zjednodušený a bylo by možné provést podobné rozdělení podstatně složitěji. Podle mého názoru však toto jednoduché dělení bohatě dostačuje k vytvoření alespoň základní představy o možnostech různých fotografických sestav.

ŠIROKOÚHLÁ ASTROFOTOGRAFIE

Z hlediska technické obtížnosti i požadavků na vybavení se jedná o jednu z nejméně náročných oblastí astrofotografie. Objekty, které si při tomto druhu astrofotografie bereme za cíl, jsou například meteorické roje, velké části oblohy nebo celá obloha, skupiny souhvězdí, Mléčná dráha, seskupení těles sluneční soustavy, přelety družic, snímky nebeských objektů ve spojení s objekty pozemskými, sekvence dějů odehrávajících se na větších částech oblohy (například průběhy zatmění atd.), časosběrné snímky nebo animace rotace oblohy atd.

Použití krátkoohniskových objektivů s velkým zorným polem umožňuje používat expozice mnohdy i desítky sekund, aniž by se projevil zdánlivý pohyb oblohy. Díky tomu stačí fotoaparát umístit na běžný pevný fotografický stativ a nechat jej exponovat. U digitálních kamer je situace ještě jasnější, protože mají nižší rozlišení a výrazně kratší nejdelší možné expozice, takže možnost rozmazání snímků nehrozí.

Při použití základního objektivu, což je objektiv, jehož ohnisko odpovídá při přepočtu na kinofilmový formát přibližně 50 mm a který dává tzv. *normální zobrazení*, se již časy použitelné k fotografování některých částí oblohy ze stativu bez rozmazání zkracují na deset sekund či méně a je vhodné použít k fotografování alespoň jednoduchou rovníkovou montáž s jemným pohybem nebo s motorovým pohybem v ose rektascenze. S rostoucí ohniskovou délkou použitého objektivu klesá použitelná délka expozice z pevného fotoaparátu¹¹.

Pro tuto oblast astrofotografie jsou použitelné všechny druhy digitálních fotoaparátů, videokamery a webové kamery s jejich základními objektivy. Použití CCTV a astrokamer je možné také, ovšem je nutné tyto kamery osadit dostatečně krátkoohniskovými objektivy, což může být hlavně v případě astrokamer obtížné, protože na takové objektivy nejsou uzpůsobeny.

¹¹ V programu Astrofotografické výpočty, zmíněném dále v kapitole o programech, je jedna část věnována výpočtům těchto expozic – výpočtu dráhy hvězdy na nepointované fotografii.

ASTROFOTOGRAFIE S TELEOBJEKTIVEM

Teleobjektivem se rozumí dlouhoohniskový objektiv. U kinofilmových zrcadlovek začínala obvykle třída teleobjektivů u ohnisek 100–135 mm, přičemž jako přechod mezi objektivy základními a teleobjektivy byla třída portrétních objektivů, pokrývající obvykle rozsah ohnisek 80–100 mm. Vzhledem k obvyklému formátu DSLR APS-C a jejich přepočtovému faktoru na kinofilmová ohniska jsou tyto meze posunuty a již i objektivy 80 mm a více lze považovat za regulérní teleobjektivy.

Všeobecně platí pravidlo, že objektivy s pevnými ohnisky jsou po stránce obrazové kvality výrazně lepší a jejich podání je kvalitnější, než zoomovacích objektivy. Nic ovšem neplatí sto procentně a v praxi se někdy ukazuje, že některé vydařené objektivy s proměnným ohniskem jsou v astrofotografii lepší než některá „pevná skla“. Astrofotografie je totiž pro objektivy skutečně velmi náročná disciplína, protože fotografované obrazy mnohdy obsahují velmi kontrastní, zcela bodové zdroje v celém zorném poli, jejichž perfektní zobrazení s minimem vad a deformací je vysoce náročné a nejsou pro něj vhodné všechny optické konfigurace objektivů. Velikým problémem jsou též odlesky, barevná vada a disperze světla v optice, které způsobují těžko odstranitelné vady fotografií. Navíc světelnost objektivů by měla být pokud možno vysoká, aby bylo možné používat kratší expozice. Výběru vhodného teleobjektivu je proto nutné věnovat značnou pozornost.

ASTROFOTOGRAFIE V PRIMÁRNÍM OHNISKU KRATŠÍHO DALEKOHLEDU

Objekty spadající do této kategorie jsou Slunce, Měsíc (jejich celé disky, zatmění), mnoho deep-sky objektů, komety, atd. Převládají ovšem deep-sky objekty, neboli mlhoviny, hvězdokupy a galaxie, kterých jsou na obloze v rozumném magnitudovém dosahu stovky.

Pro běžné fotografování deep-sky objektů v primárním ohnisku je běžnou hranicí použitelného ohniska 1000 mm, alespoň v atmosférických podmínkách Česka. Při použití delších ohnisek již bývá vliv rozostření způsobený seeingem tak velký, že jsou bodové objekty rozmazány do vícepixelových kotoučků a další prodlužování ohniska nepřináší další detaily. Z toho důvodu se používají dalekohledy s tímto a menším ohniskem, protože jsou lehčí a obvykle i levnější.

Kromě DSLR jsou u těchto ohnisek používány i webkamery, CCTV a astrokamery, v případě, že je potřeba nasnímat objekty úhlově větší, které by se u dlouhoohniskových dalekohledů nevešly do zorného pole. Například pro fotografii celého Měsíce webkamerou dosta-

čuje dalekohled s ohniskem okolo 500–800 mm, kdežto pro detailní snímky kráterů je potřeba ohnisko okolo 2 000–4 000 mm.

Při fotografování delšími expozicemi přes dalekohled s ohniskem 500–1 000 mm je již nutná větší, stabilní, dobře ustavená paralaktická montáž s motorovým pohonem, nejlépe v obou osách. Mnohdy je nezbytná i pointace, proto je vhodné, má-li montáž vstup pro řídicí signály autoguideru.

ASTROFOTOGRAFIE S POMOCÍ DLOUHOHNISKOVÝCH DALEKOHLEDŮ

Jak bylo popsáno v předchozím oddíle, rozlišovací schopnost dlouhých ohnisek je zatížena seeingem. To je ovšem limitní faktor hlavně pro fotografování deep-sky objektů, na jejichž zachycení jsou nutné dlouhé expoziční časy. U jasných objektů lze používat časy řádově desetiny až setiny sekundy. Po tyto krátké okamžiky nastávají případy, kdy je atmosféra klidnější a nedochází k rozmazání jemných detailů v obraze. Dalekohledy s dlouhým ohniskem se díky tomu úspěšně používají ve spojení s webkamerami, CCTV, astrokamerami a s projekčními okuláry i s videokamerami a kompaktními fotoaparáty v režimu videosekvencí. Za cílové objekty slouží jasné planety sluneční soustavy, Měsíc a Slunce. Všechny tyto objekty mají dostatečnou jasnost k tomu, aby mohly být snímány pomocí krátkých expozic. Ze stovek či tisíců snímků, vzniklých při videosekvencích, je možné vybrat buď automaticky nebo ručně ty nejlepší a ty následně zpracovat například v programu *Registax*. V mnohých případech lze takto vliv seeingu výrazně potlačit a zachytit tak na objektech i velmi jemné detaily. U dlouhých ohniskových vzdáleností je ovšem mnohdy problém přesně zaostřit, nehledě k tomu, že dalekohledy s dlouhou ohniskovou vzdáleností jsou více náchylné na rozostření vlivem tepelné roztažnosti materiálu. Proto je nutné věnovat zvýšenou pozornost správnému zaostření a jeho občasně kontrole.

7. ZÁKLADY NÁSLEDNÉHO ZPRACOVÁNÍ

APLIKACE OPRAVNÝCH SNÍMKŮ

K vytvoření kvalitního astrofotografického snímku je mnohdy potřeba kromě samostatného snímku objektu či sady těchto snímků i pořízení sad opravných snímků, které napomáhají eliminovat nečistoty digitálních snímačů. Pořizuje se temný snímek (*dark frame*), vyčítací snímek (*bias frame*) a plochý snímek (*flat frame*). Temný snímek slouží k eliminaci vlivu temného proudu, bias odstraňuje pruhy v obrazu vzniklé rozdílnými vlastnostmi vyčítacího registru a plochý snímek umožňuje eliminovat z obrazu nerovnoměrné osvětlení snímku způsobené vinětací a také tmavé body a skvrny způsobené prachem na plochách optické soustavy, obvykle přímo na senzoru či v jeho blízkosti.

Je vždy vhodnější mít těchto opravných snímků nafocené sady (vhodný počet je někde mezi 4 až 16 snímky od každého druhu), které je nutné před aplikací na obrazové snímky zprůměrovat. Tím se vytvářejí tzv. hlavní opravné snímky (master dark, master bias, master flat). Temný a vyčítací snímek se od obrazového odečítá a plochým snímek se obrazový snímek dělí, ovšem také od plochého snímku je nutné nejdříve odečíst vyčítací snímek. Tím lze dosáhnout solidní redukce rušivých informací v obraze.

