

# Načini i instrumenti snimanja astrofotografije

---

Pioker, Tena

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:024567>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)





Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

Smjer: Dizajn grafičkih proizvoda

# ZAVRŠNI RAD

## NAČINI I INSTRUMENTI SNIMANJA ASTROFOTOGRAFIJE

Mentor:

dr. sc. Miroslav Mikota

Student:

Tena Pioker

Zagreb, 2015.

## **SAŽETAK**

Astrofotografija je fotografiranje noćnog neba i nebeskih objekata. Instrumenti koji se koriste kod snimanja astrofotografija imaju mogućnost prikupljanja fotona svjetlosti tokom kraćeg ili dužeg perioda izlaganja. Ovisno kojim instrumentom se želi snimiti fotografija nebeskih objekata ili noćnog neba, potrebno je obratiti pažnju na tehničke postavke tih instrumenata i odabir dodatnih instrumenata koji pomažu pri izoštravanju objekta koji se želi snimiti, te pri prikupljanju fotona svjetla. Kvaliteta snimljene astrofotografije ovisi o vizualnoj percepciji korisnika, njegovom znanju o tehničkim postavkama i mogućnostima instrumenata, određenom iskustvu te objektima koji se žele uslikati. Kod snimanja astrofotografija, bitno je pozicionirati instrumente s kojima se snima, na područje bez svjetlosnog zagađenja. Instrumenti za snimanje astrofotografije imaju mogućnost prikupljanja svjetlosti tokom dužeg perioda, te je bitno da tokom tih izloženosti svjetlosti, se prikuplja samo svjetlost od noćnog neba ili nebeskih objekata kako bi se snimile što kvalitetnije fotografije. Što više svjetlosti prikupimo, to više detalja će se vidjeti na konačnoj fotografiji. Jako bitni aspekti astrofotografije su vrijeme izloženosti te izoštravanje pri snimanju fotografije. Astrofotografijom, uz određene metode, te dovoljno iskustva korisnika, mogu se snimiti detalji na noćnom nebu koji su inače nevidljivi golim okom.

## **KLJUČNE RIJEČI**

Astrofotografija, svjetlost, izoštravanje, instrumenti za snimanje astrofotografija, metode snimanja nebeskih objekata

## **ABSTRACT**

Astrophotography is photographing of night sky and celestial objects. The instruments used in astrophotography have the option of collecting photons of light for a short or long periods of exposure. Depending on which instrument is used to capture images of celestial objects or night sky, it is necessary to pay attention to the technical settings of these instruments and the selection of additional tools that helps focus an object that we want to shot, and in collecting photons of light. Quality of taken astrophotos depends on the visual perception of the user, his knowlegde on the technical settings and possibilities of the instruments, experience and objects that we want to shot. When taking astrophotographs, it is important to position the instruments for shooting on the area with no light pollution. Instruments for recording astrophotos have the option of collecting light over a long period, so it is important that during these exposures light is collected only from the night sky and celestial objects, in order to ensure good astrophoto. The more light we collect, the more details will be seen in the final photography. Important aspects of astrophotography is the time of exposure and focus. Astrophotography, with certain methods, and the experience of the user, can record details on the night sky that are invisible to the naked eye.

## **KEY WORDS**

**Astrophotography, luminosity, focusing, instruments for taking astrophotography, methods of taking celestial objects**

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. RAZRADA TEME .....	2
2.1. OSNOVNI POJMOVI DIGITALNE ASTROFOTOGRAFIJE .....	2
2.2. INSTRUMENTI ZA SNIMANJE ASTROFOTOGRAFIJE .....	7
2.3. FOTOAPARATI ZA SNIMANJE ASTROFOTOGRAFIJE .....	11
2.4. METODE IZOŠTRAVANJA .....	16
2.5. METODE SNIMANJA ASTROFOTOGRAFIJE .....	29
2.6. SNIMANJE ASTROFOTOGRAFIJE TELESKOPOM .....	30
2.7. DODATNI INSTRUMENTI KOD SNIMANJA ASTROFOTOGRAFIJE .....	33
3. ZAKLJUČAK .....	39
4. LITERATURA .....	40



# 1. UVOD

Astrofotografija je fotografiranje noćnog neba i nebeskih objekata poput planeta, zvijezdi, maglice i galaksije. Astrofotografijom mogu se snimiti objekti i detalji na njima koji su nevidljivi golim okom. Pojam astrofotografije podrazumijeva snimanje u vidljivom dijelu spektra, ali ponekad je moguće snimiti astrofotografije iz drugih dijelova spektra određenim filterima. Fotoosjetljivi mediji su u stanju prikupljati svjetlost nebeskih objekata tijekom duljeg vremenskog intervala (ekspozicije). Time udaljeni i tamni objekti postaju vidljivima. Što je dulje vrijeme eksponiranja, to će se više svjetlosti prikupiti na fotoosjetljivom mediju. Snimanje astrofotografije se obavlja bilo kakvim optičkim sustavom koji je u mogućnosti sakupljati i fokusirati svjetlost. To može biti običan fotografski objektiv ili astronomski teleskop. Zbog motiva i okruženja potrebnih za ovu vrstu fotografije, vrlo važno je ispuniti određene kriterije kako bi se snimile kvalitetne fotografije. Postoji više metoda snimanja astronomskih fotografija. Metode i kriteriji ovise o mediju koji koristimo za snimanje astrofotografija, njegovim tehničkim mogućnostima i našem iskustvu te vizualnoj percepciji.

Za amatersku astrofotografiju nije potrebno imati vrhunsku opremu, teleskop ili dodatne instrumente. Današnji fotoaparati dolaze sa sve boljim rezolucijama i mogućnostima pri snimanju scena i objekata. Za amatersku fotografiju najčešće se koriste DSLR fotoaparati poput Canona i Nikona. No mogu se koristiti i CCD, DSC ili web kamere. Fotoaparat se odabire ovisno o tome kakve astrofotografije želimo snimiti, scene, planetarne ili „deep sky“

Ukoliko se želi upustiti u profesionalnu astrofotografiju, potrebno je obratiti pažnju na razne smjernice. Postoje razne vrste teleskopa, od kojih se neki koriste samo za promatranje nebeskih objekata dok se s ostalima mogu snimiti vrhunske astrofotografije. Uz teleskop, potrebno je imati postolje i montažu koja prati kretanje nebeskih objekata pri dužim izlaganjima svjetlosti. Što je duže senzor izložen svjetlosti, to će više svjetlosti skupiti i to će se više detalja vidjeti na slici. U radu je opisana preglednost postavki fotoaparata za snimanje astrofotografije, teleskopa i fotoaparata koji se koriste za snimanje iste, njihovih mogućnosti, te raznih metoda izoštravanja kojima se snimaju nebeski objekti.

## 2. RAZRADA TEME

### 2.1. OSNOVNI POJMOVI DIGITALNE ASTROFOTOGRAFIJE

Izuzev Mjeseca, objekti koji se žele snimiti po noći slabo se vide. To znači da se mora uloviti svjetlosti što je više moguće. Fotoaparati kontroliraju količinu svjetlosti na dva načina – pomoću zatvarača koji se otvara i propušta svjetlost, ta svjetlost zatim pada na digitalni senzor u fotoaparatu, ili film; te pomoću otvora promjenjive veličine, otvor objektiva. Što je veći otvor objektiva, to više svjetlosti se snima. I što se veći otvor objektiva koristi, to se više svjetlosti pušta u fotoaparat. Većina DSLR fotoaparata imaju postavku pod nazivom „žarulja“ koja drži zatvarač otvorenim toliko dugo koliko je zatvarač pritisnut (B).

