Fotometrie proměnných hvězd snadno a rychle aneb Jak na to ?

RNDr. Petr Svoboda

Abstrakt: *Cílem článku je seznámit potenciální zájemce o fotometrii hvězdných objektů se základními předpoklady, vybavením a pravidly pro úspěšné zvládnutí CCD fotometrie proměnných hvězd od přístrojového vybavení a výběru pozorovacího stanoviště až po získaní kvalitních dat*

Díky rozvoji techniky a technologií je v dnešní době oblast praktické realizace amatérského astronomického pozorování s vědecky publikovatelnými výsledky nesrovnatelně snazší než tomu bylo např. před deseti lety. Éra nákladných fotoelektrických fotometrů, které sice mají v určitém směru svoje přednosti, byla vystřídána obdobím lehkých a poměrně levných polovodičových detektorů CCD, které pro svůj provoz vyžadují běžně používané napájecí zdroje a jsou vybaveny spolehlivě fungujícím programovým vybavením, zajišťujícím komunikaci s osobním počítačem. I když se ukazuje, že CCD fotometrie má svoje hranice a to především v přesnosti a spektrálním rozsahu, tak tyto negativní jevy jsou ve značné míře kompenzovány její vysokou citlivostí a možností plně automatického provozu. Řekl bych, že právě tyto dvě vlastnosti učinily z těchto detektorů to, co jsou dnes, protože úsilí pozorovatele při získání např. světelné křivky proměnné hvězdy je pomocí CCD neporovnatelně snazší než v případě užití klasického fotoelektrického fotonásobiče (pokud samozřejmě uvažujeme o výrobcích stejné cenové kategorie, která je cenově dostupná tuzemskému zájemci). Druhý, již zmíněný aspekt, je citlivost těchto detektorů, protože je lze použít v kombinaci s dalekohledem nebo obdobným optickým systémem jako třeba s klasickým fotografickým objektivem od průměru 1 cm výše. Zvolený průměr a s tím související i ohnisková vzdálenost, pak ve spojení s konkrétním typem CCD kamery udává rozsah použití takového kompletu a také vhodnost pro realizaci daného úkolu.

Než se začneme podrobně zabývat jednotlivými aspekty dané činnosti, chtěl bych apelovat na potenciální zájemce v přístupu k této problematice. Za těch několik desítek let, co se s přestávkami věnuji této činnosti, jsem zjistil, že téměř u 100% uživatelů a zájemců je realizován přesně opačný postup výstavby vhodného měřícího systému než ten, který by jim za méně vložených prostředků a méně času přinesl kvalitnější data. Samozřejmě existují i výjimky, ale těch by se dalo spočítat na prstech jedné ruky. Základní problém je totiž v tom, že uživatelé a konstruktéři nejprve koupí nebo postaví dalekohled, montáž, vyberou podle jejich představ vhodnou CCD kameru a až mají celý komplet téměř dokončen, tak začínají zjišťovat, jaký pozorovací program by byl pro ně vhodný. Samozřejmě, že někdy to jinak udělat nelze a to v případě, že je tento systém již vybudován předchozími aktéry nebo institucemi. Ale i v tomto případě je dobré si předem velmi dobře rozmyslet, co a jak chci vlastně dělat, vybrat vhodný pozorovací program (a to nejen co se týká dosahu mého přístroje, ale také např. dostupnosti daného přístroje pozorovateli nebo umístění pozorovacího stanoviště) a potom zvážit, jestli je daná aparatura k tomuto účelu vhodná. A v případě že ne, pak skutečně stojí za úvahu, zda by s vynaložením ne velkých investic nemohla být přebudována k danému účelu. Samozřejmě v případě, že se celý systém staví „na zelené louce“ tedy od základu, je tento postup (nejprve výběr vhodného pozorovacího programu a teprve poté obstarání daného technického vybavení) jednoznačně efektivnější než opačný. Za svoji kariéru jsem se setkal už s velmi mnoha zklamanými kolegy, kteří po několika letech dostali svůj dalekohled a jeho veškeré doplňky do, dle nich, použitelné podoby a když začali zjišťovat, co by s takovým přístrojem bylo možné dělat, tak došli k závěru, že pro něj vlastně není vhodný pozorovací program. Zklamání z tohoto zjištění si snad dovede každý představit.