Všechny tyto úpravy je nutné udělat jako první, tedy před jakoukoli jinou úpravou obrazových snímků. Teprve po této redukci je možné obrazové snímky sesadit na sebe, a počítat

MATEMATICKÉ SKLÁDÁNÍ SNÍMKŮ

Sady předzpracovaných snímků, zbavených velké části neduhů pomocí opravných snímků, je možné slučovat do jednoho výsledného snímku pomocí operací zprůměrování a sečtení.

Metoda zprůměrování dvou snímků vytváří každý pixel výsledného snímku jako aritmetický průměr hodnot pixelů slučovaných snímků.

$$a_{\text{výsl.}} = \frac{a_1 + a_2}{2}.$$

Kde a jsou vždy hodnoty pixelů (u barevného formátu se tak děje třikrát, pro každý kanál zvlášť). Výhodou této metody je fakt, že výsledná hodnota pixelu může být maximálně shodná s hodnotami průměrovaných pixelů. Nemůže tak dojít k tzv. *přetečení*, kdy výsledné hod-

noty pixelů překročí maximální úroveň daného obrazového režimu a vznikne jednolitá plocha zcela saturovaných pixelů, jejichž informace se tím zcela smazává¹².

Druhou metodou je sečtení snímků, při níž je výsledný pixel tvořen přímo součtem pixelů dílčích snímků.

$$a_{\text{výsl}} = a_1 + a_2.$$

Při této matematické operaci již může dojít k výrazným změnám výsledného snímku, ale pouze v případě, že je sčítáno větší množství fotografií. Tím, že číselné hodnoty pixelů sčítáním neustále rostou může dojít k tomu, že při větším množství sčítaných snímků překročí hodnoty pixelů maximální hodnotu dovolenou formátem obrazu. Nejjasnější partie obrazu tím začnou přetékat a v místě přetečení dojde ke ztrátě obrazové informace. Menší množství snímků je obvykle možné sečíst bez problémů, protože například RAW formát digitálního fotoaparátu Canon EOS 350D má obrazovou hloubku 12 bitů na pixel a běžné formáty obrazu dovolují obrazovou hloubku až 16 bitů na pixel.

Zprůměrnování či sečtení snímků snižuje hodnotu náhodného šumu. Ve výsledném snímku je „nadržováno“ informacím, které se opakují na všech, nebo na většině dílčích snímků, zatímco náhodné fluktuace, zobrazené jen sporadicky, jsou potlačeny. Díky tomu lze do určité míry „vytáhnout“ slabé partie vesmírných objektů „utopených“ v šumu. Účinnost této metody s množstvím průměrování klesá, jelikož dílčí příspěvek jednoho snímku s narůstajícím počtem snímků klesá. S ohledem na rozumné množství snímků, které lze běžně nasnímat, se maximum snímků, které má cenu fotografovat, pohybuje v okolí 16 snímků. Pokud to délka expozice dovoluje, může být snímek nasnímán i více s tím, že před zpracováním je možné provést selekci nejlepších snímků. Na některých snímcích se může projevit rozmáznutí způsobené nedokonalou pointací nebo může být snímek poškozen například stopou přelétávajícího letadla, družice apod.

TVORBA MOZAIKY

Pokud je fotografovaný objekt příliš velký a nevejde se na jeden snímek, je možné nafotografovat několik sousedících zorných polí s určitým přesahem a ty poté poskládat do mozaiky. Způsobů na vytvoření mozaiky je několik a obvykle se jedná o metody, které vyžadují větší zručnost a praxi v grafickém editoru. V některých případech lze k vytvoření mozaiky použít automatické funkce některého z programů pro zpracování astronomických snímků, například pro-

¹² Tomuto jevu se ve fotografické hantýrce říká „přepal“.

gramu *Deep sky stacker*. Tyto programy obvykle vyhledávají ve fotografiích polohy hvězd a mohou tak fotografie s dostatečným přesahem velice přesně sesadit. Mnohdy však toto nelze, například u fotografií Měsíce a Slunce, kde na fotografiích hvězdy nebývají. Pak je nutné využít grafický editor, například *Adobe Photoshop*, nebo *Gimp* a sesadit snímky ručně. Nejběžnější metoda je načtení obou snímků do jednoho dokumentu, každý do jiné vrstvy. Vrstvy je pak možné posunovat libovolně vůči sobě. Aby bylo sesazení co nejpřesnější, je možné horní vrstvu zobrazit v režimu rozdílu, pak se světle zobrazují rozdíly oproti spodní vrstvě a protože v oblasti přesahu by mely být rozdíly co nejmenší nebo nejlépe žádné, je nutné najít takovou polohu obou vrstev vůči sobě, kdy je plocha přesahu obou snímků co nejtmaší.

Dále je obvykle nutné snímky srovnat z hlediska jasu pozadí a úrovní. Pokud se na rozhraní objevuje ostrá linka, ukončující okraj horního snímku, lze ji poznenáhlit pomocí nástroje guma s měkkým okrajem stopy. Postupnou aplikací stejného postupu je možné poskládat dohromady i více než dva snímky.

Na skládané snímky je nutné před počátkem skládání nejprve aplikovat korekci opravnými snímky, pokud je pro ně nutná.

ZMENŠOVÁNÍ SNÍMKŮ

Na závěr kapitoly o základech zpracování si nemohu odepřít krátkou poznámku o správném zmenšování již zpracovaných snímků pro webové stránky apod., aniž by došlo k viditelné ztrátě jejich kvality. Při zmenšování je potřeba mít na paměti několik základních pravidel.

První pravidlo, které je vhodné mít na paměti, obzvláště pokud nemá zmenšovaný snímek již od začátku příliš velké rozlišení, je o opatrnosti. Pokud vůbec zmenšovat, tak nejlépe na 50 %, případně na 25 %. Při těchto zmenšovacích faktorech lze většinou délky obou stran v pixelech snímku vydělit beze zbytku, takže nedochází k deformaci poměru stran a následně k drastičtější interpolaci obrazových dat a je menší pravděpodobnost vzniku tzv. moiré, kterým trpí hlavně fotografie s často se opakujícími drobnými vzorky. Pokud zmenšujeme nějaký velký snímek na malý o rozměru menším než 50 % (nebo 25 %) originálu, je dobré v prvním kroku provést zmenšení snímku na dvojnásobek požadované velikosti a pak se řídit podle následujícího pravidla.

Druhé pravidlo pomáhá bojovat proti snižování technické kvality a ostrosti snímku vlivem zmenšení. Když zmenšujeme nějaký již ostrý snímek, postupujeme tak, že vytvoříme duplicitní vrstvu snímku a tu o něco přeostříme. Pak teprve zmenšíme snímek na požadovanou ve-

likost a postupným zprůhledňováním nastavíme poměr mezi původně ostrým a přeastřeným snímkem do nejvhodnějšího stavu.

Zmenšené snímky je vždy vhodné uložit stranou a původní originály archivovat pro případné použití v budoucnu, protože nikdy není jisté, k čemu ještě budou snímky potřeba, a není nic horšího než zjištění, že původní originály jsou ztraceny v nenávratnu.

8. PŘÍKLADY VHODNÉHO FREEWARE

V současné době existuje množství programů určených pro zpracování snímků oblohy, ať se jedná o astronomická data či běžné snímky oblohy. Jedná se o programy jak placené, tak i volně šiřitelé, Přitom některé bezplatné programy v současné době konkurují programům komerčním a ve většině případů zcela vyhoví.

Postupy zpracování vstupních dat se různí jednak podle použité metody snímání a podle charakteru objektu či objektů, které jsou zachyceny. Ve spektru volně šiřitelných programů jde spíše o pomůcky, které se více či méně specializují na provádění jednoho postupu, či několika podobných postupů, souvisejících převážně s jedním z oborů astrofotografie. Přesto se najdou i výjimky, které umožňují zpracovávat více druhů dat různými způsoby.

REGISTAX

Registax je volně šiřitelný program navržený pro zpracování videosouborů astronomických objektů, obzvláště záběrů planet, detailů Měsíce, Slunce atd. V rámci zpracování je videosekvence rozložena na dílčí snímky, ty jsou automaticky sesazeny na objekt a dále je vyhodnocena jejich kvalita. Nejlepší ze snímků jsou dále drobně upraveny, aby se zobrazení objektu na nich vzájemně příliš tvarově nelišilo, což zmírňuje účinky seeingu. Po této úpravě dojde k matematickému zprůměrování do jediného snímku. Filozofie Registaxu je taková, že existuje vyšší pravděpodobnost zachycení jednoho detailu na více snímcích, než výskyt stejných



Obr. 5: Úvodní okno programu Registax 4

shluků šumu. Přesto je výsledný obrázek obvykle značně rozostřený, ale již o poznání jemnější, než jednotlivé dílčí snímky. Zde přichází na řadu poslední důležitá věc v procesu zpracování, aplikace „vlnového filtru“, (wavelet filter) s jehož pomocí je možné zdůrazňovat struktury různých velikostí v obraze.

