

# Současné CCD kamery pro fotografování DSO

## stručný přehled

Pavel Pech

Většina fotografií noční oblohy dříve či později dospěje k názoru, že nastal ten pravý čas pro výměnu digitálního fotoaparátu (obvykle DSLR značky Canon) za nějakou CCD kameru speciálně určenou pro astronomické použití. V tomto článku bych rád zmínil dnes nejběžnější CCD kamery s ohledem na CCD čip, který používají, neboť ten je „srdcem“ vybrané kamery (v našem kontextu ekvivalent fotoaparátu) a určuje základní charakteristiku a parametry daného výrobku. Zbytek „těla“ CCD kamery je tvořen zejména elektronikou a mechanikou, jejíž kvalita a spolehlivost určuje další významné parametry (přičemž ty základní, dané použitým CCD čipem, může v principu jen zhoršit) a má vliv na konečnou spokojenost zákazníka.

Přesto, že je dnes na trhu poměrně mnoho konkrétních CCD kamer (odhadem zcela jistě přes pět set), ne všechny jsou ovšem určeny na focení DSO (jsou zde kamery pro planetární fotografii nebo tzv. pointační kamery), a tak je výběr omezen pouze na pár desítek různých CCD čipů. Různí výrobci CCD kamer pochopitelně používají „stejně“ čipy, které většinou pocházejí z dílny firem Kodak nebo Sony. Výjimkou jsou čipy od firem Fairchild, E2V, Hamamatsu či Atmel. Někteří výrobci CCD kamer mají bohužel své portfolio produktů omezeno třeba jen na čipy od firmy Kodak. Na druhou stranu každý z výrobců se snaží zákazníkovi nabídnout nějakou unikátní vlastnost, vymoženost a tím jej motivovat k nákupu svého výrobku. Naneštěstí zde platí, že co fotograf, to jiný názor nebo spíše jiné názory či požadavky na kameru, což v důsledku vede k tomu, že vlastně není moc z čeho vybírat. Pokusme se tedy alespoň podívat na dnes běžně dostupné čipy a kamery, o kterých má smysl s ohledem na focení DSO v dnešní době vůbec uvažovat.

### Sony ICX274AL

- **velikost úhlopříčky:** 8,923 mm (1/1,8“)
- **rozlišení:** 1620×1220 pixelů o čtvercové velikosti 4,4 μm
- Progressive Scan CCD
- **kamery:** Atik 320E (989 EUR)

Tento CCD čip bývá někdy použit i v pointačních či planetárních kamerách a svoji velikostí a cenou se pohybuje na pomezí dnešních pointačních kamer a kamer již použitelných k focení DSO. K focení DSO je vhodné i tento čip chladit TEC Peltiérovy článkem na stabilní teplotu pod bod mrazu. Čip se vyznačuje zanedbatelným temným proudem, minimálním množstvím hot-pixelů, solidní kvantovou účinností ve spektru od 400 do 650 nm s maximem na 500 nm a především snad úplně nejnižším vlastním čtecím šumem.

**Atik 320E** – požadavky na focení DSO splňuje v podstatě jen kamera od tohoto výrobce. Kamera má 16bitový A/D převodník, spojení přes USB 2.0, váhu 350 gramů, spotřebu 0,8A/12V, backfocus 13 mm, ST-4 autoguider port, TEC chlazení (bez možnosti nastavení a regulace teploty, pouze asi 25 °C pod teplotu okolí) a především unikátně nízký čtecí šum kolem 3 e<sup>-</sup>. Tělo je kruhového profilu o průměru 11 cm. Kamera je vhodná jak pro LRGB focení, tak pro úzkopásmové focení, i když je její kvantová účinnost v čáře H<sub>α</sub> a SII již poměrně nízká (což na druhou stranu znatelně „zachraňuje“ nízký čtecí šum). Rovněž se hodí jak pro focení větších mlhovin (za podmínky focení přes teleobjektiv či dalekohled s velmi krátkou ohniskovou vzdáleností, třeba jen 200–400 mm) tak k focení technikou zvanou lucky-imaging, tedy focení subexpozic o délce



Autorova fotografická sestava (jedna z mnoha), využívající kameru Atik 314L+ ve spojení s refraktorem 152/900

pouze několik vteřin, přes velký dalekohled s delším ohniskem na kvalitní montáži (bez pointace), kdy lze „dosáhnout“ i na planetární mlhoviny či malé galaxie. V případě lucky-imaging a ohniska delšího jednoho metru lze výjimečně uvažovat i o barevné verzi čipu.

### Sony ICX285AL

- **velikost úhlopříčky:** 11 mm (2/3“)
- **rozlišení:** 1392×1040 pixelů o čtvercové velikosti 6,45 μm
- Progressive Scan CCD
- **kamery:** Apogee Ascent A285 (2895 USD), Atik 314L+ (1282 EUR), FLI MLx285 (4995 USD), Opticstar DS-145M ICE (1249 GBP), Orion StarShoot Deep Space Monochrome Imager III (momentálně v akci za 1000 USD, dříve 1200 USD), Starlight Xpress SXVR-H9 (2070 EUR)

Tento CCD čip je snad to nejlepší momentálně snadno dostupné z malých CCD čipů od firmy Sony, alespoň do té doby, než se na trhu (snad již brzy, do roka?) objeví EXview HAD CCD II čip, třeba ICX674 nebo lépe ICX694. Vyznačuje se zanedbatelným temným proudem, minimálním množstvím hot-pixelů, velmi solidní kvantovou účinností ve spektru od 400 do 770 nm s maximem na 500 až 550 nm. Stejně jako jeho „menší bráška“ má neuvěřitelně nízký vlastní čtecí šum.