Vrijeme eksponiranja se kontrolira brzinom zatvarača objektiva, tj. koliko dugo će fotosenzor fotoaparata biti izložen svjetlu. Brzina zatvarača se označava dijelovima sekunde. Riječ je od standardnom nizu brojeva koji se primjenjuje još od klasičnih fotoaparata – B, 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/15, 1/30, 1/60, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/4000, 1/8000.

1/125, naprimjer, označava jednu stotvadesetpetinku sekunde. Toliko dugo će zatvarač objektiva biti otvoren, tj. senzor filma izložen svjetlosti. B označava „BULB“, odnosno postavku DSLR fotoaparata koja drži zatvarač otvorenim toliko dugo koliko se drži okidač fotoaparata. „BULB“ opcija je najpovoljnija za snimanje astrofotografije noćnog neba, jer manualno određuje koliko dugo će zatvarač objektiva biti izložen svjetlu.

Vrijeme eksponiranja je vrijeme osvjetljavanja fotosenzibilnih površina. Izražava se u jedinici „exposure value“ (EV). Promjena jedne vrijednosti na skali F brojeva ili skali brzine zatvarača odgovara promjeni vrijednosti 1 EV. To znači da se odredi vrijeme eksponiranja i fotoaparat automatski određuje otvor objektiva ovisno o uvjetima svjetla koje je izmjerio. Također „aperture value“ (AV), što znači da se odredi otvor objektiva a fotoaparat automatski odredi vrijeme ekspozicije. AV se naziva i automatika sa prioritetom blende, dok je EV automatika sa prioritetom ekspozicije.

Filmovi kod klasične fotografije imaju različitu osjetljivost na svjetlo koja se označava sa DIN i ASA standardima. Što je film manje osjetljiv na svjetlo, zrna emulzije koja su tvorila fotoosjetljivi sloj imala su manju zrnatost i obrnuto – što je film bio osjetljiviji, imao je veća zrna emulzije. Digitalni fotoaparati ne koriste klasične filmove. Kod



digitalnih, osjetljivost na svjetlo se označava ISO vrijednošću, koja ima značenje osjetljivosti u ASA i DIN standardima.

Većina digitalnih aparata također imaju postavku za namjestiti osjetljivost na svjetlost. U realnosti, ne može se promijeniti osjetljivost senzora u fotoaparatu na svjetlost, no može se namjestiti ISO vrijednost, koja djeluje kao faktor množitelj. Raspon ISO vrijednosti je od 100 do 400 kod jednostavnijih fotoaparata, ili do 800, 1600 ili 3200, 6400 kod profesionalnijih fotoaparata. Povećanjem ISO vrijednosti, povećava se i količina šuma, što se može usporediti s osjetljivošću i zrnatošću klasičnih filmova. Osjetljivost fotosenzora i filmova je prilično jednaka – što je film osjetljiviji to je veće zrno, što je ISO vrijednost veća to je više šuma. Kao i kod filmova, tako i kod digitalnih fotoaparata, smanji li se osjetljivost, vrijeme eksponiranja će biti dulje kako bi se uhvatila ista količina svjetla. Kod astrofotografije, svjetla nikada dosta te dugačke epozicije su bolje za slikanje noćnih objekata. Ukoliko se radi o snimanju Sunca, sa korištenjem specijalnih zaštitnih filtera, ekspozicije bi trebale biti jako kratke zbog blještavog sjaja zvijezde Sunca. Isto tako je sa snimanjem Mjeseca.

Za snimanje astrofotografije amaterskim fotoaparatom potrebno je namjestiti navedene postavke, vrijeme ekspozicije na što duže, otvor blende i ISO vrijednost na što veće kako bi što više svjetlosti došlo do senzora fotoaparata i kako bi se što više objekata na nebu snimilo. ISO vrijednost 1600 se koristi za fotografiranje astrofotografije jer nije potrebno koristiti dugačko vrijeme ekspozicije pošto je osjetljivost na svjetlost velika, te uspijeva uloviti dovoljnu količinu svjetlosti.

Optički sustav se smatra fokusiranim kada je maksimalna količina svjetlosti koncentrirana u najmanjem mogućem području u žarišnoj ravnini fotoaparata. Točka fokusa nalazi se gdje zrake svjetlosti iz optičkog sustava konvergiraju. Veličina zvijezde zabilježena senzorom, zapravo je određena kombinacijom faktora: opseg optičkih svojstava kao što su otvor i žarišni omjer, točnost fokusa, slučajnost opsega u žarišnoj ravnini i ravnini senzora fotoaparata, kvalitetu opsega u optici, sužavanje i usklađivanje opsega u optici, viđenje i atmosfersku kvalitetu, praćenje usmjeravanja u ostalih mehaničkih razmatranja i tip detektora. Fokus je postignut kada se žarišna ravnina površine senzora podudara sa žarišnom ravninom teleskopa. Ovisno o vrsti teleskopa, to se može postići fizičkim pomicanjem teleskopa, primarnog zrcala ili sekundarnog zrcala. Ovisi o tome što se pokušava postići i kako ga se želi definirati. Kvaliteta fokusa

ovisi o omjeru i dubini fokusa optičkog sustava, kvaliteti i razlučivosti optičkog sustava; razlučivosti, točnosti praćenja tijekom ekspozicije, kvaliteti vida tijekom ekspozicije i točnosti fokusa.

U astrofotografiji, objekti koji se snimaju, nalaze se jako daleko te je potrebno fotoaparat postaviti na manualno izoštravanje, te postaviti fokus na beskonačno. Profesionalniji fotoaparati poput Canona i Nikona automatski izoštravaju na beskonačno pri lošijim svjetlosnim uvjetima, tj. kada ne mogu točno odrediti fokus. Bez obzira na to, preporučuje se manualno izoštravanje kako bi se osigurala oštrija fotografija. Zvijezde koje vidimo na noćnom nebu su toliko daleko da kažemo da se nalaze u „beskonačnosti“. One, naravno, nisu beskonačno daleko, ali su dovoljno daleko da žarišna ravnina teleskopa ili objektiva bude na mjestu najbližeg fokusa za optički sustav. Predmeti koji su bliži zahtijevaju žarišnu ravninu koja je udaljenija od tog predmeta. Slika koja se stvara u žarišnoj ravnini nije točka, jer svjetlo koje prolazi kroz kružni otvor objektiva teleskopa ili objektiva fotaparata difraktira. Difrakcija se javlja zbog valne prirode svjetlosti. Difrakcija ili ogib je pojava u prirodi gdje valovi svjetlosti skreću „iza kuta“, ogibaju se. Svaka točka obasjane pukotine postaje izvor novog elementarnog vala. Svaka točka na fronti vala postaje izvor novog vala i širi se u smjeru napredovanja.

Postoje razne metode izoštravanja, od kojih neke funkcioniraju bolje od drugih. Bolje metode su kvalitetnije jer su konstantne.

Većina fotoaparata tvornički su namješteni na takozvani automatski bijeli balans. Kod astrofotografije radi dobivanja što realnijih boja na fotografiji, potrebno je bijeli balans namjestiti ručno, tj. na „day – light“ opciju. Automatski postavljene bijeli balans ne daje kvalitetne rezultate fotografiranja, pogotovo ako se snima na područjima gdje ima svjetlosnog zagađenja, kao kod urbanih područja sa puno umjetnih svjetala. Kod takvog slikanja, nebo obično ispadne na fotografijama smeđe ili crvene boje.