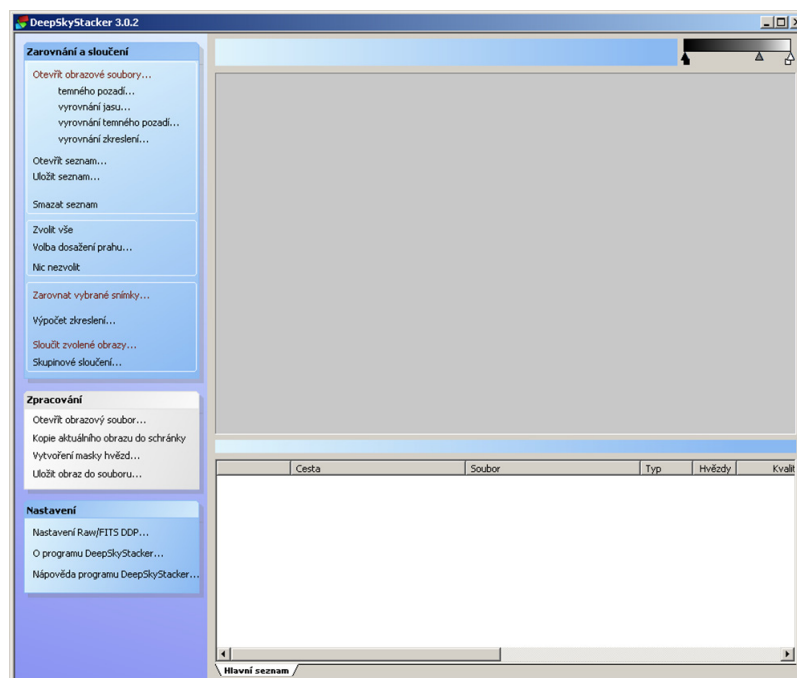
Správnou aplikací tohoto filtru je možné vytáhnout až nečekané detaily a zároveň nechat úro-

veň šumu na téměř původní úrovni. Dále je možné v tomto programu provést některé finální úpravy snímku, je zde také možné eliminovat barevnou vadu obrazu posunutím poloh barevných kanálů vůči sobě atd.

Práce v tomto programu je předvedena v elektronické příloze v sekci praktických ukázek, kde je zachycen celý postup zpracování videosekvence planety Jupiter.

DEEP SKY STACKER

Programů určených na zpracování astrofotografií deep-sky objektů, případně fotografií z profesionálních CCD kamer, je mnoho, ovšem většinou nejsou volně šiřitelné a navíc je jejich obsluha dost náročná a mnohdy vyžaduje rozsáhlé znalosti o digitálním obrazu a jeho zpracování. *Deep Sky Stacker* je mezi nimi výjimkou, neboť patří do skupiny volně šiřitelných



Obr. 6: Hlavní okno programu *Deep Sky Stacker 3*

programů a navíc je v něm proces zpracování nafotografovaných dat značně zautomatizován, takže alespoň základní zpracování lze zvládnout velmi snadno. V poslední verzi je v jazykovém nastavení programu i čeština, což rovněž přispívá k přívětivosti ovládání. Nevýhodou je, že výsledek nemusí být vždy stoprocentně dokonalý a pečlivým ručním zpracováním v jiném programu by bylo možné dosáhnout lepších výsledků. Přesto je tento program velmi užitečný, protože díky automatickému je možné do něj během pár minut vložit fotografie hned po příjezdu z fotografování a jít v klidu spát. Ráno je výsledek hotov a astrofotograf má hned první verzi zpracovaných snímků. To, zda si pak bude s fotografiemi dále „hrát“ a snažit se z nich vytěžit maximum, je čistě na jeho úvaze, ovšem často se stává, že na pořádné zpracování není delší doba dostatek času a klidu a nezpracované fotografie by tak ležely ladem.

Hlavní okno programu je rozděleno do tří částí. V levém sloupci je menu voleb a nastavení, kde lze vybrat a otevřít zpracovávané snímky a nastavit způsob jejich zpracování. V levém dolním okně je seznam snímků a nad ním je okno náhledu, zobrazující aktuální vybraný snímek.

S každou verzí programu se jeho vlastnosti zlepšují a lze očekávat, že pokud půjde jeho vývoj dál, stane se z něj kvalitní nástroj s běžnou i lepší výstupní kvalitou. Mezi jeho zajímavé, nově přidané funkce patří například skládání na kometu, čímž lze snadno provést sesazení snímků na objekt pohybující se vůči hvězdnému pozadí.

STARTRAILS

S digitálním fotoaparátem je jen těžko proveditelná několikahodinová expozice oblohy ze stativu s širokoúhlým objektivem, protože digitální fotoaparát má malou dynamiku, velikou citlivost a s časem expozice u něj roste míra šumu. Z tohoto důvodu je obtížné nafotografovat známé efektní snímky pohybu hvězd o obloze, z angličtiny přezdívané startrails.

Tento jednoduchý program dokáže snadno a rychle zpracovat sekvenci fotografií zachycujících postup hvězd po obloze v dílčích krátkých expozicích. Výstupem je pak jediný snímek, zachycující pohyb hvězd od začátku do konce sekvence.

FOTO2AVI

Jak již anglický, zkratkový název napovídá, jedná se o program určený k tvorbě videosouborů ze série fotografií. To může být užitečné například u časosběrných snímků, u animací pohybu komet a jiných meziplanetárních těles na hvězdném pozadí, při různých zákrytech, zatměních a přechodech, ale i třeba u animace vzniklé v průběhu stavby pozorovací techniky. Mnoho zajímavých animací může vzniknout i při denních snímcích meteorologických jevů, východů a západů Slunce atd.

K podobným účelům jsem dříve používal program *Image to Avi*, ale v posledních měsících se mi při práci s ním vyskytovalo stále více technických potíží, až jsem se nakonec musel poohlédnout po nějaké alternativě. Program *foto2avi* se mi ukázal být z několika možných kandidátů nejvhodnější. Jednak proto, že je volně šířitelný, jednak umožňuje některá nastavení navíc oproti předchozímu programu.

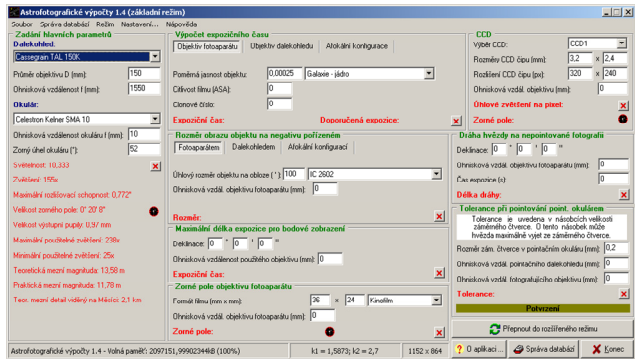
Ovládání je velmi jednoduché. Na začátku je nutné vybrat zdrojové snímky, případně k nim přidat doprovodné zvukové soubory, které se pak zobrazí v přehledném seznamu. Dále je možné upravovat rozlišení výstupního videa, metodu komprese, dobu zobrazení snímku,

a to jak pro všechny snímky najednou, tak pro každý zvlášť. Dále je možné zvolit efekt při přechodu mezi snímky.

ASTROFOTOGRAFICKÉ VÝPOČTY

Kromě zpracování dat je možné využít vhodné programy i k různým podpůrným činnostem a přípravám při astrofotografii. Jedním z programů ulehčujících mnoho práce je program *Astrofotografické výpočty* od Tomáše Slabého.

Program nabízí řadu výpočtů důmyslně rozřazených do několika oddílů podle oblasti, do které spadají. Program umí spočítat základní parametry dalekohledů a CCD detektorů, dále záležitosti okolo světelností soustav, zorných polí, parametrů pointace atd. Program také obsahuje několik databází nebeských objektů a pozorovací techniky. Tyto databáze je možné kdykoli upravovat a přidávat tak například vlastní vybavení.



Obr. 7: Okno přehlednějšího, základního zobrazení programu *Astrofotografické výpočty*

9. PRAKTICKÉ UKÁZKY

Této kapitole přiřkládám největší důležitost, protože podle mého názoru jsou praktické ukázky to nejdůležitější při vysvětlování a popisu astrofotografie. Jedna praktická ukázka vydá za tisíc slov, protože je na ní přímo vidět, co jde a co nejde.

Vesmírných objektů je nepřeberné množství a možností, jakým způsobem je fotografovat, je také mnoho, z toho důvodu je nemyslitelné, abych v této kapitole zabrousil do všech oblastí. Také zde neuvádím pouze astrofotografické příklady z období práce na bakalářské práci, protože času není příliš mnoho a astrofotografie je závislá na počasí a dalších faktorech, například na fázi Měsíce. Proto uvádím i práce z dřívější doby, abych pokud možno pokryl co nejširší rozsah astrofotografických technik, se kterými mám zkušenost.