**Atik 314L+** – kamera od tohoto výrobce je nejen úplně nejlevnější, ale obsahuje i velmi kvalitní elektroniku, díky které zůstává hodnota čtecího šumu pod  $4 e^-$ . Kamera má 16-bitový A/D převodník, spojení přes USB 2.0, váhu 400 gramů, spotřebu 0,8 A/12 V, back-focus 12 mm, ST-4 autoguider port, TEC chlazení (s možností nastavení a regulace teploty o cca  $27^\circ\text{C}$  pod teplotu okolí). Tělo je kruhového profilu o průměru 11 cm. Kamera je vhodná jak pro LRGB a úzkopásmové focení, tak má dokonce i „nějakou“ účinnost v blízkém IR spektru. Díky vysoké kvantové účinnosti a velmi nízkému šumu lze s kamerou fotit opravdu velmi krátké subexpozice. Dokonce v případě LRGB a dalekohledu o světelnosti  $f/4,3$  se jeví jako optimální délka subexpozice pouze 2–3 minuty (s ohledem na úroveň pozadí podle toho, na jakém místě fotíme či zda máme v cestě ještě LPS/CLS filtr). Při úzkopásmovém focení platí vždy pravidlo, že čím delší subexpozice, tím lépe, ovšem tato kamera (tento čip) je unikátní výjimkou. Experimentálně se mi podařilo v nejhorsích podmínkách (měsíc v úplňku, focení na sněhu, SQM-L zenit oblohy 18,28, focení přes 3 nm úzký OIII filtr) stanovit, že nemá smysl v takovýchto podmínkách použít delší subexpozici než 6 minut (nic bych nezískal, naopak, budu-li mít více dílčích snímků, tak více potlačím výsledný šum v obraze zprůměrováním). S 5nm filtrem či běžnou CCD kamerou s šumem  $8 e^-$  by focení na takovéto obloze zcela postrádalo smysl. Úzkopásmově s kamerou fotím 10-minutové expozice. Kamera se hodí tedy na všechny astronomické či astrofotografické aplikace, pro krátká i dlouhá ohniska, pro již zmíněnou techniku focení lucky-imaging, tedy focení subexpozic o délce pouze několik

sekund přes velký dalekohled s delším ohniskem na kvalitní montáži (bez pointace), kdy lze „dosáhnout“ i na malé planetární mlhoviny či galaxie. Prozatím se jedná o kameru, kterou mohu jako snad jedinou s klidným svědomím doporučit úplně každému zájemci o astrofotografii. Kamera má totiž jen jeden nedostatek – malý CCD čip a málo pixelů (1,2 megapixelů).

**Orion StarShoot Deep Space Monochrome Imager III** – moje úplně první CCD kamera byla verze II od tohoto výrobce. Ačkoli čip, který obsahovala, byl jedním z těch výborných, tak elektronika kamery nebyla na vysoké úrovni. Ve snímcích bylo dost vysoké množství šumu (Fixed Pattern Noise) a kamera dokonce někdy i špatně vyčetla obraz. S verzí III mám minimální zkušenost, ovšem syrová kalibrační data (Bias), která jsem obdržel, ukazovala opět na problém s čistotou elektroniky. Jakoby čtecí šum byl bohatě přes  $8 e^-$  (spíše  $10 e^-$ ). Kameru bych tedy nedoporučoval.

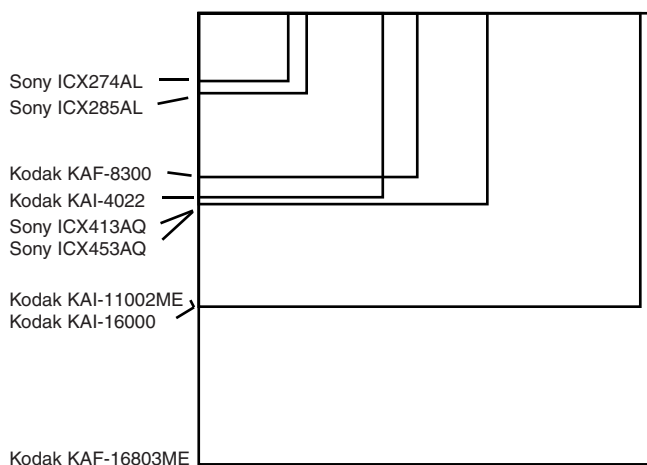
**Apogee, FLI, Opticstar, Starlight Xpress** – jediná konkurence s tímto čipem je kamera od firmy Finger Lakes Instrumentation, FLI, která je na nejvyšší technické úrovni, ovšem i za „bezkonkurenční“ cenu.

### Kodak KAF-8300

- **velikost úhlopříčky:** 22,5 mm
- **rozlíšení:** 3326×2504 pixelů o čtvercové velikosti 5,4  $\mu\text{m}$
- **Full Frame Readout CCD**
- **kamery:** Apogee Alta U8300 (v akci od 3995 USD), Atik 383L+ (1904 EUR), FLI ML8300 (od 3495 USD), Moravské Přístroje MII G2-8300 (od 2349 EUR), Orion Parsec 8300M (momentálně v akci za 1800 USD, dříve 2000 USD), QHY9 (2195 EUR), QSI 683 (od 3495 USD), SBIG ST-8300M (1995 USD), Starlight Xpress SXVR-H18 (2385 EUR)