Nyní již přejděme k jednotlivým aspektům a výběru vhodného vybavení pro fotometrii hvězd

a) Výběr pozorovacího stanoviště

Ačkoliv se zdá být tato podmínka pro astronomické pozorování kritická a článků o světelném znečištění je mnoho, pro CCD fotometrii nehraje pozorovací stanoviště až tak velkou roli. Z jedné strany je tento fakt dán tím, že i v lokalitě s velkým množstvím parazitního světla (jako jsou třeba velkoměsta) lze s úspěchem měřit jasnější proměnné hvězdy (řekněme do 12 mag. při užití dalekohledu o průměru 20 cm) a dále tím, že pro dnešní fotometrii je užití fotometrických filtrů naprostou nezbytností, ale o tom až později. Snad je dobré jen zdůraznit, že jediná principiální podmínka v tomto směru je ta, aby na dalekohled, kameru a především do tubusu nešlo lokální parazitní světlo jako např. od pouličních lamp. Pro fotometrii není ani tak na závadu celkové homogenní ozáření oblohy, ale naprosto kritické jsou lokální zdroje, které ozařují např. jen určitou část čipu CCD kamery a které se při sledování objektu po obloze vůči dalekohledu pochopitelně pohybují, takže v každém okamžiku má toto parazitní světlo jiný vliv. Příklad takového pozorovacího stanoviště v okrajové části Brna vidíte na obr. č.1:

Obr. č.1 – Pozorovatelna v okrajové části Brna stíněná před pouličním osvětlením

Praxe také ukazuje, že pro dolní limit jasnosti měřených objektů není průměr dalekohledu (!), pokud tedy neuvažujeme o časovém rozlišení v řádech sekund, ale kontinuální jas oblohy. To, co ve středu

Brna mohu měřit 40 cm dalekohledem, jsem na jeho kraji schopen měřit 20 cm a pokud se přemístím 30 km daleko tak mi na stejná data stačí i 10 cm optika.

b) Dalekohled

Pokud se někdo ze čtenářů někdy zabýval praktickou astronomií a zkoušel např. fotografovat hvězdné objekty, ví velmi dobře, že pro pořízení kvalitních snímků (což v podstatě je i CCD fotometrie) není dostačující mít pouze kvalitní optiku, ale především dostatečně robustní a kvalitní montáž, která celý systém dalekohledu a kamery nese. Z toho důvodu se budeme zabývat nejprve touto komponentou.

Rozsah tohoto příspěvku mi neumožňuje diskutovat a vysvětlovat jednotlivé typy, jejich přednosti a nedostatky a tak bych případné zájemce odkázal na odbornou literaturu, příp. na internet. Snad jen v krátkosti zdůrazním, že pro CCD fotometrii je naprostou nezbytností paralaktická montáž, která má jednu osu rotace orientovánu rovnoběžně se zemskou osou (polární osa) a druhou na ni kolmou. Tato konfigurace poté umožňuje pomalou rotací kolem polární osy kompenzovat rotaci Země, tak aby se na CCD čipu zachytily obrazy hvězd jako kotoučky ve tvaru kruhů, které jsou pro fotometrické potřeby nezbytností. Použití azimutálních montáží sice není z princip vyloučeno, ale v tom případě je nutné použít tzv. derotátor pole, který kompenzuje stáčení oblohy u těchto typů montáží. Bohužel to není ale všelék a např. vylučuje pozorování v zenitu, což spolu s jeho pořizovací cenou a komplikovaných technickým vybavením jej velice diskriminuje. Z toho důvodu bych tuto cestu nedoporučoval. Vlastní montáž má být adekvátní použité optice, protože asi jinou použijete na dalekohled o průměru 50 cm a jinou ve spojení s fotografickým objektivem o průměru 30 mm, i když samozřejmě na montáži pro půlmetrový dalekohled lze jistě přichytit CCD kameru s 30 mm objektivem a úspěšně odměřit jasnou hvězdu :-).