Příklady, které zde prezentuji, jsou souhrnem některých mých prací z nedávné i dřívější doby. V astrofotografii je totiž dost obtížné získat více zajímavých snímků v krátké době, protože fotografování jednoho objektu mnohdy zabere dlouhou dobu a pozorovacího času nebývá mnoho. U jednotlivých ukázek uvádím základní data, kdy byly snímky pořízeny, s jakým přístrojovým vybavením a jakou technikou bylo dosaženo výsledku. Navíc u některých ukázek přidávám názorné ukázky postupu zpracování v elektronické příloze této práce.

Kromě výše uvedených volně šiřitelných programů používám v ukázkách také profesionální grafický editor *Adobe Photoshop*, k němuž mám v práci přístup. Většinu jeho vlastností lze najít například i ve volně šiřitelném grafickém editoru *Gimp*. Přesto používám *Photoshop*, protože jsem zvyklý na jeho pracovní prostředí a způsob ovládání.

Fotografie prezentované v tiskové verzi nejsou optimalizované pro tisk, protože jen jejich kalibrace a vyladění by trvalo dlouho a vzhledem k tiskové kvalitě by byl výsledek stejně nevalný. Proto jsou k textu přidány spíše pro představu a všechny jsou přiloženy ve vyšším rozlišení v elektronické příloze.

POHYB OBLOHY Z PEVNÉHO FOTOAPARÁTU

Objekt	<i>Pozorovatelé a obloha</i>
Fotografický přístroj	DSLR <i>Canon EOS 350D</i>
Optika	<i>Canon EF-S 18-55/3,5-5,6</i>
Montáž	Pevný stativ
Metoda zpracování	Animace v <i>Foto2avi</i> ; sloučení ve <i>Startails</i>
Pozorovací stanoviště	Louka nedaleko obce Čbán
Čas pozorování	05. 09. 2005 20.17–21.14 UT

Využití fotoaparátu k zachycení pomalých dějů, které jsou pomocí oka postřehnutelné až po delší době, jako například zdánlivý pohyb hvězdné oblohy způsobený rotací Země, je oblíbená astrofotografická technika, kterou jsem si několikrát vyzkoušel.

Popsaný snímek vznikl na louce v lesích nedaleko obce Čbán, severozápadně od Plzně. V průběhu vykládání a zprovožňování pozorovací techniky jsem nechal fotoaparát *Canon EOS*



Obr. 8: Zpracovaný snímek z programu *Startrails*

350D na pevném stativu exponovat sadu fotografií s půlminutovými expozičními. Výsledkem je sada několika desítek fotografií zachycující děj na obloze i na zemi před fotoaparátem. Tyto fotografie samy o sobě nemají nijak velikou vypovídací hodnotu, ovšem když se zpracují v programu, který umí vytvořit z řady

fotografií videosoubor, například *Foto2avi*, je možné vytvořit krátké video, na kterém je celý děj značně zrychlen a nechá se na něm pozorovat například pohyb oblohy, přelety letadel atd.

Druhou možností, jak podobné sady fotografií zpracovat, je program *Startrails*, který dokáže sloučit řadu fotografií do jedné. Na výsledné fotografii se drobné změny poloh hvězd mezi jednotlivými fotografiemi projeví jako čáry a je možné vytvářet fotografie podobné klasickým fotografiím pořízeným na fotografickou emulzi fotoaparátem na pevném stativu s extrémně dlouhou expoziční.

MĚSÍC V RŮZNÝCH FÁZÍCH POMOCÍ DALEKOHLEDU

Objekt	Měsíc
Fotografický přístroj	DSLR <i>Canon EOS 350D</i>
Optika	Refraktory <i>SkyWatcher ED 120/900; Carl Zeiss Coudé 150/2250</i>
Montáž	Rovníková <i>Synta EQ6 SkyScan</i>
Metoda zpracování	<i>Adobe Photoshop</i>
Pozorovací stanoviště	Hvězdárna a planetárium Plzeň, U Dráhy 11
Čas pozorování	7. 03. 2006 20.25 UT

Ačkoli je z Měsíce díky vázané rotaci viditelná pouze jedna polovina, neznamená to, že by se z hlediska astrofotografie jednalo o okoukané, monotónní a nudné těleso. Naopak Měsíc je



Měsíc po poslední čtvrti



Měsíc v první čtvrti

Obr. 9: ukázka fotografií Měsíce zachyceného v různých fázích (fotografováno různými přístroji)

vzhledu některých oblastí. Některé méně patrné útvary, hlavně zlomy a žíly, jsou viditelné jen v krátkých obdobích, kdy jsou vzhledem k okolí nasvětleny kontrastně.

Navíc je Měsíc na obloze díky svým přijatelným rozměrům a značné jasnosti velmi jednoduchým cílem a právě fotografování Měsíce je u začínajících astrofotografů oblíbená činnost. Díky dostatku světla je možné Měsíc fotografovat i z pevnějšího stativu, bez nutnosti montáže.

velmi vděčný cíl fotografování, protože díky změnám fází a *libracím* je každý pohled na něj jedinečný. Nejvýraznější změny fáze se projevují na tzv. *měsíčním terminátoru*, což je rozhraní osvětlené a tmavé části Měsíce. V jeho okolí se povrch jeví díky velmi šikmému nasvětlení nejplastičtěji a mnohdy stačí desítky minut ke změně

POPELAVÝ SVIT MĚSÍCE

Objekt	<i>Měsíc</i>
Fotografický přístroj	<i>DSLR Canon EOS 350D</i>
Optika	<i>Refraktor SkyWatcher ED 120/900</i>
Montáž	<i>Rovníková Synta EQ6 SkyScan</i>
Metoda zpracování	<i>Adobe Photoshop</i>
Pozorovací stanoviště	<i>Hvězdárna a planetárium Plzeň, U Dráhy 11</i>
Čas pozorování	<i>10. 02. 2008 17.33 UT</i>

Na rozdíl od fotografií Měsíce v období větší fáze je fotografování popelavého svitu Měsíce o trochu náročnější. Nelze si při něm vystačit s krátkými expozicemi, a proto musí být montáž dalekohledu lépe ustavena. Není potřeba ustavovat montáž tak přesně, jako například



Obr. 10: *Fotografie popelavého svitu Měsíce*

při fotografování *Deep-sky* objektů, ovšem je vhodné, aby bylo možné alespoň 10 sekund exponovat, aniž by došlo ke znatelnému posuvu Měsíce a tím k rozmazání fotografie.

Důležitá je i volba expozičního času a použitého dalekohledu. Díky omezené dynamice digitálních snímačů je nemožné zachytit prokreslený popelavý svit i nepřexponovaný osvětlený srpek Měsíce.

Navíc při zvolení příliš dlouhého času expozice nebo nevhodného, většinou levnějšího dalekohledu se mohou na fotografii objevit nepříjemné odlesky a kolem srpku jednodílná, postupná zář rozptýleného světla.

MOZAIKA MĚSÍCE POMOCÍ DSLR

Objekt	<i>Měsíc</i>
Fotografický přístroj	DSLR <i>Canon EOS 350D</i>
Optika	Refraktor <i>Carl Zeiss Coudé 150/2250</i>
Montáž	Rovníková <i>Carl Zeiss Coudé</i>
Metoda zpracování	Složení, křivky, doostření a zmenšení v <i>Adobe Photoshop</i>
Pozorovací stanoviště	Hvězdárna v Rokycanech, Voldušská 721/II
Čas pozorování	21. 05. 2005 20218 UT

Měsíc jsem s rokycanským refraktorem *Zeiss Coudé 150/2250* fotil ještě jednou, tentokrát v době, když byla měsíční fáze blízko úplňku. Použil jsem při tom digitální zrcadlovku *Canon EOS 350D* v primárním ohnisku.

Fotoaparát jsem ostřil pomocí techniky ostřících obrázků až do dosažení subjektivně nejlepších výsledků. Při ohniskové vzdálenosti 2 250 mm je zorné pole této zrcadlovky pouze



$33'55'' \times 22'37''$ ¹³, z toho důvodu se celý kotouč Měsíce na jeden snímek nevejde a je nutné nasnímat ho nadvakrát. To jsem udělal s tím, že obě poloviny jsem exponoval několikrát, aby bylo možné vybrat z obou sérií nejlepší snímek. Jako výstupní formát jsem zvolil *RAW*, citlivost fotoaparátu byl nastavena na ISO 100.