Ljudska vizualna percepcija i balans boja – Bijeli balans znači namještanje balansa boja na fotografiji u svrhu kompenziranja temperature boja dominantnog objekta koji se snima. Vizualna percepcija čovjeka je vrlo dobra u raspoznavanju velikog raspona tonova bijele boje. Milijuni godina evolucije proizveli su ljudski vid koji se temelji na percepciji Sunčeve svjetlosti kao bijele boje. Boja Sunčeve svjetlosti se mijenja tokom dana. Može biti vrlo crvena kada je Sunce blizu horizonta, ili vrlo plava kada je

raspršena u atmosferi. Nebo je jedini izvor osvjetljenja kada je Sunce iza oblaka. Ljudske oči mogu se prilagoditi ovim i ostalim promjenama u boji osvjetljenja od dominantnog izvora svjetla, kako bi se vidjeli najsajjniji tonovi kao bijeli. To znači da će se isti komad papira pisanih strojeva vidjeti kao bijeli pod izravnim Suncem ili sijenom, čije je osvjetljenje vrlo plavo pod plavim nebom. Oči će vidjeti taj komad papira kao bijeli pod zatvorenim volfram rasvjetom, čije je osvjetljenje vrlo crveno. Boja osvjetljenja se obično opisuje kao „temperatura boje“. To je objašnjenje na temelju stvarne fizičke temperature „crnog tijela“, koje, kada se zagrije, zrači svjetlo. Na niskim temperaturama, svjetlo je vrlo crveno. Na temperaturi oko 5.000 – 7.000 stupnjeva Kelvina, svjetlo se vidi kao bijelo. Kako temperatura boja ide više, svjetlo postaje sve plavije. Temperature boja različitih izvora svjetlosti su:

- 1850 K - svijeća
- 2800 K - Volfram žarulja
- 5780 K - Sunčevo crno tijelo
- 5000 do 7000 K – Sunčeva svjetlost po danu, u podne pod vedrim plavim ljetnim nebom
- više od 12000 K - sjena

U setu fotoaparata za dnevno svjetlo bijele boje, scena osvjetljena volfram svjetlom na 3200 K će točno snimiti tu scenu kao vrlo crvenu. Isto tako, scenu osvjetljenu nebom na otvorenoj sijeni točno će snimiti kao vrlo plavu, kada je bijeli balans fotoaparata postavljen na dnevno svjetlo. Iako fotoaparati bilježe ove scene „točno“, to nije kako ih i mi vidimo. Oko ne doživljava te boje kao vrlo crvenu ili vrlo plavu, percipira ih kao normalnu, neutralnu boju. Da bi prevladali taj problem, digitalni fotoaparati dolaze s mogućnošću automatske prilagodbe bijelog balansa scene koja se snima, ili ručnog odabiranja određene temperature boje scene, kako bi prikaz scene fotoaparatom bio blizu ljudskog vizualnog doživljaja scene.

Digitalni SLR fotoaparati obično dolaze s automatskom postavkom balansa bijele boje koja pokušava ispraviti sve vrste osvjetljenja prisutne u sceni koju fotografiramo. Dobro funkcionira s objektima na dnevnom svjetlu, dok je loše kod toplih osvjetljenih subjekata sa volfram žaruljom. Ovi fotoaparati obično nude nekoliko standardnih postavki bijele boje, ovisno o vrsti osvjetljenja, kao što su volfram, dnevno svjetlo, sjena i oblačno osvjetljenje. Neki DSLR fotoaparati nude mogućnost odabira određene

temperature boje u stupnjevima Kelvina za bijeli balans. Neki čak nude i mogućnost postavke „Custom white balance“ na sivoj kartici kako bi bijela boja odgovarala dominantnom izvoru osvjetljenja u sceni. Ovi fotoaparati imaju te mogućnosti jer su podaci digitalni. Brojevi koji predstavljaju boje u sceni mogu biti namješteni tako da su bijeli i sivi tonovi neutralni kod različitih izvora svjetlosti. Digitalni fotoaparati mogu proizvesti prilično točne boje kod standardnih izvora svjetlosti.

Astronomske slike su drugačije od normalnih dnevnih fotografija. Dnevne fotografije obično imaju normalne scene sa predmetima koji reflektiraju i apsorbiraju svjetlost dominantnog izvora osvjetljenja kao što je Sunčeva svjetlost, svjetlost otvorenog neba, volfram žarulja ili blijesak. Astronomske fotografije uključuju zvijezde koje su osvjetljenje same po sebi, emisije maglica koje su također osvjetljenje same po sebi i refleksije maglica koje svijetle zbog refleksija zvijezda.

Balansiranje boja kod astronomske fotografije – Kod snimanja astronomske scene, ukoliko se žele snimiti precizne boje, bijeli balans potrebno je namjestiti na dnevno svjetlo. To svjetlo je ono koje oko vidi kao standard. Ako se koristi postavka dnevno svjetlo za bijeli balans kod snimanja noćnih astronomske fotografije, svaka zvijezda koja je slične boje kao i Sunce, bit će zabilježena u točnom tonu bijele boje. Isto vrijedi i za boje ostalih zvijezda. Postoje, međutim, nekoliko problema na koje se može naići. Prvo, ukoliko se žele snimiti kvalitetne fotografije emisije crvene maglice, potrebno je koristiti fotoaparat čiji izvorni filter dugih valnih duljina je zamijenjen ili modificiran. Nakon što je to napravljeno, postavka ravnoteže bijele boje na dnevno svjetlo nije više točna. Drugi problem je u tome što neki astronomski programi za obradu slike ne podržavaju standardni ili prilagođeni bijeli balans, čak i ako su ti standardni podaci zabilježeni u fotoaparatu u trenutku snimanja. Neki astronomski programi za obradu slike, poput „Images Plus v2.8“ podržavaju standardni bijeli balans. Ovisno o programu koji se koristi, moraju se koristiti različite metode kako bi se postigao ispravan bijeli balans kod astronomske fotografije.

## 2.2. INSTRUMENTI ZA SNIMANJE ASTROFOTOGRAFIJE

### Teleskopi za snimanje astrofotografije

Instrumenti za snimanje astrofotografije su mjerni instrumenti za praćenje položaja nebeskih tijela na nebeskoj sferi. Razrađuju se mjerne metode i istražuju gibanja tijela, precesije i astronomske nutacije, zbog kojih se mijenjaju nebeska tijela u tijeku vremena. Svaka od njih upotrebljava za to namijenjene teleskope. Teleskop je osnovni astronomski instrument, kreće se u dvije međusobno okomite ravnine. Kutomjeri služe da određivanje smjerova tih ravnina. Osi oko kojih se teleskop pokreće i ravnine u kojima se pokreće, postavljaju se u sistemu horizontskog koordinantnog sustava, gdje je postavljanje teleskopa altazimutsko, ili u sistemu nebeskog ekvatorskog koordinantnog sustava, gdje je postavljanje ekvatorsko ili paralaktičko. Teleskop je često opremljen dodatnim instrumentima, poput interferometra i spektroskopa. Prema području elektromagnetskog valova koja proučava, teleskop se naziva optički teleskop, radio teleskop, rendgenski teleskop, gama teleskop, teleskop za infracrveno zračenje, teleskop za ultraljubičasto zračenje i drugi. Za snimanje planeta nema smisla upotrebljavati teleskope sa objektivima manjim od 120mm (refraktor), odnosno 150mm (reflektor). Reflektorski teleskop je tip teleskopa koji svjetlost sakuplja zrcalima za razliku od refraktorskih teleskopa koji svjetlost sakupljaju lećama. Najveći svjetski teleskopi su reflektorskog tipa (Hubble, Teleskopi Keck).