V našich končinách se setkáte nejčastěji s německými typy paralaktických montáží a mezi amatéry jsou ve veliké oblibě např. montáže čínské firmy SYNTA, které nesou označení EQ-6 SkyScan (viz. Obr.2)

Obr. č.2 – Německá montáž EQ-6 SkyScan

Tato montáž je vybavena jednak GO-TO systémem, který umožňuje propojení s osobním počítačem přes sériový port a její automatické řízení a dále tzv. autoguider portem, který ve spojení s autoguidovým systémem kompenzuje malé nepřesnosti v jejím chodu (především tzv. periodickou chybu). Z praktického hlediska je tato montáž použitelná pro zatížení na kříži do 30 kg a z hlediska velikosti dalekohledu je její použití omezeno na dalekohledy do průměru 20 cm a délce tubusu do 100 cm. Úmyslně uvádím délku tubusu a nikoliv světelnost, protože na ni lze bez problémů umístit Newton o průměru 20 cm se světelností 1:5, stejně tak jako Schmidt-Cassegrain o průměru 20 cm, světelnosti 1:10 a délce tubusu včetně rosnice 80 cm. Není ale možné (především z důvodu velkých pák) ji osadit optikou o průměru 20 cm a konstrukční délce odpovídající světelnosti 1:10 ! Ceny a další parametry lze pak nalézt v internetových odkazech v závěru tohoto článku.

Pro malé optické systémy (např. fotografické objektivy ve spojení se CCD kamerou) je pak naprosto dostačující velmi populární paralaktická montáž za téměř lidovou cenu a to EQ-3-2 (viz. Obr.3), kterou je zapotřebí pouze dovybavit hodinovým strojem.

Obr.3 – Lehká paralaktická montáž EQ-3-2

Pochopitelně tato montáž už kvůli své ceně nedosahuje ani po stránce nosnosti, ani výbavy parametrů předchozího typu, ale zase na druhou stranu je velmi snadno transportovatelná a pro ohniska objektivů do 200 mm ve spojení se CCD kamerami velmi dobře použitelná. Příklad takové konfigurace s kamerou SBIG ST-7XME a fotografickým objektivem Sonnar 135/3.5 vidíte na Obr.4.

I když jsem v úvodu této části psal, že se nebudu zmiňovat o výhodách a nevýhodách jednotlivých montáží, přesto bych rád upozornil na dva aspekty, které jsou právě pro CCD fotometrii velmi důležité. První je existence tzv. mrtvé zóny u německých montáží. O co se jedná ? Při užití montáže (přesněji její paralaktické hlavy) na klasickém stojanu ve tvaru trojnožky vždy existuje určitá pozice dalekohledu (především tubusu), která způsobí jeho naražení do noh stativu. Proto vždy u německých paralaktických montáží při pozorování na východní hemisféře musíme mít dalekohled na západ od polární osy a při sledování objektu na západě naopak. Po průchodu meridiánem se musí německá montáž tzv. proložit, nebo-li otočit kolem polární osy dle výše uvedeného pravidla.

Obr.4 – Montáž EQ-3-2 s hodinovým strojem, CCD kamerou a objektivem Sonnar 135/3.5

Při běžném vizuálním sledování toto problém není, ale v okamžiku automatického provozu takového dalekohledu vzniká problém dohledu pozorovatele, aby k této situaci nedošlo. U těchto montáží nemá sice příp. naražení tubusu do stativu žádné destrukční účinky, ale pokud si toho obsluha nevšimne, pak po kolizi je drahý pozorovací čas nevyužit. Druhou věcí tohoto efektu je skutečnost, že pro fotometrické potřeby je nutno správně korigovat (kalibrovat) obrazovou rovinu, což se provádí tzv. Flat snímkem. Nároky na jeho kvalitu jsou pak při prokládání německé montáže nesrovnatelně větší než kdyby k tomuto prokládání nedocházelo a to z toho důvodu, že po proložení se nám obraz na CCD matici otočí o 180° a tedy jakákoliv nekorektnost Flat snímku se fatálním způsobem projeví na světelné křivce měřeného objektu. Z toho důvodu jsou pro fotometrické pozorování výhodnější tzv. anglické vidlicové montáže, které ale zatím u amatérů zabývajících se fotometrií nejsou zdaleka tak rozšířeny jako předchozí typy. Jejich příklady v azimutální konfiguraci vidíte na Obr.5 a 6. Pro užití CCD fotometrie je zapotřebí jejich dovybavení paralaktickým klínem.