Obr. 11: Fotografie Měsíce, složená ze dvou dílčích fotografií

¹³ Podle programu *Astrofotografické výpočty*

Zpracování jsem pak prováděl v programu *Adobe Photoshop*. Nejdříve jsem oba snímky převedl z formátu *RAW (CR2)* na *TIFF* s 16bitovou hloubkou každého kanálu, se kterými jsem pak pracoval v počítači. Snímky bylo nutné sesadit na sebe tak, aby navazovaly. Ve *Photoshopu* to lze udělat například tak, že oba snímky jsou otevřeny v jednom souboru, každý v jiné vrstvě. Horní vrstva je přepnuta z normálního režimu na režim rozdíl, kdy se ve výsledku ukazuje rozdíl oproti vrstvě pod ní. Pak je možné s touto vrstvou posouvat, dokud není plocha co nejtmavší, tedy dokud není sesazení shodných částí snímků nejpřesnější. Pokud jsou snímky fotografovány se stejným nastavením brzy po sobě, je výsledný přechod mezi snímky sice znatelný, ovšem není nijak rušivě výrazný. Poznenáhlení tohoto přechodu jsem zajistil tím, že jsem okraj horního snímku ugumoval pomocí nástroje guma se zvolenou měkkou stopou. Ostrá linka přechodu mezi snímky se tím vytratila a ani sám jsem pak nebyl schopen poznat, kde se oba snímky napojují. Po této operaci jsem již oba snímky sloučil do jedné vrstvy a pracoval jsem s nimi jako s jednou vrstvou. Následovaly již spíše běžné úpravy úrovní a ostrosti pomocí filtru doostřit.

DETAILY MĚSÍCE SLOŽENÉ DO MOZAIKY

Objekt	<i>Měsíc</i>
Fotografický přístroj	Webkamera bez optiky <i>Logitech Quickcam 4000Pro</i>
Optika	Refraktor <i>Carl Zeiss Coudé 150/2250</i>
Montáž	Rovníková <i>Carl Zeiss Coudé</i>
Metoda zpracování	<i>Registax 2</i>
Pozorovací stanoviště	Hvězdárna v Rokycanech, Voldušská 721/II
Čas pozorování	Noc 23./24. 10. 2004

V rámci testování webkamery *Logitech QuickCam 4000/Pro* s odmontovaným objektivem jsem na rokycanské hvězdárně využil refraktor *Zeiss Coudé 150/2250* k nasnímání řady videosekvencí, postupně pokrývajících celý měsíční terminátor. Webkamera byla připojena k vypůjčenému notebooku.

Webkameru bylo potřeba nejdříve zaostřit a vhodně nastavit parametry expozice a zesílení. Naštěstí Měsíc je velmi jasný objekt, a tak vycházely hodnoty velmi výhodně. Celé snímání trvalo několik desítek minut a jeho výsledkem bylo přibližně 50 videosekvencí, pokrývajících

celý měsíční terminátor a jeho blízké okolí. Videosekvence obsahovaly dohromady asi 5 000 snímků a velikost nahraných souborů byla přibližně 2 GB.

Následné zpracování proběhlo v programu *Registax 2*, kde bylo nutné v každé videosekvenci vybrat několik desítek nejzdařilejších záběrů, které pak program zaregistroval a složil do jednoho. Výstupem byla sada 50 dílčích snímků velké mozaiky. Jejich poskládání jsem provedl v programu *Adobe Photoshop 6*. Bohužel jsem neměl k dispozici žádné opravné



Obr. 12: Mozaika oblasti měsíčního terminátoru

snímky, zejména chyběl plochý snímek zorného pole kamery, protože na krycím skle CMOS čipu se usadilo několik smítek prachu, která se na dílčích snímcích projevila jako tmavší skvrnky. Protože nebylo jak tyto skvrnky snadno odstranit, nechal jsem je být, ovšem ve výsledném obraze poněkud ruší. Naštěstí se ovšem díky malému čipu webkamery a velkému zornému poli dalekohledu neprojevila vinětace¹⁴, takže jednotlivé snímky bylo možné celkem jednoduše poskládat dohromady s pomocí základních funkcí programu *Photoshop*.

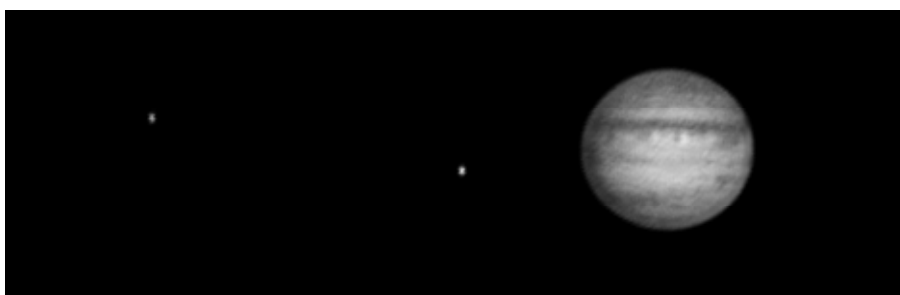
Jedním z dalších problémů, viditelných na výsledné mozaice i na dílčích snímcích je nedokonalost programu *Registax 2*, který dokázal registrovat snímky pouze na jeden bod, což v důsledku znamená, že po registraci a optimalizaci je obrazová kvalita v okolí tohoto bodu většinou o poznání lepší, ovšem obrazová kvalita ve vzdálenějších partiích zorného pole spíše klesá, protože o ni se program nestará. Současná verze *Registax 4* již umožňuje registrovat na více bodů a díky tomu k této degradaci okrajových partií zorného pole dochází v podstatně menší míře.

¹⁴ Vinětce je ztmavnutí v okraji snímku způsobené postupným ubýváním přeneseného světla s rostoucí vzdáleností od optické osy dalekohledu.

JUPITER POMOCÍ CCTV A DLOUHOHONISKOVÉHO DALEKOHLEDU

Objekt	Jupiter
Fotografický přístroj	CCTV <i>Watec903H</i> + grabovací karta <i>Leadtek WinFast VC100XP</i>
Optika	SCT Meade 3050/305
Montáž	Azimutální vidlicová Meade LX200
Metoda zpracování	<i>Registax 4</i>
Pozorovací stanoviště	Bažantnice, Plzeň Sever
Čas pozorování	14. 08. 2007 20.38 UT

Videoastrofotografie pomocí CCTV nepatří k nejjednodušším metodám, minimálně z důvodu složitosti pozorovací techniky. Kromě samotné kamery a dalekohledu s montáží je nutné i další zařízení pro optickou kontrolu obrazu snímaného kamerou a zařízení pro uložení obrazových dat.



Obr. 12: Planeta Jupiter se dvěma měsíci

V mém případě se jednalo o stolní počítač s klasickým monitorem CRT, vybavený grabovací kartou *Leadtek WinFast VC100 XP*. Počítač byl umístěn na stole vedle dalekohledu. Zejména z hlediska šetrnosti k výpočetní technice to není nešťastnější řešení, protože rosení v průběhu noci není pro běžné stolní počítače vhodné. Přes počítač i monitor jsem měl proto přehozenou deku, která z větší části rosení zabraňovala a zároveň příliš nebránila ventilaci počítače. Navíc deka utlumila záření monitoru, které by jinak rušilo pozorování ostatních účastníků astronomického tábora.

Katadioptrický dalekohled *MEADE SCT 305/3050* na elektronicky řízené vidlicové montáži *LX200* jsem použil hlavně pro jeho velký průměr. Montáž byla v klasické azimutální konfiguraci, jelikož při použitých expozičních časech a celkové délce natočené videosekvence nedošlo ke zdatelnému stočení pole.

KOMETA HOLMES NA DVA ZPŮSOBY

Objekt	Kometa P17/Holmes
Fotografický přístroj	DSLR <i>Canon EOS 350D</i>
Optika	<i>Refraktor Celestron ED 80/600 a teleobjektiv Tair 3-S 300/4,5</i>
Montáž	Rovníková Synta HEQ5
Metoda zpracování	Adobe Photoshop
Pozorovací stanoviště	Hvězdárna a planetárium Plzeň, U Dráhy 11
Čas pozorování	28. 11. 2007 19.25–21.35 UT

Na podzim loňského roku tato celkem nenápadná kometa překvapila snad všechny astronomy světa. Při tzv. *burstu* v průběhu několika hodin zjasnila více než stotisíckrát a z nenápadné komety na hranici pozorovatelnosti běžnými amatérskými dalekohledy se stala jedna z nejjasnějších komet posledních let, překonaná snad jen druhou loňskou „superkometou“ *McNaught*, viditelnou i na denní obloze.

V několika dnech po *burstu* se kolem komety Holmes vytvořily dva oblaky, jeden plynný a druhý prachový, a vzniklo tak klasické koma komety, které postupně přešlo i do ohonu kuželovitého či šípovitého tvaru.

V ukázce jsou dvě fotografie této komety z jedné noci, každá pořízená jinou optikou. Srovnáním obou snímků je patrné, že použitá optika má zásadní vliv na výslednou kvalitu obrazu. Navíc tyto fotografie dokazují, že v extrémních případech, jakým tato kometa bezpochyby je, je možné běžně fotografovat i z města.