Snad nejpoulnější CCD čip dnešních CCD kamer lákající zákazníky na potenciální „rozlíšení“ 8,3 megapixelů (podle zvyku z vývoje digitálních fotoaparátů, že čím více megapixelů, tím lépe) vyznačující se poměrně nízkou ce-

nou a dostupností, což má za následek, že je opravdu z čeho vybírat. Snad každý výrobce CCD kamer má kameru s tímto čipem ve své nabídce. Zároveň se liší různou formou o nějakou přidanou hodnotu, speciální vlastnost či vymoženost. Vlastní CCD čip má relativně nízký temný proud (přesto je oproti Sony sensorům řádově vyšší) a je vhodné čip chladit minimálně na úroveň  $-20^\circ\text{C}$ . Na to, že se jedná o Kodak čip, má stále rozumné množství hot-pixelů a hlavně solidní kvantovou účinnost (alespoň tedy monochromatická verze senzoru) ve spektru od 400 po 700 nm (QE > 40 %) s maximem kolem 550 nm (QE asi 55 %). Senzor se vyrábí s tzv. mikroočkami, pouze ve verzi Class 1 (takže nemá žádné „vadné“ sloupce), má silnou ochranu proti přetečení náboje (ABG, Anti-Blooming Gate), ale poměrně nízkou tzv. Full-Well kapacitu (kolem 25 tisíc elektronů) díky čemuž je problematické využít plný potenciál čipu při vyšším binningu než 1×1 s ohledem na nastavení zisku příslušné kamery. Na druhou stranu, díky malým pixelům a jejich vysokému počtu je čip univerzálním pro mnoho různých dalekohledů a ohniskových vzdáleností, přičemž u těch kratších dokáže excelovat, zejména na světelném astrografu (při focení na  $f/3$  je možné po několika hodinách opravdu dobře proexponovat malé pixely čipu a opravdu využít celých 8 megapixelů). Tento CCD čip, spolu s dalšími KAF senzory částečně trpí tzv. „Ghosting“ efektem neboli RBI (Residual Bulk Image), který se projevuje tím více, čím více je senzor chlazen a zejména je patrný v okolí jasných hvězd při snímání technikou ditheringu. Zásadní poučení, jak tento vliv u všech kamer omezit či úplně eliminovat (kromě kamer FLI, které mají vlastní zabudovanou technologii), je nikdy nefotit např. Flat-Field kalibrační snímky před focením vlastních Light snímků, ale vždy až po nich. Určitou nevýhodou je velikost čipu – ani úplně malý, ale ani velký, což způsobuje nekonečné spekulace na téma velikosti použitelných filtrů pro monochromatickou verzi kamery. Budou 1,25" filtry stačit? Odpověď závisí na mnoha faktorech. Výrobci filtrů používají různé tlusté objímky (liši se třeba o 0,3 až 0,5 mm, a to již hraje roli). Zásadní ovšem je, jak daleko je umístěn filtr (obvykle ve filtrovém kole) od povrchu CCD čipu. V principu lze říci, že kamery s integrovaným filtrovým kolem mají větší šanci na použití pouze 1,25" filtrů (nebo 31 mm filtrů bez objímky) bez zásadní vinětace (tedy takové, která by nešla odstranit kalibrací).



Porovnání velikostí jednotlivých CCD čipů

Pochopitelně záleží i na světelnosti optické soustavy. Externí filtrová kola a světelnější dalekohledy (než např. f/5) nutně vyžadují filtry o velikosti 36 mm. Při úvaze, která kamera od kterého výrobce je pro mě nejlepší, je dobré zvážit i existenci kompletního řešení (tj. mít možnost na umístění alespoň sedmi filtrů do filtrového kola, protože neustálá výměna sad je nekonečně otravná). Naštěstí je dnes na trhu několik různých filtrových kol, která jsou díky univerzálnímu připojení přes T-závit použitelná i pro kamery od jiných výrobců. Snad posledním faktorem by mohl být čas nutný ke stažení obrazu z kamery.

**Apogee Alta U8300** – kamery umožňují TDI. Experimentálně naměřený čtecí šum 8,88 e<sup>-</sup>.

**Atik 383L+** – slušná elektronika, poměrně nízká cena, příslušenství OAG a EFW2 prodávané i jako „set“. Experimentálně naměřený čtecí šum 10,50 e<sup>-</sup>.

**FLI ML8300** – unikátní Anti-Ghosting technologie, rychlé a výkonné chlazení, ultra rychlé stažení obrazu do PC a to vše při standardním čtecím šumu. Experimentálně naměřený čtecí šum 10,33 e<sup>-</sup>.

**Moravské Přístroje MII G2-8300** – možnost jak interního, tak externího filtrového kola s až 10 pozicemi (konečně) pro 36 mm filtry. Unikátní možnost vkládat tzv. Clip filtry do EOS adaptéru (osobně doporučuji používat pouze spojení přes T-závit). Snad nejlepší elektronika vůbec. Experimentálně naměřený čtecí šum 7,7 e<sup>-</sup>.

**Orion Parsec 8300M** – externí filtrové kolo nevhodných parametrů (nutnost 2" filtrů na jakékoli, byť jen trochu světelnější sestavě). Experimentálně naměřený čtecí šum 10,82 e<sup>-</sup>.

**QHY9** – kvalita mechanického zpracování externího filtrového kola je na nízké úrovni. Nutnost 2" filtrů. Doporučené nastavení A/D převodníku kamery je GAIN=51, OFFSET=107. Experimentálně naměřený čtecí šum v náhodném rozsahu od 13 e<sup>-</sup> po 11 e<sup>-</sup> s extrémem 8 e<sup>-</sup>.

**QSI 683** – nová verze oproti „rodině“ 583 kamer QSI zlepšuje rychlost stažení obrazu do PC z věčně trvajícím na rozumně akceptovatelnou. Rovněž mírně zlepšuje chlazení a novinkou je osmipoziční filtrové kolo. QSI kamery mají jako unikátní vymoženost integrovaný OAG (Off-Axis Guider Port) či interní filtrové kolo umístěné absolutně nejbližší čipu, jak to jen jde, ze všech výrobců kamer s tímto čipem. Experimentálně naměřený čtecí šum 9,02 e<sup>-</sup>.