Nyní se budeme věnovat optické konstrukci dalekohledu. Je dobré si uvědomit, že pro fotometrii není zdaleka zapotřebí všeobecně co nejkvalitnější optika, ale spíše naopak je žádoucí, aby optický systém nekreslil příliš ostře ! Neznamená to ale, že můžeme použít libovolnou třídu dalekohledů nebo dokonce budeme vybírat takové, které trpí největšími chybami, to v žádném případě. První a kritická podmínka spočívá v tom, že dalekohled by měl být, pokud možno, zcela prost barevné vady. Jinak řečeno, poloha ohniska pro různé vlnové délky by neměla být na těchto vlnových délkách závislá. Důvod je velice prostý. Užitím fotometrických filtrů (obvykle širokopásmových) vyřezáváme s optického spektra jen určitou část a potřebujeme mít zaručeno, aby se poloha ohniska pro jednotlivé filtry neměnila.

Obr.5 – Vidlicová montáž *Obr. 6 - Polovidlicová montáž*

Ze základů optiky víme, že např. refrakční členy (tedy takové, které obraz vytváří refrakcí jako např. čočkové objektivy) mají určitou závislost lomu světla na vlnové délce. Tato závislost je obvykle taková, že pro kratší vlnové délky je index lomu větší než pro dlouhovlnnou část spektra. Tudíž poloha ohniska např. pro modrou barvu bude blíže objektivu než pro barvu červenou. Tuto chybu lze kompenzovat tzv. fokusérem, který automaticky doostřuje obraz v závislosti na použitém filtru. Je to ale podobné jako při užití derotátoru, takže by bylo rozumnější se této cestě vyhnout. Z toho důvodu je pro CCD fotometrii výhodné používat co nejjednodušší optické systémy, které jsou založeny jen a pouze na reflexní optice (tedy takové, která obraz vytváří reflexí, jako např. zrcadlové objektivy). A nejjednodušší (a také nejlevnější) je optický systém Newton, který obsahuje pouze dvě odrazné vrstvy, netrpí barevnou vadou (úhel odrazu totiž nezávisí na vlnové délce světla) a vady, které má (jako např. koma u parabolických zrcadel) nehrají vzhledem k obvyklé velikosti CCD čipu tak velkou roli. Pro uvedené montáže je možné použít Newtony přibližně od průměru 100 do 200 mm (viz. Obr.7)

Obr.7 – Newton 200 mm se světelností 1:5

Zde bych si dovolil upozornit, že horní hranice je dána nosností montáže a dolní konstrukcí Newtonova systému, který neumožňuje při světelnosti kolem 1:4 až 1:5 dostatečné vytažení ohniska mimo tubus na CCD čip bez neadekvátního zvětšení sekundárního zrcátka.

V případě měření jasných hvězd (řekněme do 9 mag.) lze s výhodou použít fotografické objektivy, které ale musejí mít co nejmenší barevnou vadu. Je samozřejmé použití moderních objektivů pro digitální zrcadlovky v cenách desítek tisíc korun, ale pro naše účely bohatě vystačíme s bazarovými objektivy Sonnar (pro Prakticu, Zenit apod.), které se pro tyto účely velice dobře osvědčily. A přitom jejich cena je zlomkem ceny nových moderních objektivů, které sice kreslí velice ostře, ale jak jsem se zmínil výše, tato ostrá kresba je u fotometrie spíše na závadu. Rozdíl proti předchozímu zrcadlovému typu nespočívá pouze v průměru, ale také v tom, že se musíme smířit se skutečností, že tyto refrakční systémy jsou korigovány pouze pro viditelnou oblast spektra, takže jejich užití bez přeostřování pro fotometrický obor I není možné. Zrcadlové systémy tímto efektem netrpí a tím pádem je bez přeostřování můžeme použít v celém rozsahu citlivosti CCD detektoru.