### Optički teleskop

Sastoji se od objektiva i okulara povezanih s pomoću cijevi, i po potrebi malog dalekozora, uređaja za praćenje promjene položaja nebeskih tijela zbog rotacije Zemlje, i od uređaja za analiziranje, snimanje i pretvorbu slike u elektronički oblik. S kamerama za snimanje više slika u više spektralnih područja pomoću spektrografa, namijenjen je proučavanju površina planeta, zvijezda, galaktika. Dobivaju se slike s velikom moći razlučivanja.

### Refraktorski teleskop

Sadrži optičku leću kao objektiv. Refraktori su omiljeni za vizualna opažanja u amaterskoj astronomiji, upotrebljavaju se za opažanje Sunca i u astrometriji. Lomom svjetlosti (refrakcijom) na površini leće, slika dolazi u žarište [slika 1.]. Moderni teleskopi mogu biti akromatski i apokromatski. Akromatski teleskop ima konstrukciju

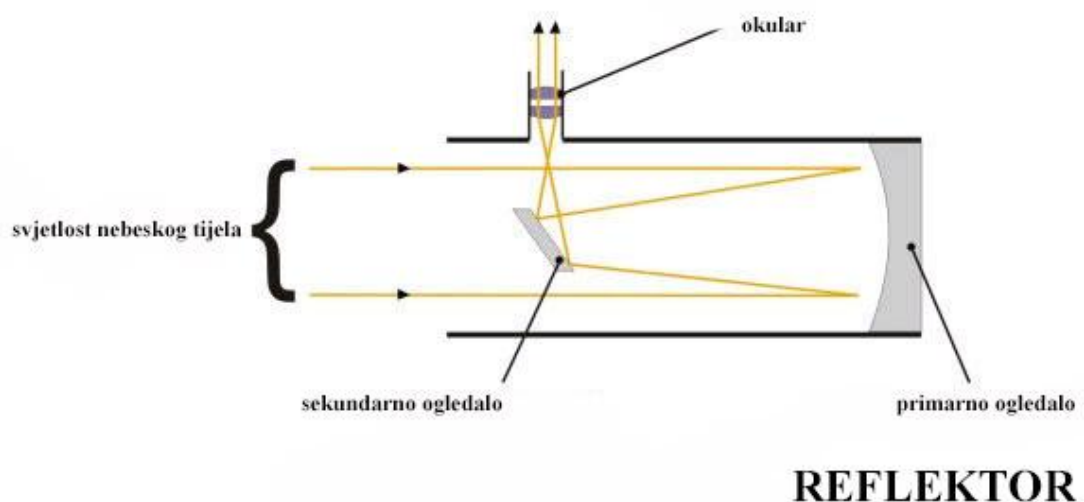
leće od barem dva elementa kako bi se smanjila kromatska aberacija. Apokromatski teleskop ima leću od posebnih vrsta stakla sa malim indeksom loma kako bi sve valne duljine vidljivog dijela svjetlosti na istom mjestu bile u žarištu te se potpuno elimirala kromatska aberacija.



Slika 1 Princip rada refraktor teleskopa  
 izvor: <http://liverpoolas.org>

### Reflektori

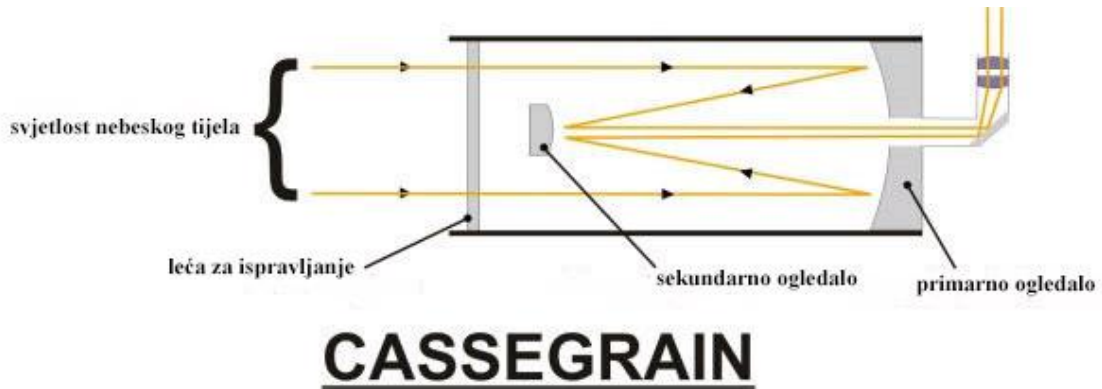
Koriste zrcala za primanje i fokusiranje svjetlosti. Nemaju problema sa kromatskom aberacijom, ali kontrast im je smanjen zbog opstrukcije sekundarnog zrcala i njegovih nosača. Koriste zrcalo za skupljanje svjetlosti koja se odbija (reflektira) od njegove površine. Zrcalo se nalazi na dnu optičke cijevi, a zrake dolaze do dijagonalnog zrcala koje pod kutem od 90 stupnjeva odbija svjetlost od okulara na vrhu optičke cijevi [slika 2.]. Nemaju kromatsku aberaciju jer rade na principu loma svjetlosti.



Slika 2 Princip rada reflektor teleskopa  
 izvor: <http://liverpoolas.org>

## Katadiopteri

Sastoje se od leća i zrcala [slika 3.]. Zbog svoje konstrukcije imaju veliku žarišnu duljinu unutar kratke optičke cijevi. Popularni su za CCD fotografiju ili snimke web kamerama zbog velike žarišne duljine. Ovisno o položaju leća i zrcala postoje mnoge vrste katadioptera. U amaterskoj astrofotografiji najčešće se koriste Schmidt – cassegrain, Maksutov – Cassegrain i Ritchey – Chretien. Najveći svjetski teleskopi većinom su katadiopteri.



Slika 3 Princip rada Cassegrain katadiopter teleskopa

izvor: <http://liverpoolas.org>

## Newtoniani

Newtonov teleskop je svaki reflektor koji koristi sferno, parabolično primarno te ravno sekundarno zrcalo koje sliku skrene pod 90 stupnjeva u odnosu na optičku os. U današnje vrijeme, pod pojmom Newtonov teleskop, označavaju se reflektori na ekvatorijalnoj montaži. S takvom montažom lakše je pratiti objekte, no montaža mora biti dovoljno dobra kako ne bi stvarala prevelike vibracije. Astrofotografije sa ovim teleskopom su moguće, ali je potreban korektor kako bi zvijezda na rubovima vidnog polja bila točkasta umjesto izdužena. Teleskop se koristi najčešće kao platforma za piggyback fotografiju.

## Schmidt-Cassegrain

Schmidt-Cassegrain teleskopi su katadiopteri – imaju korektivnu leću koja korigira „greške“ primarnog zrcala. Optika je većinom jako dobre kvalitete, za razliku od akromatskih refraktora i reflektora gdje optička kvaliteta istog tipa teleskopa može znatno varirati. Optički dizajn Schmidt-Cassegraina je postao popularan 70-tih godina

prošlog stoljeća i od tada se jedva mijenjao, osim što su sada veće preciznosti prilikom izrade, novi antirefleksivnih premaza i karbonske cijevi na nekim modelima.