**SBIG ST-8300M** – velmi nízká cena samotné kamery, přitom je kvalitní a na vysoké úrovni (ověřená konstrukce z dřívějších modelů, ovšem tentokrát bez interního guide-čipu). Bohužel, s přidáním hezkého osmipozičního filtrového kola pro 36 mm filtry, zaplacením dovozu, cla a DPH zcela zanikne finanční motivace. Potenciální reklamace se kvůli počtu do a ze zámoří může protáhnout na mnoho týdnů. Experimentálně naměřený čtecí šum 8,56 e<sup>-</sup>.

**Starlight Xpress SXVR-H18** – drahá kamera bez zvláštních vlastností (kromě svého válcového tvaru). Experimentálně naměřený čtecí šum 12,28 e<sup>-</sup>.

### Kodak KAI-4022

- **velikost úhlopříčky:** 21,49 mm
- **rozlíšení:** 2048×2048 pixelů o čtvercové velikosti 7,4 μm

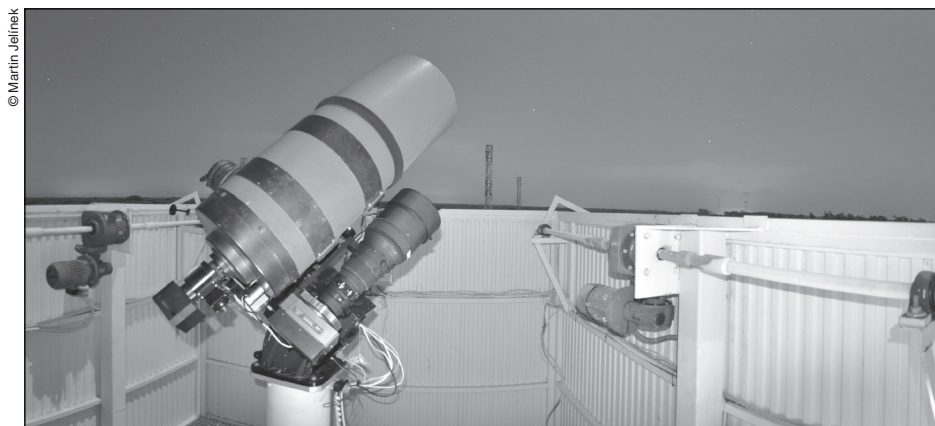
- **Interline Readout CCD**
- **kamery:** Apogee Alta U4000 (5995 USD), Apogee Ascent A4000 (4750 USD), Atik 4000 (3079 EUR), FLI ML4022 (5495 USD), Moravské Přístroje MII G2-4000 (od 2915 EUR), QSI 540 (od 4295 USD), SBIG STL-4020 (Class 2 – 5995 USD), Starlight Xpress SXVR-H16 (3240 EUR)

I tento čip lze zahrnout mezi možnosti pro výběr nové CCD kamery (obzvlášť jeho monochromatickou verzi s úmyslem používat 1,25" filtry), pokud nevádí čtvercový formát obrazu a poměrně vysoká cena kamer. Osobně bych dal ale nejspíš přednost čipu KAF-8300, který má po všech stránkách lepší parametry a vlastnosti nebo KAI-11002ME, který má sice parametry podobné či dokonce horší, ale je mnohonásobně větší a není už v konečném důsledku zas o tolik dražší. KAI čip netrpí problémem zvaným RBI a pokud má kamera i mechanickou závěrku (kterou sice v principu nutně „k životu“ nepotřebuje), jedná se o komplexní výrobek.

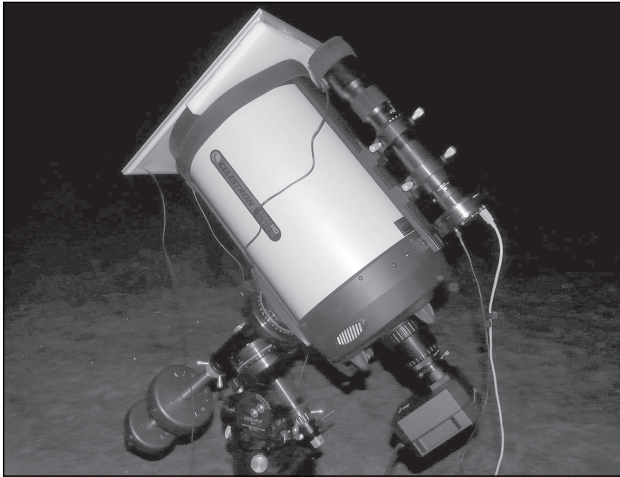
### Kodak KAI-11002ME

- **velikost úhlopříčky:** 43,62 mm
- **rozlíšení:** 4008×2672 pixelů o čtvercové velikosti 9 μm
- **Interline Readout CCD**
- **kamery:** Atik 11000 (4499 EUR), FLI ML11002 (od 6495 USD), FLI PL11002 (od 6995 USD), Moravské Přístroje MII G3-11000 (od 4595 EUR), QHY11 (3995 EUR), SBIG STL-11000M (Class 2 aktuálně v akci od 4995 USD), Starlight Xpress SXVR-H35 (4950 EUR)

Tento Full-Frame čip (36×24 mm) je zatím „absolutně nejhorším“ z továrny firmy Kodak, o kterém vím. Nejhorším parametrem je velikost temného proudu. Proto je nejdůležitějším parametrem CCD kamery s tímto čipem chlazení a věřím, že mít možnost chladit čip třeba na -100 °C, tak by to vedlo k o poznání lepším výsledkům. Počet hot-pixelů je rovněž astronomický. Nelinearita pole je markantní a kdo takový obraz nečeká (je třeba zvyklý na krásně čistý obraz z čipů Sony), může se domnívat, že jde o vadný kus. Nicméně pokud se podaří nasnímat vhodně dlouhý (tj. dlouhý jak jen to jde) Light snímek, začíná mít focení smysl. Základem úspěchu je totiž precizní kalibrace, použití Master Darku složeného z alespoň 30 Single Dark snímků (lépe 50, což může člověk fotit třeba i desítky hodin,



I profesionální observatoře mnohdy používají podobné CCD kamery jako amatérští fotografové. Na snímku robotický dalekohled BOOTES ve Španělsku vybavený kamerou G2-1600 od Moravských přístrojů (ta sice v článku není zmíněna, ale jako ilustrace funguje velmi dobře, neboť všechny G2 kamery vypadají zvenčí stejně). Na pointeru je nasazená kamera AP 16 od firmy Apogee.