Posledním typem optických systému jsou Cassegrainy (příp. modifikace Schmidt-Cassegrain označovaná zkratkou SCT), které sice mají obrovskou výhodu v krátké stavební délce tubusu (obvyklá délka tubusu bez rosnice je dvoj až trojnásobek průměru), ale bohužel na druhou stranu mají velmi malou světelnost (SCT 1:10, Cassegrainy ještě menší) a tudíž je nutné použití zkracovačů ohniskové délky (reduktorů ohniska).

c) CCD kamera

A nyní se dostáváme ke stěžejnímu bodu našeho systému – k detektoru. CCD (Charge-coupled device nebo-li nábojově vázané prvky) kamery se stali v posledních letech základním pracovním nástrojem pro fotometrii proměnných hvězd jednak svojí dostupností, stabilitou a poměrnou nenáročností použití. Přesto nejsou pro tuto činnost vhodné všechny druhy a zájemce o CCD fotometrii by si měl nejprve ověřit, jestli jeho zvolený typ má vhodné vlastnosti pro tuto oblast. Těmito vlastnostmi je především provedení CCD čipu Full Frame, NABG a monochromatičnost.

Full Frame – jedná se o takovou konstrukci čipu, která zaručuje, že je celá aktivní plocha čipu užita ke snímání obrazu, na rozdíl od tzv. Interline Transfer, u kterého je vždy část čipu použita k přesunu náboje a je tudíž pro dopadající záření slepá.

NABG – toto provedení se označuje také jako Non-ABG a označuje, že CCD čip NENÍ vybaven tzv. antiblomingovou elektrodou, která odvádí z čipu elektrický náboj, který vzniká v místě lokálního přesvětlení čipu (např., máme-li v zorném poli příliš jasnou hvězdu). Ono by samotné odvádění tohoto náboje nebylo na závadu, zvláště, pokud bychom tuto jasnou hvězdu vůbec neměřili, ale bohužel implementace tohoto vybavení v čipu má pro fotometrii jednu podstatnou nevýhodu a to v tom, že zaniká nejdůležitější vlastnost CCD prvků a to lineární závislost mezi množstvím vygenerovaného náboje a množstvím dopadnuvších fotonů. Samozřejmě i tato závislost má své hranice, ale u ABG čipů je natolik vzdálená od lineární závislosti, že užití těchto prvků ve fotometrii je prakticky nemožné a nebo velmi komplikované.

Monochromatičnost – Ať chceme nebo ne, měření hvězdných jasností je přeci jen minoritní část využití této techniky a nesrovnatelně větší uplatnění nalézají CCD čipy ve fotografických aparátech, kamerách a jiných elektronických zařízeních. Z toho důvodu výrobci produkují především čipy, které mají již ve své struktuře implementovány barevné filtry (bohužel ale ne fotometrické :-), které po zpracování vhodnou elektronikou dokáží vygenerovat barevně shodný obraz snímané scény. Fotometrické filtry ale mají natolik odlišné parametry (maximum propustnosti a pološířku) nehledě na velké množství různých fotometrických systémů, že je principiálně nutné pracovat pouze s takovými CCD prvky, které na sobě žádné filtry implementovány nemají a výslednou efektivní spektrální citlivost určujeme sami vložením vhodného fotometrického filtru do dráhy optickému svazku.

Z tohoto pohledu jsou pro naše účely nejvhodnější CCD kamery postavené na čipech firmy Kodak a to konkrétně typy KAF-0402, KAF-1603 a KAF-3200. Tyto čipy splňují výše uvedená kritéria (i když pochopitelně i jiní výrobci pravděpodobně produkují pro naše účely vhodné prvky) a současně jsou s jejich použitím dostatečně široké zkušenosti nehledě na několikaleté ověření jejich použitelnosti pro hvězdnou fotometrii. Kamery postavené na těchto prvcích jsou např. používány fy. SBIG (http://www.sbig.com viz. Obr.8) a v poslední době také velice slibně se rozvíjející výroba u fy. Moravské přístroje, a.s. (http://ccd.mii.cz viz. Obr.9).

Obr.8 CCD kamera SBIG ST-7XME s filtrovým karuselem

Obr.9 Pohled do těla CCD kamery G2 fy. Moravské přístroje a.s.