Obično su velikih žarišnih duljina, pa je teško postići mala povećanja. To zapravo i nije mana jer je apsurdno teleskopom 20cm promjera promatrati na povećanjima manjim od 50x - 80x. Zbog optičkog dizajna su kompaktni i lako prenosivi, a odlični i za deep sky i za planete. Pažljivom kolimacijom mogu se vidjeti i najsitniji detalji na planetima, usprkos nešto manjem kontrastu zbog relativno velikog sekundarnog zrcala. Mane su im dulje vrijeme potrebno za postizanje temperature okoline, zatvorena optička cijev, korektor se lako zamagli te zbog optičke površine imaju manju propusnost svjetla.

Za astrofotografiju je potreban reduktor fokusa kako bi ekspozicije bile kraće. Često se koriste za snimanja s CCD fotoaparata, za razliku od DSLR-a koji su popularniji u tandemu s malim APO refraktorima. Bez reduktora su odlični za snimanje planeta web kamerom.

#### Maksutov-Cassegrain

Maksutov-Cassegrain teleskopi su također katadiopteri, ali imaju drugačiju korektivnu leću od Schmidt-Cassegraina. Ta leća im je i prednost i mana. Izuzetno su kontrastni i oštri. Zbog svoje konstrukcije Maksutov-Cassegraini imaju prilično veliku žarišnu duljinu što je nezgodno za teleskope manjih promjera budući da ne mogu lako postići mala povećanja, a na većima objekti izgledaju tamnije. Velik broj optičkih površina znači i veći gubitak svjetlosti pa će objekti u Maksutov-Cassegrain teleskopu izgledati nešto tamniji nego npr. u refraktoru jednakog promjera. Pozitivno je što ih uglavnom dolaze već tvornički kolimirani i nije ih moguće, a niti potrebno kolimirati. Manji Maksutov-Cassegrain teleskopi se mogu koristiti na čvršćim foto stativima, ali za veća povećanja je ipak potrebna solidnija montaža. Promjeri od 5''-7'' (127mm – 180mm) su već ozbiljni i kvalitetni instrumenti pogodni za promatranje i fotografiranje planeta, ali manje praktični za deep sky od Schmidt-Cassegraina.

Kao kod odabira fotoaparata, tako i kod odabira teleskopa, treba obratiti pažnju na određene faktore. Skoro svaki teleskop može snimiti fotografije. O njihovoj kvaliteti ovisi kvaliteta opreme s kojom se snimaju, o personalnim standardima korisnika, razini iskustva te objektima koji se žele fotografirati.



### 2.3. FOTOAPARATI ZA SNIMANJE ASTROFOTOGRAFIJE

Film vs. DSLR fotoaparati [*slika 4.*]

DSLR slike su digitalne, mogu biti ispitane na licu mjesta. Problemi kao što su fokus i praćenje mogu biti otkriveni na teleskopu, te mogu biti popravljani prije nego što krenemo snimati drugu astrofotografiju. Kratke izloženosti svjetlosti mogu biti kombinirane sa istim dužim izloženostima, samo mali dio izloženosti se izgubi zbog problema aviona koji lete kroz okvir slike. Kratke izloženosti imaju i manji problem s praćenjem. DSLR fotoaparati ne pate od problema kao što su „film creep“, gdje zvijezda zaostaje izvan fokusa, kada se emulzija filma širi i pomiče tijekom izloženosti zbog apsorpcije vlage pod vlažnim uvjetima. Film također gubi osjetljivost pod tim uvjetima velike vlage. Kako bi se rješio taj problem, astrofotografi ulijevaju dušik u fotoaparat tijekom izlaganja. Film, s druge strane, ima neke prednosti u odnosu na DSLR slike. Film omogućuje fotografu slike po iznimno niskoj cijeni, par stotina dolara za tijelo fotoaparata i za rolu filma. Kodak Ektachrome 200 još uvijek je čudesan film za astrofotografije s vrlo dobrom osjetljivošću na crveni spektar, i niskim neuspjehom. S druge strane, troškovi skenera i digitalizacije filma nadomještaju jeftinoću fotografiranja sa filmom. Problem s filmom je razvijanje. Mnogi profesionalni filmski laboratoriji se zatvaraju, te je teško pronaći laboratorij za razvijanje. Neki negativ filmovi još uvijek se koriste za astrofotografije, ali mnogi su danas dizajnirani tako da su neosjetljivi na vodik alfa valne duljine koje čine emisije crvenih maglica. Budući da digitalni fotoaparati imaju veću moć razlučivosti od filma i širu spektralnu osjetljivost, oni su i više kritični kod otkrivanja pogrešaka, poput praćenja područja i boje i ostalih optičkih aberacija u teleskopu i fotoaparatu.

Senzori bazirani na siliciju, kod CCD i CMOS fotoaparata, imaju veliku prednost u odnosu na filmske emulzije bazirane na srebru. Silicij bazirani senzori su osjetljiviji, imaju veću kvantnu učinkovitost. Digitalni senzori također imaju veći dinamički raspon i veću moć razlučivanja od filma, te ne pate od učinaka svjetlosnih mrlja, i imaju mogućnost kraće podekspozicije. Senzori kod fotoaparata imaju veću početku osjetljivost koja se pojavljuje u obliku šuma na fotografiji, ali i pate od mnogo niže kvantne učinkovitosti i smanjene osjetljivosti na duže izloženosti zbog reciprociteta neuspjeha. Digitalni senzori fotoaparata zapravo imaju jednu osjetljivost, ali dopuštaju

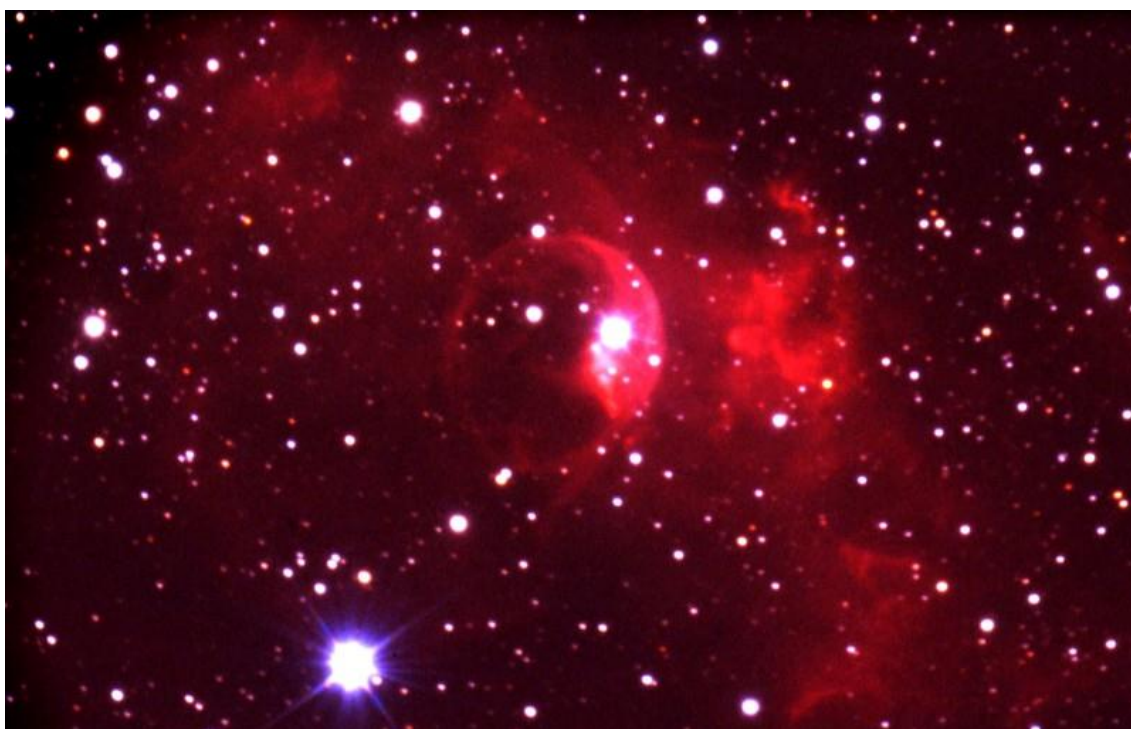
korištenje različitih promjena kod osjetljivosti. Kako se osjetljivost povećava u digitalnim fotoaparatom, manji raspon se preslikava u istoj dubini bita, i smanjuje dinamički raspon. To pomaže kod razlikovanja signala od šuma, i pruža više koraka za rad, kada se takvi podaci kasnije obrade povećanjem kontrasta i vidljivosti. „Unity Grain“, gdje jedan elektron se pretvara u jedan digitalni broj, je najučinkovitija osjetljivost kod digitalnih fotoaparata za dugo izlaganje astrofotografije blijedim dubokim nebeskim objektima.