Jiná autorova sestava: kamera G3-11000 na 11" dalekohledu Celestron Edge-HD

někde v temné místnosti). Dále použití ditheringu při focení notně přispívá k eliminaci zbytků po hot-pixelech, které ne všechny lze efektivně odstranit aplikací korekce temného proudu a dále k eliminaci vadných sloupců (k tomu je někdy nutné použít i speciální softwarové metody či externí pomocné programy). Čip KAI-11002ME se vyrábí jako Class 0, 1, nebo 2. Class 2 znamená, že čip může obsahovat maximálně dva tzv. „Defect Columns“, tedy vadné sloupce. Vada se opravuje interpolací hodnot z okolních sloupců (proto v barevné verzi senzoru snad není jiná možnost než koupit Class 0, resp. barevný Kodak KAI senzor raději nekupovat vůbec). Přes všechny zmíněné nedostatky má tento čip také pár výhod. Čip má slušnou Full-Well kapacitu, takže se vyplatí dělat dlouhé subexpozice už s ohledem na to, že vlastní čtecí šum je vysoký (dán kombinací mnoha faktorů). Jako KAI senzor netrpí problémem RBI. Když je na něj člověk „hodný“ a poctivě kalibruje a snímá, tak se mu odmění nakonec hezkým obrazem. Zásadní výhoda čipu je jeho obrovská velikost a přitom dnes již za dostupnou cenu. Pochopitelně Full-Frame (36×24mm veliký) čip vyžaduje precizní optiku a nabízí široká zorná pole nebo „lapání“ fotonů velkými pixely, které v režimu hardwarového binningu 2×2 mají účtyhodných 18 μm. Tím se taková velká kamera hodí k velkému dalekohledu a dlouhému ohnisku. Já jsem si například osobně kameru s tímto čipem pořídil (MII G3-11000) právě proto, že umožňuje se dostat zase o kousek dále. Oproti mé původní kameře mám teď 14,3× větší sběrnou plochu a tak mi ani nevádí, že kvantová účinnost tohoto čipu je poměrně bídná (v H-alfa čáře pouhých asi 31 % o SII raději nemluvě), protože počet nachytných fotonů je řádově vyšší

(sbírám je větší plochou). Dále to vylepšuji tak, že se snažím fotit dalekohledem s co největší aperturou. Na LRGB obrázky by se mělo jednat dnes stále o jednu z nejlepších kamer, ač je tento senzor na světě již dlouhou dobu.

#### Moravské Přístroje MII G3-11000 – nově

existuje ke kameře i externí filtrové kolo na sedm kulatých 50 mm „bez-objímkových“ filtrů. Experimentálně naměřený čtecí šum 8,73 e<sup>-</sup>.

**QHY11** – experimentálně naměřený čtecí šum 10,91 e<sup>-</sup>.

**SBIG STL-11000M** – lety praxe ověřená a zcela funkční CCD kamera s integrovaným pointačním čipem (nevýhodou je omezení kompozice a nutnost rotátoru kamery pro nalezení pointační hvězdy, podobně jako při pointaci přes OAG, dále pak potřeba vysoce přesné montáže při pointaci přes úzkopásmový filtr). Velmi pomalý přenos obrazu do PC. Experimentálně naměřený čtecí šum 8,94 e<sup>-</sup>.

#### Kodak KAI-16000

- **velikost úhlopříčky:** 43,62 mm
- **rozlíšení:** 4872×3248 pixelů o čtvercové velikosti 7,4 μm
- **Interline Readout CCD**
- **kamery:** Apogee Alta U16000 (od 7645 USD), Apogee Ascent A16000 (od 5995 USD), FLI ML16000 (od 7195 USD), Starlight Xpress SXVR-H36 (5850 EUR)

Tento Full-Frame čip (36×24 mm) má na rozdíl od KAI-11002ME menší pixely, tj. 7,4 μm místo 9 μm, čímž má na stejné ploše celkem 16 megapixelů místo 11. Kvantová účinnost tohoto čipu je tedy ještě o něco nižší než u KAI-11002ME. Jediný lepší parametr je mnohem nižší temný proud. Jelikož je ale stejně nutné provádět Dark Frame kalibraci, nepovažuji tento faktor za významný. Naopak vidím jako nevýhodu velikost souboru a objem dat, delší dobu nutnou ke stažení souboru z kamery do PC a navíc neznám optiku (ale určitě existuje, jen v trochu nadstandardní finanční úrovni), která by rozumně dokázala vykreslit takto

malý detail tak daleko od středu optické osy, aby mělo smysl fotit na plné rozlišení čipu (v binningu 1×1).