Kometa P17/Holmes přes ED80/600



Kometa P17/Holmes přes Tair 3-S 300/4,5

Obr. 13: Dvě fotografie těžé komety pořízené v jedné noci různými objektivy

POHYB KOMETY NA HVĚZDNÉM POZADÍ

Objekt	Kometa P73/Schwassmann-Wachmann 3
Fotografický přístroj	DSLR <i>Canon EOS 350D</i>
Optika	Refraktor <i>Celestron 150/750</i>
Montáž	Rovníková <i>Synta HEQ5</i>
Metoda zpracování	Ořezání v <i>Adobe Photoshop</i> , animace v <i>foto2avi</i>
Pozorovací stanoviště	Louka nedaleko obce Čbán (49°55'53,4"SŠ, 13°9'23,9"VD)
Čas pozorování	04. 05. 2006 21.41–22.33 UT

Podobně jako pohyb hvězdné oblohy vůči zemi je možné nafotografovat pohyb rychle se pohybujícího objektu vůči hvězdnému pozadí. Vhodným kandidátem pro takové focení je průlet komety v blízkosti Země. V případě komety je ovšem nutné, aby byl fotoaparát umístěn na montáži s pohonem a hvězdy neměnily polohy.

Na ukázce v elektronické příloze je animace komety P73/Schwassmann-Wachmann 3 v období jejího těsného průletu kolem Země v roce 2006. Fotografie byly pořízeny pomocí světelného refraktoru *Celestron 150/750* na rovníkové montáži *Synta HEQ5*. Animace byla vytvořena v programu *foto2avi* bez předchozích úprav snímků.

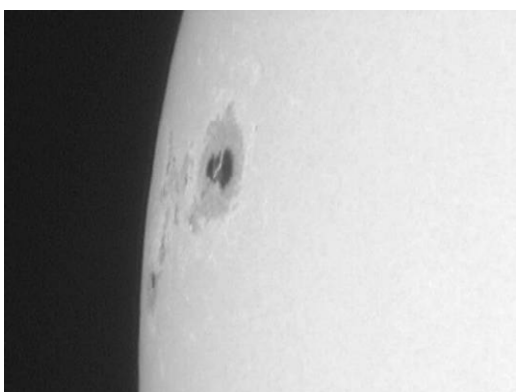
Na podobných animacích je možné zachytit i pohyby planetek. Limitujícími faktory přitom jsou úhlová rychlost pohybu objektu po obloze a jasnost objektu. Pokud se bude těleso pohybovat příliš pomalu, bude nutné provést dlouhou pozorovací řadu, například i několik nocí, což se na animaci neblaze projeví tím, že nebude plynulá. Plynulosti by nabyla až při snímkování jednou za den, respektive jednou za noc.

DETAILY VE SLUNEČNÍ FOTOSFÉŘE

Objekt	Slunce – fotosféra
Fotografický přístroj	Webkamera bez optiky <i>Logitech Quickcam 4000Pro</i>
Optika	<i>MC Carl Zeiss 150/2250</i>
Montáž	Rovníková <i>Carl Zeiss</i>
Metoda zpracování	Registrace v programu <i>Registax 3</i>
Pozorovací stanoviště	Bažantnice, Plzeň-sever (49°56'2,3"SŠ, 13°16'30,8"VD)
Čas pozorování	16.–23. 07. 2004

Nejvýraznější útvary sluneční fotosféry jsou sluneční skvrny, což jsou chladnější místa na viditelném povrchu Slunce. Mnohdy se vyskytují ve skupinách a jsou jedním z důsledků sluneční aktivity. Hojnost jejich výskytu je závislá na aktuálním stavu jedenáctiletého cyklu sluneční aktivity.

Obzvláště rozvinutější skupiny skvrn jsou mnohdy velmi bohaté na detailní útvary, které



Obr. 14: Rozvinutá skupina slunečních skvrn nedaleko okraje slunečního disku

při celkových fotografiích slunečního disku nevyniknou a na řadu nastupují metody obdobné zachytávání videa planet a následnému zpracování s „vytažením“ detailů. Jednotlivé skupiny skvrn, nebo jejich větší celky, je možné natočit pomocí videosekvence přes webkameru nebo CCTV umístěnou v ohnisku dlouhofokálního dalekohledu vybaveného kvalitním slunečním filtrem.

V současné době je Slunce v minimu své aktivity a skvrny se na jeho povrchu vyskytují jen velmi zřídka. Pro ukázkou jsem použil videosekvence z doby před sestupem Slunce do minima, když o výrazné skupiny skvrn nebyla nouze. Bohužel, technická kvalita některých nahrávek není valná, protože jsem tehdy neměl příležitost využívat rychlejší připojení USB 2.0, které by umožnilo kvalitnější přenos videosignálu do počítače.

Sekvence jsou zpracovány v programech *Registax 2* a *Registax 4*.

FOTOGRAFIE LETADLA PŘELÉTÁVAJÍCÍHO PŘED SLUNEČNÍM DISKEM

Objekt	Měsíc, Slunce, letadlo
Fotografický přístroj	DSLR <i>Canon EOS 350D</i>
Optika	Refraktor <i>Celestron ED 80/600</i> + fotografický extender <i>Revue 2x</i>
Montáž	Rovníková <i>Synta HEQ5</i>
Metoda zpracování	<i>Adobe Photoshop</i>
Pozorovací stanoviště	Španělsko
Čas pozorování	03. 10. 2005 09.05 UT

V průběhu prstencového zatmění Slunce jsem fotografoval s pomocí dalekohledu *Celestron ED 80/600* s fotografickým prodlužovačem (*extenderem*) zvětšujícím ohniskovou vzdálenost dalekohledu na dvojnásobek. Při takovém ohnisku má Slunce na čipu *Canonu EOS 350D* rozumnou velikost asi $\frac{3}{4}$ kratší strany políčka.

Jen několik minut po kontaktu T_3 , když bylo Slunce ještě z velké části zakryté Měsícem a kdy na obloze vytvářelo pouhý srpek, přes něj přelétlo letadlo. Naštěstí jsem zrovna v té



Obr.15: detail letadla promítnutého na částečně zatmělém Slunci

chvíli hleděl do hledáčku fotoaparátu s prstem na spoušti, protože jsem se chystal vyfotografovat další snímek v rámci série. Napůl díky duchapřítomnosti a napůl díky štěstí se mi podařilo přelétávající letadlo vyfotografovat, ačkoli je na srpku Slunce promítnuta pouze jeho ocasní část a turbulentní proudy za jeho motory a konci

křidel. Při fotografování mi nahrál fakt, že letadlo nejprve přelétlo přes cíp Slunce a podruhé přelétlo přes tlustší středovou část srpku. Měl jsem tedy čas k tomu, v rychlosti si uvědomit,

co se děje, a počkat si na to, až bude celé letadlo vidět. Bohužel vhodný zlomek sekundy jsem promeškal, a tak je na fotografii z letadla pouze část.

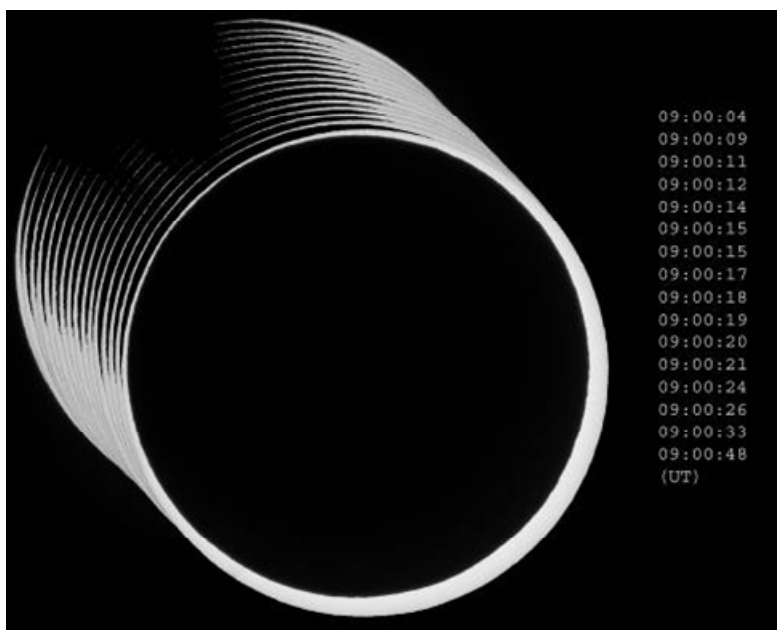
Při zpracování fotografie jsem se snažil o získání co nejlepších detailů. Naštěstí jsem měl dalekohled velmi dobře zaostřený a navíc šlo o dalekohled ED, který se vyznačuje kvalitní kresbou a minimální barevnou vadou, která by v detailním výřezu vadila. Bohužel byl v soustavě dalekohledu i méně kvalitní optický prvek v podání prodlužovače ohniska, který barevnou vadu vytvářel. Z toho důvodu jsem se rozhodl zpracovat fotografii pouze v jednom barevném kanálu, díky čemuž se ostrost fotografie zvýšila a celkový dojem byl beze změny, protože použitý sluneční filtr vytváří černobílý obraz.

V *Adobe Photoshopu* jsem vyseparoval pouze zelený kanál, který mi přišel ze všech tří nejostřejší a dále jsem pracoval pouze s ním. Dále jsem lehce upravil úrovně a křivky a provedl šetrné doostření.