*Slika 4 Swan maglica - Prikaz razlike u astrofotografiji slikanoj filmom (a) i CCD fotoaparatom (b)  
izvor: <http://starizona.com/acb/ccd/intro.aspx>*



*Slika 5 Astrofotografija slikana SBIG STL-11000m CCD fotoaparatom  
izvor: <http://www.mistisoftware.com/astronomy/FilmComparison.htm>*



*Slika 6 Astrofotografija slikana Fuji Provia 400 film  
izvor: <http://www.mistisoftware.com/astronomy/FilmComparison.htm>*

Postoje četiri vrste digitalnih fotoaparata:

1. Digitalni SLR fotoaparati (DSLR)
2. „Hladni“ astronomski fotoaparati (CCD)
3. Digitalni „Snapshot“ fotoaparati (DSC)
4. Web kamere

Digitalni zrcalno refleksni fotoaparati – DSLR, imaju izmjenjive objektivne s raznim žarišnim duljinama, od „fisheye“ do super telefotoaparata. Nude kreativnu kontrolu nad otvorom objektivne, vremenom eksponiranja i ISO-m. Imaju velike digitalne senzore. Leće im se mogu ukloniti i zamijeniti adapterom koji im omogućuje priključivanje izravno na teleskop, gdje opseg djeluje kao objektiv fotoaparata.

Astronomska CCD kamera/fotoaparat se posebno hladi radi smanjenja šuma, posebno su napravljeni za znanstvene i slikovne svrhe. Napravljeni su za korištenje sa teleskopima, adapteri mogu biti kupljeni kako bi se omogućilo korištenje s lećama fotoaparata za širokokutne fotografije. Astronomske fotoaparate zahtijevaju korištenje računala.

Digitalni „snapshot“ fotoaparati DSC imaju neizmjenjive objektivne i ograničeno vrijeme ekspozicije. DSC fotoaparati mogu se koristiti za scenske astrofotografije, ali ne rade dobro kod duljih izloženosti za duboke nebeske fotografije.

Web kamere su jeftine kamere s čipovima za boje CCD ili CMOS koji su napravljeni za streaming videa preko weba. Imaju male pločice sa sitnim visokim rezolucijama piksela za snimanje kontinuiranih digitalnih videa. Jako dobro rade kod planetarnih slika visoke razlučivosti, ali ne i tako dobro kod dubokih nebeskih fotografija.

Digitalni SLR fotoaparati mogu snimiti Mjesec, zvijezda, staze zvijezda i širokokutne slikovite scene sumraka bez korištenja teleskopa ili druge astronomske opreme. Odabir pravog fotoaparata ovisi o nebeskim objektima koje želimo fotografirati i o našem znanju o astronomiji i o postavkama fotoaparata.

Postoje tri vrste astrofotografija - scenska, planetarna, „deep sky“. Za scenske astrofotografije najbolje koristiti DSC ili DSLR fotoaparate. Scenske fotografije su fotografije Zemljinog sjaja uzrokovanog Sunčevom svjetlošću na tamnijem dijelu polumjeseca, zore, „Velikih kola“ i „Malih kola“ te Mliječnog puta.

Planetarne fotografije su fotografije Sunca, Mjeseca i planeta Sunčeva sustava. Zahtijevaju visoke razlučivosti, kako bi se ulovili najsitniji detalji na planetima, poput kratera na Mjesecu i pojedinosti Sunčevih pjega. Najbolje fotografije Sunčeva sustava dobivaju se kompjuterskim web kamerama koje snimaju stotine i tisuće okvira vrlo brzo u isto vrijeme. Program zatim ispituje svaki kadar i izdvaja dobro izoštrene kadrove te ih kombinira radi smanjenja šuma u sustavu slike.

„Deep sky“ astrofotografije uključuju prave bisere noćnog neba – zvijezdane klastere, maglice i galaksije. Ti objekti zahtijevaju dugu izloženost i niski šum fotoaparata.

„Deep sky“ fotografije zahtijevaju različite vrste fotoaparata, one koji imaju mogućnost duge izloženosti, od par desetaka minuta s niskom razinom šuma. CCD astronomski fotoaparati smanjuju šum hlađenjem fotoaparata desetak stupnjeva ispod temperature okoline. DSLR fotoaparati također se mogu koristiti za „deep sky“ fotografije, ako imaju nisko osjetljivost na šum.

Scenske astrofotografije – DSC ili DSLR

Planetarne – Web kamere

Deep sky – CCD ili DSLR

Većina DSLR astrofotografa koristi Canon fotoaparate, i u manjoj mjeri Nikon fotoaparate. Prva generacija DSLR fotoaparata nisu bili dobri za duga izlaganja jer su proizvodili veliki šum na fotografijama. Druga generacija je imala relativno velike piksele sa dobrim omjerom signal-šum. Kasniji fotoaparati su bili više evolucijski nego revolucionarni. Pikseli su postali manji pa je više toga moglo biti natrpano na istoj veličini čipa, ali nove tehnologije kao što su mikroobjektivi, zadržali su prilično dobro omjer signal-šum.

Za astrofotografiju, u smislu omjera signal-šum, najnoviji fotoaparati nisu puno bolji od druge generacije fotoaparata, zapravo su malo lošiji zbog manjih piksela. Šum fotoaparata jedan je od najkritičnijih razmatranja kod kvalitete za duge izloženosti za „deep sky“ astrofotografije.

Canon je proizveo Canon 20Da, fotoaparat koji je posebno dizajniran za astrofotografiju. Canon DSLR fotoaparati su bolji za astrofotografiju duže izloženosti zbog njihove dokazane performanse, niske razine šuma i jednostavnosti korištenja u radu sa RAW datotekama. Međutim, moguće je napraviti odlične astrofotografije i s Nikon fotoaparatom. Konačni rezultat ovisi o tehnici i stručnosti korisnika, te koliko je

posla spreman učiniti. Na oba Nikon i Canin fotoaparata mogu se ukloniti njihovi propusni filteri te zamijeniti za slikanje emisije crvene maglice.