#### Kodak KAF-16803ME

- **velikost úhlopříčky:** 52,18 mm
- **rozlíšení:** 4096×4096 pixelů o čtvercové velikosti 9 μm
- **Full Frame Readout CCD**
- **kamery:** Apogee Alta U16M (v akci od 9895 USD), FLI ML16803 (9995 USD), FLI PL16803 (od 10495 USD), Moravské Přístroje MII G4-16000 (od 7309 EUR), SBIG STX-16803 (11875 USD)

Jak veliký je Veliký? 36,9×36,9 mm. Tento opravdu velký CCD čip je jedním z nejčastěji používaných čipů v kamerách pracujících na profesionálních observatořích. KAF-16803ME má nízký temný proud, poměrně slušnou kvantovou účinnost a celkově je jedním z nejlepších čipů Kodak. Snad jediná nevýhoda je už právě jeho velikost, kdy jako filtry je vhodné použít opravdu již čtvercové filtry s rozměrem hrany 50 mm, neboť kruhové s průměrem 50 mm na krajích 100% vinětují a je třeba obraz notně oříznout (potom ztrácí takto velký čip smysl). Čtvercové 50mm filtry bývají neskutečně drahé. Rovněž filtrové kolo je masivní, velké a těžké (spolu s kamerou, rotátorem atd.). Kamera s tímto čipem se opravdu hodí již na velký dalekohled do observatoře. Posledním problémem je najít ke kameře dokonale kreslicí optiku, což splňuje z „levných“ dalekohledů snad jen Takahashi FSQ s vylepšeným okulárovým výtahem.

#### Moravské Přístroje MII G4-16000

– Experimentálně naměřený čtecí šum 8,39 e<sup>-</sup>.

#### Sony ICX413AQ

- **velikost úhlopříčky:** 28,4 mm (1,8")
- **rozlíšení:** 3032×2016 pixelů o čtvercové velikosti 7,8 μm
- **Frame Readout Color CCD**
- **kamery:** Opticstar DS-616XL (999 GBP), Orion StarShoot Pro V2.0 Deep Space Color CCD Camera (1200 USD), QHY8L (1295 EUR)

Tento senzor velikosti APS (o něco větší, než APS-C v DSLR značky Canon) je levnou a barevnou alternativou pro začínající astrofotografy, kteří většinou přecházejí z DSLR. Senzor se vyznačuje poměrně dobrou citlivostí, nízkým šumem a nízkým temným

proudem. Vzhledem k obrovským pixelům (díky Bayerově barevné masce lze téměř tvrdit, že jeden pixel je vlastně 15,6 μm veliký) je kamera vhodná zejména pro dlouhá (větší než jeden metr) a velmi dlouhá ohniska. Na krátkém ohnisku dochází k tzv. podvzorkování obrazu (Image Undersampling) a enormní ztrátě detailů (nepočítám-li fakt, že většina uživatelů k tomu všemu ještě finální obrázek zmenší na polovinu). Rozdíl v detailu barevných fotografií na stejném dalekohledu mezi CCD kamerou s čipem s pixely o velikosti 5,4 versus čipem s pixely 7,8 je zcela markantní (za předpokladu perfektní pointace a dobré kresby objektivu). Výhodou velkých pixelů může být to, že dokáže lépe skrýt optické vady či chyby pointace, což je právě častý problém focení přes levné dalekohledy Newtonovy konstrukce. Zásadní nevýhodou tohoto senzoru je způsob, jakým je obraz vyčítán – nejprve se vyčte jeden pulsánek, potom druhý, přičemž žádná ze zmíněných CCD kamer nemá integrovanou mechanickou závěrku. Kamera s tímto čipem tedy absolutně není vhodná na snímání krátkých expozic v řádu sekund či desetin sekundy (na focení planet či Měsíce).

**Opticstar DS-616XL** – kamera je novinkou letošního roku.

**Orion StarShoot Pro V2.0 Deep Space Color CCD Camera** – druhá verze této kamery odstraňuje problém s rosením krycího skla senzoru. Kamera nemá nastavitelnou a regulovatelnou teplotu chlazení, ale chladí vždy na konstantní rozdíl teplot vůči teplotě okolí. Experimentálně naměřený čtecí šum 11,11 e<sup>-</sup> až 14,2 e<sup>-</sup>.

**QHY8L** – relativně nová CCD kamera vycházející z konceptu QHY8Pro. Vyznačuje se válcovým tvarem s ambicemi na použití v systému HyperStar. Kamera má nastavitelnou a „regulovatelnou“ teplotu (ovšem s velmi špatnou zpětnou vazbou, díky čemuž trvá několik minut, než se „stabilizuje“). Doporučené nastavení A/D převodníku kamery je GAIN=15, OFFSET=113. Experimentálně naměřený čtecí šum 6,31 e<sup>-</sup> až 8,96 e<sup>-</sup>.

### Sony ICX453AQ

- **velikost úhlopříčky:** 28,4 mm (1,8“)
- **rozlišení:** 3032×2016 pixelů o čtvercové velikosti 7,8 μm
- **Progressive Scan CCD**
- **kamery:** QHY8, Starlight Xpress SXVR-M25C (3150 EUR)

Jelikož CCD kamera QHY8 se dnes již nevyrábí, je poslední kamerou s tímto senzorem Starlight Xpress SXVR-M25C, která je téměř 3× dražší, než by si zasloužila. QHY8 je předchůdce QHY8L, který se liší tvarem těla kamery (krychle versus válec) a zmíněným čipem. ICX453AQ je totiž tzv. Progressive Scan a vyčítá bez známek prokládání snímků (horizontálních pruhů v obraze). Experimentálně naměřený čtecí šum kamery QHY8 se pohybuje od 8,04 e<sup>-</sup> do 11,27 e<sup>-</sup>.

### Sony ICX493AQ

- **velikost úhlopříčky:** 28,4 mm (1,8“)
- **rozlišení:** 3890×2606 pixelů o čtvercové velikosti 6,05 μm
- **Frame Readout Color CCD**
- **kamery:** QHY10 (2595 EUR), Starlight Xpress SXVR-M26C (3150 EUR)

Hlavním parametrem tohoto čipu je velikost pixelů. Díky jejich malé velikosti je kamera vhodná k focení kratším ohniskem bez toho, že bychom ztratili pojem o detailu. Přesto vychází, podle testů výrobce, dostatečně citlivá, v podstatě stejně jako je QHY8L. Čip má nízký vlastní šum a nízkým temným proud. Podobně jako ICX413AQ je i u senzoru ICX493AQ obraz vyčítán na dvakrát – nejprve se vyčte jeden pulsánek, potom druhý. Žádná ze zmíněných CCD kamer nemá integrovanou mechanickou závěrku. Kamera s tímto čipem tedy absolutně není vhodná na snímání krátkých expozic v řádu sekund či desetin sekundy (na focení planet či Měsíce).