MOZAIKA PŘELOŽENÝCH SNÍMKŮ PŘI PRSTENCOVÉM ZATMĚNÍ SLUNCE

Objekt	Měsíc, Slunce
Fotografický přístroj	DSLR <i>Canon EOS 350D</i>
Optika	Refraktor <i>Celestron ED 80/600</i> + fotografický extender <i>Revue 2x</i>
Montáž	Rovníková <i>Synta HEQ5</i>
Metoda zpracování	<i>Adobe Photoshop</i>
Pozorovací stanoviště	Španělsko
Čas pozorování	03. 10. 2005 09.01 UT

Při prstencovém zatmění Slunce lze pozorovat podobný jev, jako jsou tzv. *Bailyho perly* viditelné při úplném zatmění Slunce. Měsíční kotouč se postupně nasouvá přes kotouč Slunce a sluneční „prsteneček“ se stále více uzavírá. Hory a další vyvýšeniny na okraji Měsíce společně s údolími narušují rovnoměrnost tohoto jevu a v oblasti údolí se sluneční kotouč objevuje dříve a naopak v oblasti hor je zakryt déle. Tímto způsobem je možné sledovat reliéf povrchu Měsíce a díky tomu, že známe i rychlost pohybu Měsíce, která je vůči pozemskému pozorovateli přibližně $1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, můžeme z času trvání tohoto jevu odhadnout i výšku povrchových útvarů.



Obr. 16: Mozaika postupného uzavírání prstence při prsten-
covém zatmění Slunce

znázornit celý průběh reálně tím, že některé snímky jsou v animaci zobrazeny delší dobu. Ta-
to animace je v elektronické příloze.

U mozaiky je přiložen
sloupek časů, ve kterých byly
fotografie postupně
pořizovány, protože na
mozaice jsou jednotlivé
snímky vždy posunuty
o stejnou vzdálenost. Je to na
pohled příjemnější, ovšem
vypovídací hodnota průběhu
děje je porušena. Proto jsem
kromě mozaiky udělal
i videosekvenci v programu
foto2avi, kde jsem se pokusil

PŘECHOD VENUŠE PŘES SLUNEČNÍ DISK 2004

Objekt	Venuše, Slunce
Fotografický přístroj	Webkamera <i>Logitech QuickCam 4000Pro</i>
Optika	<i>Carl Zeiss MC 150/2250</i>
Montáž	Rovníková montáž <i>Carl Zeiss</i>
Metoda zpracování	Registrace v <i>Registax 4</i>
Pozorovací stanoviště	Hvězdárna a planetárium Plzeň, U Dráhy 11
Čas pozorování	08. 06. 2004 4.35–10.35 UT

Na rozdíl od přechodů Merkuru přes sluneční disk, které je možné pozorovat téměř každé
desetiletí, přechody Venuše jsou velmi vzácné a dochází k nim jen asi čtyřikrát za čtvrt tisíci-
letí a v tomto intervalu navíc nenastávají rovnoměrně, ale vždy dvakrát po necelých deseti le-
tech a pak přibližně po 120 letech. Přechod v roce 2004 byl první po 120 letech, a proto byla
na jeho pozorování vyhlášena mohutná kampaň. Já jsem použil k snímání tohoto jevu web-
kameru umístěnou v primárním ohnisku dalekohledu *Carl Zeiss MC 150/2250*. Naštěstí bylo

v průběhu úkazu velmi pěkné počasí, a tak bylo možné nasnímat jev v celém průběhu. Bohužel jsem v té době neměl k dispozici dostatečně výkonnou výpočetní techniku a navíc jsem s webkamerami neměl žádné zkušenosti, takže pořízené videosekvence nejsou příliš kvalitní. Zapůjčený notebook byl vybaven pouze rozhraním USB1.1, které nemělo dostatečnou přenosovou kapacitu k přenosu nekomprimovaného videa a disková kapacita neumožňovala uložení dostatečného množství nekomprimovaných videosouborů. Z toho důvodu jsou videosekvence značně degradovány jednak sníženým počtem snímků, zachycených za jednu sekundu a také komprimací obrazových dat před uložením.

I přes tyto obtíže bylo možné zpracováním videosekvencí odhalit některé zajímavosti související hlavně s jevy při vstupu a výstupu kotoučku planety na okraji slunečního disku.

DETAILY SLUNEČNÍ CHROMOSFÉRY

Objekt	Slunce – chromosféra
Fotografický přístroj	DSLR <i>Canon EOS 350D</i>
Optika	Refraktor s úzkopásmovým telecentrickým systémem <i>Baader Solar Spektrum 100/2800mm</i>
Montáž	Rovníková <i>Synta EQ6 SkyScan</i>
Metoda zpracování	Separace kanálů, barevné korekce, doostření a zmenšení v <i>Adobe Photoshop</i>
Pozorovací stanoviště	Hvězdárna a planetárium Plzeň, U Dráhy 11
Čas pozorování	19.03.2006 14.22UT

Fotografování sluneční chromosféry je oblast astrofotografie pro amatéry stále značně uzavřená, neboť k odfiltrování zářivější fotosféry je nutné použít drahý úzkopásmový filtr propouštějící pouze velmi úzce ohraničenou oblast spektra na čáře H α , případně na čáře K. Hvězdárna a planetárium Plzeň již dva roky vlastní speciální dalekohled, vybavený potřebnými optickými prvky pro pozorování sluneční chromosféry. Tento dalekohled o průměru objektivu 100 mm využívá tzv. *telecentrický systém*, který čtyřikrát prodlužuje ohniskovou vzdálenost a vytváří na výstupu svazek téměř rovnoběžných paprsků, které jsou nutné pro

správnou funkci úzkopásmového H α filtru laděného temperancí¹⁵, umístěného nedaleko před okulárem. Z důvodu bezpečnosti a ochrany drahého filtru je navíc před objektivem předřazen tzv. *energetický filtr*, nepropouštějící nebezpečnou infračervenou složku slunečního záření.

Vzhledem k přítomnosti telecentrického systému je ohnisková vzdálenost 2 800 mm a fotografování s takovým ohniskem je značně náchylné na atmosférické podmínky, hlavně na turbulentní proudění způsobující seeing.



Obr. 17: Detail sluneční protuberance

Samotné zpracování snímků je dost neobvyklé, protože je nutné separovat z jednotlivých kanálů nejzajímavější partie chromosféry a ty pak vhodně prolnout ve výsledném snímku. Ze zkušenosti se ukazuje, že pro lepší výsledek by měly být snímky mírně přexponovány. V červeném kanálu pak dominuje okraj Slunce s protuberancemi, naopak v ostatních kanálech se skrývá ucelenější obrazová informace ze slunečního disku, který je v červeném kanále přexponovaný.

MOZAIKA MLÉČNÉ DRÁHY

Objekt	Mléčná dráha a okolí
Fotografický přístroj	DSLR <i>Canon EOS 350D</i>
Optika	<i>Helios-44 58/2</i>
Montáž	Rovníková <i>Synta HEQ5</i>
Metoda zpracování	<i>Adobe Photoshop</i>
Pozorovací stanoviště	Louka nedaleko obce Čbán
Čas pozorování	30.08.2005 0.05–0.45UT

¹⁵ Vlnové délky, které jsou úzkopásmovým filtrem propouštěny závisí na teplotě filtru. Drobnými změnami teploty lze měnit právě propouštěnou oblast spektra a tím filtr ladit.

Při fotografování kratším objektivem na montáži s pohonem lze vytvořit mnohdy velmi zajímavé mozaiky větších částí oblohy. Já jsem při jednom fotografickém výjezdu v rámci testování fotografického objektivu *Helios-44 58/2* vyfotografoval postupně velkou část Mléčné dráhy. Ukázalo se, že objektiv pro astrofotografii není vhodný, protože kromě barevné vady má v okrajových partiích i značný astigmatismus a zkreslení. Přesto jsem pro jeho fotografie našel využití. V programu *Adobe Photoshop* jsem snímky přibližně poskládal a zmenšil na únosnou mez. Tím se ztratily nedokonalosti způsobené jednak samotnými vadami objektivu a jednak nepřesným sesazením, způsobeným právě zkreslením objektivu.

Ve vzniklé mozaice je možné dále například vyznačit spojnice souhvězdí a použít ji jako vyhledávací nebo přehledovou mapku, nebo více vytáhnout struktury Mléčné dráhy a zvýraznit tak prachová mračna v rovině naší Galaxie. Na nezmenšeném originálu jsou i rozpoznatelné některé *deep-sky* objekty.

Při fotografování je nutné věnovat zvýšenou pozornost dostatečnému navazování snímků a vyfotografování dostatečně velké oblasti i kolem hlavního motivu mozaiky. Bohužel v případě této mozaiky jsem navázání snímků příliš nedodržel, a proto má výsledek velmi kostrbatý a neupravený okraj.