## **2.4. METODE IZOŠTRAVANJA**

1. Vizualna metoda („by eye“)
2. Povećalo / kutno tražilo
3. Digitalno uvećanje – metoda pokušaja i pogrešaka
4. Hartmann maska
5. Difrakcijski šiljci
6. Bahtinov maska
7. Staze zvijezda test („Star trial“ test)
8. Hibridna metoda – staze zvijezda s Hartmann maskom
9. Autofokus
10. „In – camera“ fokus indikator
11. „Parfocalize“ okular
12. „Groundglass“ i počevalo
13. Hibridni Ronchi zaslon
14. „Knife edge“ – rubno izoštravanje
15. Ronchi screen

### **1. By eye – vizualna metoda**

Trebalo bi biti da je najjednostavniji način za izoštravanje gledanje kroz objektiv i namještanje. Čini se jednostavnim, ali vizualna metoda nije precizna i konstantna. Kada se želi uslikati mutne objekte, dolazi do problema izoštravanja. Također i za svijetle objekte. Izoštravanje teleskopa vizualnom metodom ne predstavlja problem, no ne možemo isto reći za izoštravanje fotoaparatom. Problem kod fotoaparata je „groundglass“. Slika koju smo snimili fotoaparatom se prvo projicira na „groundglass“ ekrana za izoštravanje. „Groundglass“ se u fotografiji koristi za ručno izoštravanje, nalazi se u stražnjem dijelu fotoaparata. Projektira uslikanu scenu naopako. To je tanki list stakla sa ispoliranom površinom, fino brušenom te se koristi za difuzno svjetlo, kao i za pregledavanje i izoštravanje slike, također poznato kao „pregled zaslona“. Kod

odabira svijetlih zvijezdi, svjetlo iz zvijezdi zrači i širi se u „groundglass“ zaslona za izoštravanje, čineći teškim za odrediti kada je u fokusu scena koja se želi zabilježiti. Ako se usredotočuje sa golim okom kroz tražilo, treba pokušati odabrati zvijezdu koja nije previše svijetla. Problem koji se može pojaviti s ovom metodom, pogotovo za korisnike Schmidt Cassegrainsa, je ako se primarno zrcalo pomakne prilikom okretanja nakon izoštravanja. Izoštravanje kroz tražilo fotoaparata pretpostavlja da optički sustav tražila je u kulminaciji (astronomski prolaz nebeskog objekta kroz meridijan opažača, tu objekt doseže najveću visinu nad horizontom), da je zaslon izoštravanja u ispravnom položaju, te da je ogledalo usklađeno. Ova metoda može dovesti do nekih neugodnih položaja kod gledanja kroz kameru, primjerice kada refraktor se nalazi iznad glave i kada je Schmidt Cassegrains usmjeren u blizini sjevernog nebeskog pola. Ako se pokušava izoštriti okom, treba uzeti vremena za odrediti točku najboljeg fokusa. Preporuča se korištenje poveza za oko, s time da je oko ispod poveza otvoreno. Povez će spriječiti svjetlo i distrakcije, ali i sačuvati vid. Ovaj jednostavan postupak će pomoći u sprječavanju pritiska u oku koje se koristi za izoštravanje. Iz psihološkog razloga, mozak zna kada je jedno oko zatvoreno, i s time vizija u drugom oku pati. Na ovaj način, sa jednim prekrivenim okom, smanjen je pritisak u oku koje se koristi za izoštravanje. Umor, alergije i astigmatizam mogu utjecati na vid, i na izoštravanje. Postupak vizualne metode nema visoki postotak uspješnosti, jer nije dosljedno ponovljiv. Točnost ove metode ovisi o kalibraciji refleksnog zrcala i tražila sustava, te o vidu korisnika i njegovoj percepciji

## 2. Povećalo / kutno tražilo

U danima kada su postojali filmovi za razvijanje, povećalo je moglo biti postavljeno izravno na zaslon fokusa za fotoaparate koji su imali mogućnost izmjenjivih tražila/povećala. Većina proizvođača fotoaparata proizvode kutno tražilo koje se može priključiti okularu [slika 7.]. Kut od 90 stupnjeva za tražilo dodatak čini se praktičnim kada je potrebno usredotočiti se na objekt koji se nalazi visoko iznad glave. Problem kod takvih uređaja je taj što čine pogled izuzetno mutnim. Nije moguće vidjeti nebeske objekte pomoću njih. Položaj oka je također problem kod takvih tražila. Postoji „sweet spot“, točka u kojoj oko mora biti postavljeno za kritičnu točnost. Ukoliko se slučajno premijesti oko, ono neće više biti u toj točki kritične točnosti, što predstavlja veliku potreškoću kada se usredotočuje na zvijezde.

Kutna tražila obično imaju mogućnost velikog povećanja, na način da se stavi mala Barlow leća u optički sustav. To pomaže dajući velika povećanja, ali čini vidno polje manjim i mutnijim. Ako se koriste takvi uređaji, moguće je usredotočiti se na dvostruke ili višestruke zvijezde koje ne svjetle previše. Kutnim tražilom moguće je izoštravanje u udobnijem položaju za gledanje, ali maglovitost pogleda je veliki problem. Također ih je teško koristiti kod širokokutnih objektivna, jer nisu precizni. Točnost ove metode ovisi o kalibraciji refleksnog zrcala i tražila sustava, kao i vida i predodžbe korisnika.



*Slika 7 Kutno tražilo*

*izvor: <https://www.astronomytechnologies.com>*

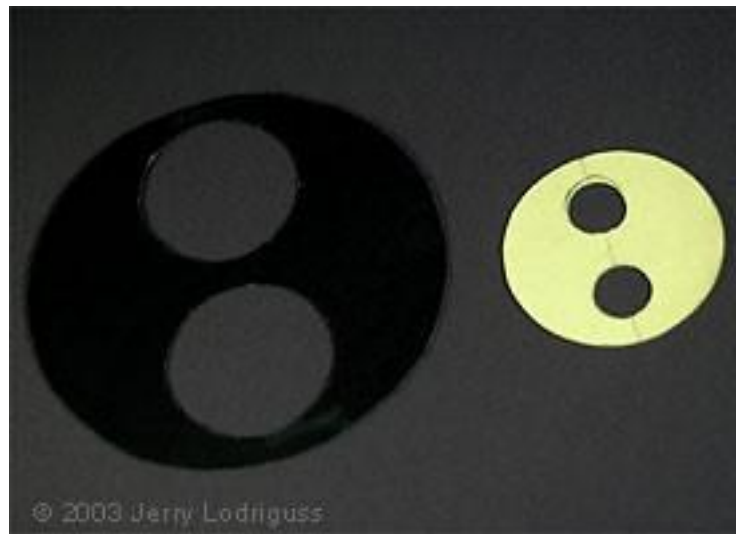
### 3. Digitalno uvećanje - metoda pokušaja i pogrešaka

Kod ove metode, potrebno je koristiti kratke ekspozicije i povećanja na zvijezdama, te ih provjeravati na LCD ekranima na stražnoj strani fotoaparata. Zatim je potrebno malo promijeniti fokus i ispitati sliku te provjeriti izgleda li zvijezda manje. Kroz proces pokušaja i pogrešaka doći će se do najboljeg fokusa. Problem je kada se ide natrag do točke najboljeg fokusa. Osim ako se nema neki kalibrator biranja na fokusu, teško je znati gdje je točka najboljeg fokusa te se vratiti na nju. Dobra stvar kod ove metode je korištenje stvarne slike izvan senzora za određivanje fokusa. Točnost metode ovisi o sposobnosti repetitivnosti pozicije fokusa nakon što je određena točna pozicija, i na predodžbi korisnika kada se dobije točan fokus.