**QHY10** – relativně nová CCD kamera vyznačující se válcovým tvarem s ambicemi na použití v systému HyperStar. Kamera má nastavitelnou a „regulovatelnou“ teplotu. Doporučené nastavení A/D převodníku kamery je GAIN=15, OFFSET=130. Experimentálně naměřený čtecí šum 7,98 e<sup>-</sup> až 10,38 e<sup>-</sup>.

Moje osobní zkušenosti s kamerou QHY10 jsou prozatím tristní. První, co mě zcela zaskočilo je, že kamera, ač má tzv. „set-point“ TEC chlazení, tak když potřebuji šetřit energií (tj. nechladím na 100 % výkonu, ale jen na polovinu), tak to kameře trvá snad 15 minut, než se teplota ustálí. Oproti všem ostatním kamerám (cca 5ks), které jsem kdy vlastnil, je toto řešení zcela nepřijatelné a neuvěřitelně



CCD kamera QHY 10

troufalé (normální CCD kamera chladí tak, že dojde nějakou konstantní rychlostí na požadovanou teplotu a v nejhorším případě „přestřeluje“ o 0,5 °C na obě strany). Když chci chladit na -5 °C, tak přece nechci, aby kamera sjela během prvních pár minut až na -2 °C, po několika dalších zas na -3,3 °C a po dalších deseti se ustálila konečně na požadovaných -5 °C.

Při instalaci kamery kupodivu nebyly žádné problémy s ovladači. Zato mám problém s náhodným vypínáním řídicí jednotky DC-201. Když se totiž při focení prvního světla náhodou kamera samovolně zresetovala, mělo to za následek vzniku záhadného fixního šumu v sudých/lichých řádcích a tudíž polovina obrázku obsahovala šílené množství šumu, které se následně při debayeringu rozlilo po celém obraze. Výsledek nepoužitelný. Naštěstí jsem byl poučen kolegou vlastním QHY9, že jakmile dojde k vypnutí napájení, je třeba vše vypnout a raději i restartovat počítač. Kamery QHY se vyznačují ještě tím, že mají doporučenou přesnou sekvenci, jak kameru zapnout (nejprve USB kabel z kamery do PC, potom kabel kamera – řídicí jednotka DC-201, nakonec napájení jednotky) a jak kameru vypnout (přesně opačným postupem). Dále je kladen od výrobce důraz na napájecí napětí jednotky od 11 do 13 V, přičemž návod říká, že pro napájení s napětím vyšším než 13 V je třeba někde v ovladači aktivovat tzv. TEC Protect, aby prý nedocházelo ke zkracování životnosti chladiče. Nejlépe je prý kameru provozovat s regulovaným 12 V/4 A zdrojem, což se přesně nehodí na polní použití. Přesto, že dodržuji všechna pravidla a chovám se ke kameře maximálně přívětivě, zatím mě neodměnila žádným použitelným obrázkem. Při posledním focení se náhle

(když jsem odpočíval v autě) z ničeho nic samo vypnulo TEC chlazení.

Poslední úskalí je naučit se fotit Flat Field kalibrační snímky. Tím, že máme před pixely barevné filtry (Bayerovu masku), je třeba zvolit takovou expozici, aby všechny kanály měly úroveň signálu v lineárním rozsahu snímače (a to jak v místě vinětače, tak ve středu snímku pro všechny kanály). Pokud neopomeneme vlastnost kamer QHY, o které nevím, zda ji mám považovat za výhodu či nevýhodu, tj. možnost (nutnost) vlastního nastavení A/D převodníku (hodnoty GAIN a OFFSET), přijde mi kamera poměrně složitá na použití pro úplně nováčky v astrofotografii. Samotnému se mi zdá, že monochromatická CCD kamera je mnohem jednodušší na použití a s ohledem na výkon určitě vhodnější. Jediný smysl barevných (OSC, One Shot Color) CCD kamer je focení pohybujících se objektů, jako například komet.

### Kterou tedy?

Na trhu existují špičkové kamery za pár set EUR (např. 1282) stejně jako špičkové kamery za 44000 USD, např. 4megapixelová kamera Apogee Alta U42 s E2V „Back-Illuminated“ senzorem. Rovněž existují levné mnoha megapixelové kamery (s čipem KAF-8300 nebo novinky s čipem KAI-10100 – Celestron Nightscape nebo Apogee Ascent) a drahé, sotva půl megapixelové, např. senzory buďoucnosti EMCCD od firmy Andor (0,3 megapixelová kamera za třeba 35 000 EUR). Nevím, zda čtenáře potěším, ale já odpověď na to, kterou tedy, sám neznám. Prozatím mohu s klidným svědomím doporučit pouze Atik 314L+ nebo MII G3-11000, neboť to jsou kamery, které jsem zatím reklamoval pouze 1x (při mém štěstí na nákup zrovna kvalitního a povedeného kousku). Případně přichází v úvahu MII G2-8300, protože má nejnižší čtecí šum (což je velmi důležité pro úzkopásmové focení) a dnes již nabízí komplexní řešení s ohledem na filtrové kolo. Pro „lovce“ v zámoří (kdy pokud na výrobku není napsáno Made in USA, tak jakoby výrobek neexistoval) určitě doporučuji výrobce FLI nebo SBIG. Nakonec to bude jako s dalekohledy – nejlepší kamera bude ta, kterou používáte nejčastěji.