10. GLOSÁŘ

Airyho disk	Nejvýraznější, středová část rozptylného kotoučku, vytvořeného promítnutím bodového zdroje světla objektivem do ohniskové roviny.
autoguider	Elektronické zařízení umožňující automaticky vyhodnocovat pohyb hvězdy v zorném poli a korigovat chod motorů montáže, aby byl tento pohyb vyrovnán.
Bailyho perly	Jev pozorovatelný při úplném zatmění Slunce. Několik sekund před počátkem úplné fáze zatmění probleskuje světlo slunečního kotouče již jen údolími na okraji měsíčního disku. Dříve celistvý srpeček Slunce se tím rozdrobí na drobnější části, přezdívané Bailyho perly.
barrel	Válcová část okuláru určená k zasunutí do okulárového výtahu je obvykle nazývána slovem barrel pocházejícím z angličtiny.
burst	Výraz z angličtiny, znamenající výbuch, nebo popraskání.
CR2	Koncovka obrazového souboru RAW, vytvořeného pomocí některým z pozdějších modelů fotoaparátů značky Canon, například Canon EOS 350D. Jde o upravený formát CRW používaný u dřívějších modelů (například Canon EOS 300D)
dalekohled Coudé	Typ uspořádání čočkového dalekohledu, jehož tubus je dvakrát zalomený a s pomocí zrcadel je v něm světlo procházející objektivem směřováno do nepohyblivé okulárové části umístěné obvykle v polární ose montáže dalekohledu.
dalekohled ED	V dalekohledech označených zkratkou ED (extra low dispersion) je použito optického skla s velmi malým rozptylem světla. Tato vlastnost snižuje vliv barevné vady. Využití ED skel zvyšuje optickou kvalitu levnějších čočkových dalekohledů, protože jejich dvojčlenné objektivy se svými vlastnostmi mohou více přiblížit vlastnostem výrazně dražších trojčlenných objektivů.
dalekohled MC	Dalekohledy MC patří do skupiny katadioptrických dalekohledů, neboli dalekohledů využívajících čočky i zrcadla zároveň. MC je zkratkou slov Meniscus Cassegrain a jde o vylepšený zrcadlový systém cassegrain opatřený meniskovým korektorem před zrcadlem.
dalekohled SCT	Dalekohledy SCT patří také do skupiny katadioptrických systémů.

	Před zrcadlem je umístěna speciálně probroušená, téměř rovinná korekční deska, pojmenovaná po svém konstruktérovi Schmidtova. SCT je zkratka slov Schmidt Cassegrain Telescope.
deep-sky objekty	Jde o souhrnný název objektů vzdáleného vesmíru. Mezi hlavní zástupce patří hvězdokupy, galaxie a mlhoviny.
extender	Je cizí výraz pro prodlužovač ohniska. Obvykle jde o celkem jednoduchou rozptylnou čočku umístěnou před ohniskovou rovinou objektivu. Této čočce se říká Barlowova podle jejího konstruktéra. Mohou ale existovat i složitější prodlužovače ohniska složené z více optických členů.
fotosféra	Fotosféra je spodní ze tří vrstev sluneční atmosféry.
freeware	Jde o označení volně šiřitelného software.
Hartmannova maska	Zaostřovací pomůcka, propouštějící světlo do optické soustavy pouze třemi otvory nedaleko obvodu objektivu.
chromosféra	Chromosféra je prostřední ze tří vrstev sluneční atmosféry.
jas oblohy	Převážně rovnoměrné osvětlení oblohy, způsobené odrazem a rozptylem světla na částicích v atmosféře. Její intenzita je limitující pro délku expozice a její vliv je výrazný se světelností použité optické soustavy.
kanál (barvonosný)	Barevný digitální obraz je složen z několika barvonosných kanálů. Obvykle jsou kanály tři nebo čtyři. Například systém RGB vhodný pro zobrazování na monitoru či televizi, nebo CMYK vhodný k tisku.
koróna	Koróna je svrchní vrstva sluneční atmosféry.
magnituda	„Jasnost“ objektu, jinak hvězdná velikost.
matnice	Součást hledáčku DSLR a ostatních zrcadlovek. Je to průsvitná skleněná nebo plastová destička, na které se vytváří obraz promítnutý objektivem.
Mléčná dráha	Promítnutí naší Galaxie, jako světlého pásu na obloze.
objektiv dalekohledu	Čočkový, zrcadlový nebo kombinovaný vstupní člen optické soustavy, soustřeďující paprsky do ohniska.
okulár dalekohledu	Čočkový člen optické soustavy, promítající obraz vytvořený objektivem dalekohledu do oka.
periodická chyba	Mechanická nepřesnost šnekového převodu montáže způsobující

	periodické kolísání rychlosti otáčení montáže.
pixel	Základní prvek digitálního obrazu, fotocitlivá buňka snímače obrazu, nebo základní zobrazovací bod monitoru.
protuberance	Jev viditelný ve sluneční chromosféře nad okrajem slunečního disku. Jde o sluneční plazma vynesené nad povrch magnetickým polem v okolí aktivních oblastí Slunce.
RAW	Formát digitálního obrazu, obsahující neupravená data přímo z obrazového snímače.
reflektor	Typ astronomického dalekohledu, využívající jako objektiv duté zrcadlo.
refraktor	Typ astronomického dalekohledu, využívající čočkový objektiv.
sluneční skvrna	Úkaz pozorovatelný ve sluneční fotosféře v aktivních oblastech Slunce. Teplota sluneční skvrny je až o 1 500 K chladnější, než okolní fotosféra.
telecentrický systém	System určený k pozorování sluneční chromosféry na čáře $H\alpha$ s pomocí úzkopásmového filtru a speciálního prodlužovače ohniskové vzdálenosti, na jehož výstupu jsou paprsky téměř rovnoběžné (na rozdíl od běžných prodlužovačů ohniskové vzdálenosti tvořených jednoduchou rozptylkou – Barlowových členů).
TIFF	Formát obrazových souborů, umožňující uchovávat bezstrátově obrazové informace s bitovou hloubkou až 32 bitů v každém kanálu.

11. ZÁVĚR

Tato práce prošla v průběhu tvorby jistým přerodem. Výsledek je nakonec v některých částech strožejší, než jsem očekával, na druhou stranu některým částem jsem věnoval více prostoru, než jsem měl v plánu. Přesto se nemohu ubránit neustálému pocitu, že některé věci nebyly zmíněny vůbec, nebo jsem se jich dotkl pouze okrajově. Mám pocit, že jsem se dotkl pouze vrcholku ledovce a většina věcí zůstala nevyřčena.

Ačkoli jsem nakonec nevytvořil to co jsem z počátku chtěl, astrofotografickou kuchařku, přesto si myslím, že je možné takové dílo sepsat. Rozhodně to ale není téma pro bakalářskou práci, spíše pro práci diplomovou a ani tím si nejsem zcela jist. Když zpětně vidím svůj text, uvědomuji si, že naprostá většina je sepsána čistě z mé hlavy, na základě osobních zkušeností a věcí, které jsem se o fotografování naučil. A i tak by bylo pravděpodobně možné tento text ještě rozšířit a věnovat se některým aspektům astrofotografie více do hloubky. Mám ale obavu, že by se tím obsah práce ještě více polarizoval, protože již teď je v textu věnováno více prostoru technikám, se kterými mám nejvíce zkušeností a mohu je tedy lépe popsat.

Kdyby měla někdy vzniknout další, rozsáhlejší práce s tímto nebo podobným tématem, mám pocit, že by měla skloubit řadu osobních zkušeností s větším množstvím teoretických informací, s tím, že by bylo vhodné popsat, co je ve skutečnosti podstatné a co jsou jen doplňující záležitosti bez valnějšího dopadu na praktickou stránku věci, o kterou by podle mého mělo jít nejvíce.

Jistě by stálo za to věnovat více prostoru například pozorovací technice a montážím, dále kapitole o chybách ve snímcích a o hledání a odstraňování jejich příčin, kterou jsem nakonec zcela vynechal, protože v rozsahu, jaký bych jí mohl věnovat, by zřejmě nebyla příliš pochopitelná a názorná. Jistě by nebylo na škodu ani srovnání výsledků amatérské digitální astrofotografie s výstupy z profesionálních CCD kamer a také porovnání profesionálních programů pro zpracování se mnou prezentovanými volně šiřitelnými programy.

Zcela na závěr bych rád řekl, že pevně doufám, že astrofotografie a to zřejmě hlavně ta digitální, má před sebou ještě dalekou budoucnost a můžeme doufat, že její vývoj bude dále pokračovat a že se máme na co těšit. Vždyť dnešní amatérské snímky oblohy v mnohém překonají profesionální snímky z velkých dalekohledů staré 20 či 30 let a vývoj jde stále kupředu. Na druhé straně se neustále zhoršuje problematika světelného znečištění a musíme doufat, že i v příštích desetiletích nám v Evropě zůstane obloha alespoň na podobné úrovni, jako je dosud. Protože pokud ne, nezbuďte toho na obloze mnoho, co by stálo za fotografování.

PŘEVZATÉ MATERIÁLY

1. URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/CCD> [cit. 9. března 2008]
2. URL: http://cs.wikipedia.org/wiki/Digitální_fotoaparát [cit. 9. března 2008]