Důležitou součástí CCD kamery jsou ale ještě fotometrické filtry, jejichž vlastnosti jsou velmi často opomíjeny a které přitom ve velké míře ovlivňují kvalitu výsledných dat a především jejich reprodukovatelnost. Je nutné si uvědomit, že v případě, kdy budeme chtít naše dosažené výsledky publikovat, bude nutné převést změřená data z našeho, tedy instrumentálního systému do systému standardního tak, aby byla porovnatelná a slučitelná z ostatními pozorovateli. Pro tento převod jsou pak kvalitní a dobře definované filtry podmínkou. Ve světě se výrobou těchto filtrů zabývá poměrně dost výrobců a u nás je největším producentem VOD Turnov (http://www.optikavod.cz), která je schopna dodat tyto filtry do kamer obou výše uváděných výrobců. V souvislosti s filtry si ale neodpustím jednu důležitou poznámku, na kterou by měl potenciální zájemce dát velký pozor. Při výběru vhodných filtrů obvykle nepořizujeme jen jeden (i když v případě nedostatku finančních prostředků je lepší měřit alespoň v jednom filtru než zcela bez filtru), ale celou sérii. Pro CCD fotometrii se obvykle používají celkem 4 širokopásmové filtry dle specifikace Bessell 1990 a to B, V, R a I. Jejich spektrální charakteristiky lze nalézt na výše uvedeném odkazu. Při pořizování této sady ale musíme zajistit, aby celá série měla jednotnou optickou tloušťku, nebo-li jinak řečeno, aby při zaostření obrazu přes všechny filtry ze sady nedocházelo k posouvání ohniska. Někteří výrobci totiž shodnou optickou tloušťku nezaručují a vzhledem k tomu, že při vícebarevné fotometrii je zapotřebí cyklicky měnit filtry, pak by různá optická tloušťka způsobovala rozostřování obrazu a celý systém by se pak choval podobně jako systém s barevnou vadou (viz. výše). Jistě by tuto situaci bylo možné řešit fokusérem nebo měřit jen v některém z filtrů, ale v případě pořizování takové sady si můžeme vybírat a ušetřit si tím spoustu problémů. Pokud se chceme vyhnout předcházejícím komplikacím, je dobré si tuto podmínku zadat do objednávky filtrové sady. Např. fy. SBIG zaručuje, že jimi dodávané fotometrické filtry mají shodnou optickou tloušťku do světelnosti optické soustavy 1:4. Kritérium světelnosti je dáno jednak mechanickou konstrukcí filtrového karuselu a hlavy CCD kamery a dále sbíhavostí optického kužele tak, aby byla zachována spektrální charakteristika jednotlivých filtrů.

d) Doplňky, vylepšení a praxe

S výše uvedeným vybavením jsme již schopni produkovat publikovatelné výsledky a je nasnadě, že by bylo možné celý náš systém ještě dost vylepšovat (ostatně tento proces je nekonečný :-). A tím nemyslím pořizovat kvalitnější montáž, větší dalekohled nebo kameru s větším čipem, protože většinou tyto komponenty a jejich ceny jsou dány již před začátkem sestavování celé aparatury a dost těžko je lze v průběhu výstavby měnit. Jsou zde ale jiné, mnohem méně patrné části, které nám mohou velmi pomoci ke zkvalitnění našich dat a výsledné efektivitě měření.

Prvním z nich je kvalitní rosnice dalekohledu. I když se to zdá být samozřejmé, mnoho pozorovatelů podceňuje tuto nezbytnou součást fotometrického systému, protože vycházejí se své zkušenosti při vizuálním pozorování, kde tato součást dalekohledu měla především funkci chránit optiku před orosením. Jak se ale ukazuje, tak zvláště v dnešní době silného světelného znečištění, má řádně zhotovená rosnice svůj neoddiskutovatelný význam, protože dokáže odfiltrovat významnou část parazitního světla v podstatě na všech typech optických konstrukcí od obyčejného refraktoru (nebo fotografického objektivu), přes Newtonův dalekohled (kdy parazitní světlo vniká do kamery téměř kolmo k tubusu) až po Cassegrainy (příp. SCT), které jsou obzvláště náchylné díky své konstrukci k parazitnímu světlu. Zkušenosti jasně ukazují, že by její délka měla být minimálně 1.5 až dvojnásobek průměru. Nenechme se mýlit, že např. výrobci SCT systémů umístí korekční desku až téměř na kraj tubusu (jak je to vidět na Obr.6) a tiše předpokládají, že se bude dát s takovým dalekohledem pozorovat (tak snad pouze v oblasti bez světelného znečištění a to ještě nesmí být na obloze Měsíc, příp. v okolí měřeného objektu jiná jasná hvězda !) a naopak propagují malou konstrukční délku takového systému. Rozhodně nic nepoškodíme, uděláme-li rosnici raději delší než kratší.