Na závěr bych rád, pro úplnost, alespoň námatkou uvedl několik faktorů, které jsou základem kvalitní astrofotografie s ohledem na zachycení slabých detailů Deep-Sky objektů.

- Kvalitní optická soustava – tj. dobře kreslící objektiv či dalekohled vybavený vhodným

reduktorem, korektorem nebo tzv. rovnačem pole, který odpovídajícím způsobem vykreslí cele zorné pole (dané velikostí CCD čipu použité kamery a ohniskovou vzdáleností objektivu, resp. dalekohledu).

- Přesnost zaostření soustavy – tu ovlivňuje během noci několik faktorů, např. změna teploty či rosa (dostatečné vyhřívání je v našich končinách nutností) a podle velikosti čočky, zrcadla či materiálu tubusu bývá obvyklé během noci párkrát soustavu přeostřit. Rovněž, podle velikosti čipu, záleží na tom, v jakém místě ostříme (zda na kraji či uprostřed zorného pole) a jak kvalitní je okulárový výtah na použitém dalekohledu (může docházet k samovolnému posunu vlivem gravitace, podle místa na obloze, kam dalekohled míří a toho, jak těžká je naše CCD kamera).

- Kvalita spojení dalekohledu s CCD kamerou s ohledem na zachování kolmosti povrchu CCD čipu k ohniskové rovině – zde bývá kámen úrazu nejčastěji v použití šachty okulárového výtahu (např. se systémem přitlačného pera, který není možné přesně vycentrovat) místo použití redukce se závity (což na druhou stranu vede k nutnosti vložení vhodného rotátoru kamery do sestavy za účelem možnosti volby kompozice foceného objektu). Zároveň s tím souvisí vlastní přesnost s jakou je uložen CCD čip v těle CCD kamery, což bývá obzvláště důležité u velkých čipů.

- Správná vzdálenost roviny CCD čipu od posledního optického členu použitého rovnače, reduktoru či korektoru optické soustavy (tzv. backfocus) – čím vyšší je výsledná světelnost soustavy, tím větší roli hraje každý milimetr (až tak, že i vložený filtr podle své tloušťky může mít signifikantní vliv na výsledek).

- Přesnost astronomické montáže (nejčastěji paralaktické) a přesnost jejího polárního ustavení. Přesnost pointace (korekce nepřesností chodu montáže) s ohledem na rozlišení fotografické a pointační soustavy (a zaostření pointační soustavy) a tzv. seeing v místě focení – čím vyšší rozlišení fotografické soustavy (čím větší ohnisková vzdálenost), tím více se pointace a její kvalita stává alfov a omegou focení DSO objektů.

- Správný způsob snímání (focení) – např. použití pokročilých technik typu dithering a volba optimální délky subexpozice s ohledem na charakter foceného objektu, použitý filtr a vlastnosti použité CCD kamery.

- Nasbírání mnoha hodin expozic – ač pravidlo známé a fundamentální, je třeba je mít stále na paměti.

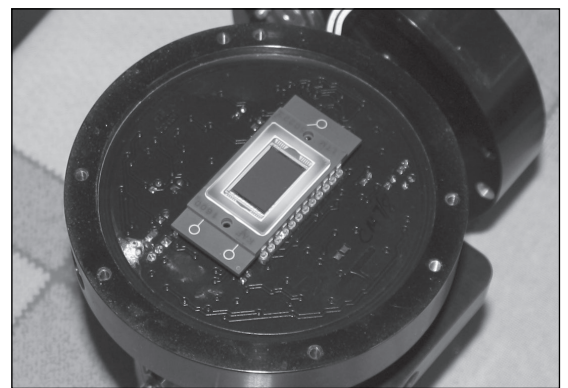
- Perfektní a úplná kalibrace pořízených dat – především tzv. „Flat-Field“ kalibrace, která odstraňuje kromě vinětače i věčný prach na CCD čipu, jeho krycím skle nebo na filtrech, je nutností (jedinou výjimkou je focení kamerou s opravdu malým CCD čipem a zároveň focení přes úzkopásmový filtr). Další, často nutnou kalibrací je tzv. „Dark Frame“ korekce.

- Umění post processingu, tj. zpracovávání obrazu – dovolil bych si tvrdit, že tvoří tzv. „větší polovinu“ celkového výsledku a je zcela na místě občas experimentovat a nebát se jiných než standardních postupů, ale umět se vrátit v případě extrémů zase zpět na zem.

Jak je z náznamu problematiky vidět, použitý čip v zakoupené CCD kameře hraje sice významnou roli, nikoli však tu nejdůležitější. Důležitější je kvalitní elektronika a mechanika vybrané CCD kamery. A úplně nejdůležitější je mít z výsledné fotografie radost a dobrý pocit a přesto na sobě dále pracovat (učit se, učit se, ...).

### Odkazy

- Apogee Imaging Systems, Inc. [www.ccd.com](http://www.ccd.com)
- Atik Cameras (Artemis CCD Ltd.) [www.atik-cameras.com](http://www.atik-cameras.com)
- Finger Lakes Instrumentation [flicamera.com](http://flicamera.com)
- Moravské přístroje, a.s. [www.gxccd.com](http://www.gxccd.com)
- Orion USA [www.telescope.com](http://www.telescope.com)
- QHYCCD [qhycdd.com](http://qhycdd.com)
- Quantum Scientific Imaging, Inc. [qsimaging.com](http://qsimaging.com)
- Santa Barbara Instrument Group [www.sbig.com](http://www.sbig.com)
- Starlight Xpress Ltd. [www.starlight-xpress.co.uk](http://www.starlight-xpress.co.uk)



CCD kamera, to je vlastně jen (často docela malinký) čip obalený elektronikou a chlazením. Na snímku starší CCD kamera FLI CM-8.