Druhým velmi významným aspektem je autoguiding. Nejprve ale trochu teorie. Každá montáž trpí jedním nešvarem, který se nazývá Periodická chyba (Periodic Error - zkráceně PE). Jedná se v podstatě o komíhavý pohyb kolem střední polohy při sledování hvězdného objektu, který je způsoben výrobními chybami šneku, jenž pohání hodinové kolo. Různí výrobci se snaží tuto chybu minimalizovat a je obvykle dobře daná závislost mezi velikostí této chyby a cenou dané montáže. Jen pro představu nejlevnější montáže ve své kategorii (jako třena EQ-3-2 nebo EQ-6 SkyScan) mají chybu do ± 30“ (špička – špička), i když jsou i případy, kdy u jednoho kusu byla PE na úrovni ± 7.5“. Pochopitelně, že montáže se stejnou nosností jako předchozí, ale se zaručenou PE do 10“ stojí i několikanásobek ceny těch nejlevnějších.

Autoguiding pak spočívá v podstatě ve zpětné vazbě, kdy nějakým systémem (buď separátním detektorem nebo druhým CCD čipem vestavěným v hlavě kamery) dolaďujeme chod montáže pomocí tzv. autoguidingové hvězdy tak, aby dalekohled plynule sledoval měřené hvězdy bez periodických odchylek. Pro vizuální pozorování nás obvykle tato chyba příliš nezajímá, ale pro fotografické účely nebo CCD fotometrii (při fotoelektrické fotometrii ani nemluvě) je její korekce velice důležitá. U pořizování astrofotografií je její projev jednoznačný – při expozicích větších než jedna minuta dojde k rozmazání hvězd ve směru východ – západ (v rektascenzi), takže pak je taková fotografie nepoužitelná. Mohlo by se zdát, že u fotometrie toto rozmazání nebude mít až takový vliv, zvláště, když jsem výše uváděl, že vhodné (řízené) rozmazání je naopak přínosem. Problém je ale jiný. Aby bylo možné dosáhnou kvalitních fotometrických dat, je zapotřebí, aby toto rozmazání bylo centrálně symetrické (v tom nejlepším případě, aby řez hvězdou ve všech směrech měl tvar Gaussovy křivky). A právě podélné rozmazání obrazu, zvláště, je-li velký nepoměr mezi „rozměrem“ hvězdy na snímku v ose X a v ose Y velice snižuje výrazně přesnost fotometrie, ba dokonce ji v určitých případech zcela

znehodnocuje. Z praktických zkušeností vyplynulo, že přesnost fotometrie při použití autoguidingu vzroste 2-3x vůči stavu bez něj. Druhým efektem je pak udržení pole na malém CCD čipu v podstatě po neomezenou dobu, protože i sebelépe ustavená montáž má určitý drift v deklinaci a naše úloha fotometrického měření je, alespoň co se týká dlouhodobého „udržení“ pole na čipu, jedna z nejnáročnějších, které vůbec existují. Bylo prakticky ověřeno, že i při úmyslném nastavení polární osy o 2° od Severního nebeského pólu, dokázal autoguiding udržet pole s proměnnou hvězdou po celou noc. Efekt správného vedení je tím větší, čím menší rozměr pixlů na CCD matici máme (pro námi používané čipy je ale standard 9x9 um), čím je delší ohnisko optické soustavy a čím větší je PE. Pokud přeci jen nemůžeme nebo nechceme autoguiding používat, pak máme v podstatě dvě možnosti jak dostat použitelná data (pokud tedy neuvažujeme o nákupu montáže za stovky tisíc korun :-). A to buď snížit expoziční čas (i ty nejlevnější montáže dokáží udržet správný chod po dobu asi jedné minuty), což má ale za následek menší dosah a horší přesnost měření a nebo zkrátit ohniskovou délku optické soustavy použitím např. fotografického objektivu a věnovat se měření jasnějších hvězd (příklad takové sestavy je na Obr.4). Oba dva výrobci (SBIG i Moravské přístroje a.s.) již v dnešní době nabízejí řešení tohoto problémů a i mezi zručnými amatéry je pár šikovných lidí, jak třeba Ing. Martin Myslivec (http://foto.astronomy.cz/), který svým výrobkem TV Guider dokáže tento problém velice dobře řešit.

Na závěr jsem si nechal, dalo by se říci, tzv. lidský přístup. Z mnohaleté praxe vyplynulo, že chcete-li se věnovat podobné činnosti dlouhodobě, musí být pro Vás snadno dostupná. Co tím myslím ? Představte si, že bydlíte uprostřed velkoměsta, pořídíte si převoznou aparaturu na fotometrii a budete mít v plánu s ní téměř každou jasnou noc vyrazit někam do tmy, daleko od měst, kde nebudete rušeni parazitním světlem. Z počátku budete velmi nadšeni a jistě nevynecháte jedinou příležitost takového pozorování nevyužít. Časem ale zjistíte, že doba od rozhodnutí vyrazit do okamžiku, kdy budete moci začít měřit je přeci jen ztrátový čas (záleží na podmínkách, někdy to může být hodina někdy také tři). Během té doby se Vám zatáhne nebo se zatáhne dvě hodiny od začátku měření a Vaše snaha vyjde na prázdno. Časem se budou frekvence těchto výjezdů snižovat až vymizí zcela. Jistě, můžete také využít vybavení na některé hvězdárně, kde Vám umožní přístup k technice a kromě vlastní píle nebudete muset vložit do projektu ani korunu, ale pokud je tato instituce takříkajíc „z ruky“, bude průběh Vaší návštěvnosti velice blízký těm výjezdům. Mohu Vás z vlastní praxe ujistit, že chcete-li u této činnosti vydržet alespoň několik let, protože než se naučíte získávat kvalitní data a ty zpracovat jen do surového stavu, tak uplyne rok a někdy i dva, musíte mít měřící systém tzv. na dosah. Čím blíže k Vašemu bydlišti bude a čím kratší čas budete k jeho zprovoznění potřebovat, tím déle u této činnosti vydržíte a tím více radosti Vám bude přinášet. Mohu Vás ubezpečit, že větší užitek uděláte s malou montáží a fotografickým objektivem na Vaší zahradě při využití každé jasné noci, než při měření s 50 cm hvězdárenským dalekohledem jednou za měsíc, ke kterému se ještě musíte probojovávat (ať už přes značnou vzdálenost nebo přes osoby, které mají takový dalekohled na starost). Je proto velmi dobré před začátkem takového projektu promyslet i tento lidský rozměr, abyste pak následně nebyli zaskočeni úsilím, které budete muset vynakládat. Je ale jisté, že se i v tomto směru najdou výjimky, pro které toto neplatí. To se ale již většinou jedná o ostřílené kozáky, kteří praktickou astronomii provozují minimálně několik let a to na takové úrovni, která je začátečníkům naprosto nedostupná díky absenci zkušeností, znalostí apod.

Na úplný závěr bych si Vás dovolil upozornit na jednu velmi užitečnou internetovou adresu, ze které je možné čerpat obrovské množství informací a kde jsou také lidé ochotní Vám s Vaším problémem pomoci (a věřte, že těch problémů bude požehnaně :-). Jedná se o Astronomické fórum

(http://www.astro-forum.cz), které se nezaměřuje jen na fotometrii (ta je spíš okrajovou záležitostí), ale je věnováno všeobecné amatérské (a především pozorovatelské) astronomii včetně astrofotografie, která je pro naše účely také velice užitečná.

Celý tento článek si nekladl za cíl seznámit podrobně se CCD fotometrií proměnných hvězd, protože téměř každý odstavec řádně diskutovaný by zabral celou kapitolu, ale chtěl Vám jen přiblížit a nastínit její základy a upozornit na několik postřehů, na které byste mohli narazit a jejichž řešení by Vám mohlo pomoci.

V Brně 29.1.2007

RNDr. Petr Svoboda
tribase.net@volny.cz

Zajímavé a užitečné odkazy:

- http://www.celestron.cz/
- http://ccd.mii.cz/
- http://www.atc-astro.cz/
- http://www.sbig.com/
- http://www.dalekohledy.cz
- http://www.skywatchertelescope.net/
- http://www.optikavod.cz/
- http://www.astro-forum.cz/
- http://www.asu.cas.cz/~lenka/prednasky/318ccd.htm
- http://www.asu.cas.cz/~lenka/prednasky/318ext.htm
- http://posec.astro.cz/