#### 4. Hartmann maska ili Schnier disk

Hartmann maska je jednostavan uređaj koji se sastoji od niza rupa u neprozirnoj površini leće. Izvan fokusa slike generira se svaka rupa kada je teleskop u fokusu. Funkcioniraju na isti način kao i optičko tražilo koje se može naći na fotoaparatu s tražilom, poput serije fotoaparata Leica M. Uređaj se može naći pod dva različita naziva - Hartmannova maska koja opisuje masku sa više rupa, i Scheiner disk koji opisuje masku sa 2 rupe [slika 8.].



Slika 8 Scheiner disk

izvor: [http://www.astropix.com/HTML/I\\_ASTROP/toc\\_ap.html](http://www.astropix.com/HTML/I_ASTROP/toc_ap.html)

#### Hartmannova maska na objektivu fotoaparata

Nedostatak ove maske su isti problemi koji muče bilo koji uređaj koji koristi izoštravanje zaslona i optičke komponente fotoaparata. Mnogi zaslona za izoštravanje su tamni, tražilima fotoaparata nedostaje uvećanje i mogu imati neugodan kut za pregled. Kada bi se povećanje moglo koristiti u tražilu, to bi pomoglo u izoštravanju kod Hartmannove maske. Vrlo je jednostavno napraviti jednu od tih maski rezanjem dviju rupa na komadu karonu koji je istog promjera kao i čep na teleskopu, koji služi za sprječavanje taloženja rose na staklo objektivu te ulazak svjetla sa strane. Ron Wodaski napravio je izvrstan prijedlog za izradu Hartmannove maske. On je predložio korištenje trokuta, umjesto krugova, okrenutih jedan prema drugome pod određenim kutem. Svaki trokut stvara 6 difrakcijskih impulsa koji pomažu izmjeriti gdje

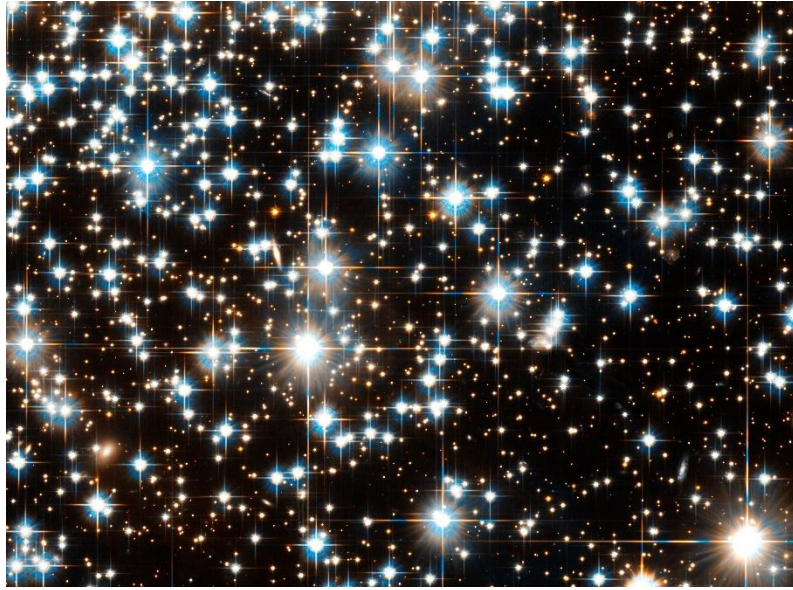
je centar slike zvijezde i kada se slike preklapaju, slika je u fokusu.

Postoji nekoliko problema sa korištenjem Hartmann maske za fokusiranje. Tražilo fotoaparata može biti pod neugodnim kutem kada je usmjeren iznad glave sa refraktorom, SCT ili Makom. Kako se slike spajaju što se više bliže fokusu, točnu točku fokusa ponekad je teško odrediti.

Ova metoda ovisi o točnosti montaže refleksnog zrcala i tražila na zaslonu fotoaparata ako se fokus namješta vizualno kroz tražilo, te o procjeni korisnika koji izoštrava fotografiju.

## 5. Difrakcijski šiljci

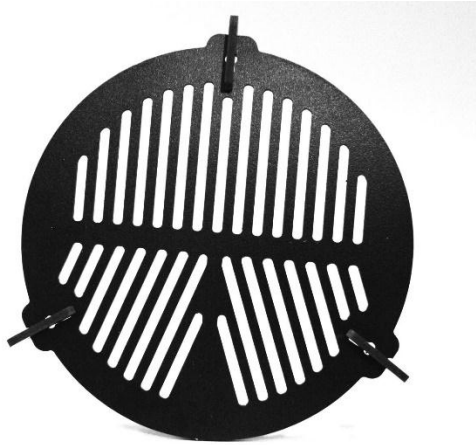
Postupak sličan Hartmann maski, koristi difrakcijske impulse. Ako se koristi Newtonov teleskop, sekundarno zrcalo teleskopa će dostaviti potrebne impulse. Ako se koristi refraktor ili drugi opseg bez sekundarnih nosača, tada se može jednostavno staviti neka žica, „string“ ili drvene tiple pod kutem od 90 stupnjeva u odnosu na svaki drugi, u obliku križa ispred otvora opsega. Kada izoštravanje završi, one se mogu ukloniti. S ovom metodom, prilično svijetle zvijezde mogu se ispitati. Izvan fokusa vide se dva impulsa. Što se više približava fokusu, šiljci se spajaju u jedan i postaju svijetliji i dulji [slika 9.]. Ovu metodu je najbolje koristiti sa testom ekspozicije kod metode pokušaja i pogrešaka za finalni fokus, nakon što se odredi vizualno početni fokus. Test ekspozicije koristi sliku izvan samog senzora i ne ovisi o točnosti refleksije zrcala/ tražilu. Točnost ove metode slična je Hartmann maski. Tražilo fotoaparata može biti pod neugodnim kutem kada je polje fotografije iznad glave, te točno mjesto fokusa može biti teško za odrediti. Ona također ovisi o točnosti refleksije zrcala fotoaparata, zaslonu tražila te procjeni korisnika kod određivanja fokusa fotografije.



*Slika 9 Difrakcijski šiljci na zvijezdama, uslikani Hubble svemirskim teleskopom  
izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction\\_spike](https://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction_spike)*

## 6. Bahtinova maska

Bahtinova maska zanimljiva je varijacija Hartmann maske pomoću pravokutnog otvora na različitim kutevima koji proizvodi difrakcijski uzorak oko zvijezde, s jednim difrakcijskim šiljkom koji se kreće kako se fokus mijenja [*slika 10*; *slika 11*]. Kada je taj šiljak koji se kreće centriran sa ostalim šiljcima, polje je u fokusu. Točnost ove metode ovisi o pravilnoj kalibraciji zaslona tražila fotoaparata i ogledala na senzoru slike (vizualno određivanje tražila), te o procjeni korisnika kod ocjenjivanja uzorka difrakcija u određivanju točnog fokusa.



*Slika 10 Bahtinova maska*

*izvor: <http://www.gerdneumann.net/>*



*Slika 11 Bahtinova maska na teleskopu*

*izvor: <http://tienda.lunatico.es/Bahtinov-mask-for-telescopes>*

## 7. „Star trail“ test (staze zvijezda)

Ovu metodu opisao je E.S.King u svojoj knjizi o astrofotografiji, priručniku nebeskih fotografija. Fokus se može ispitati preko niza vremenskih ekspozicija i različitih fokusa tijekom izloženosti svjetlosti. Jednostavan stalak može se koristiti umjesto postolja za praćenje zvijezda. Zapis je napravljen tijekom ekspozicije, gdje trag zvijezda odgovara skali na prstenu za izoštravanje koji se nalazi na objektivu kamere ili gumbu za fokus. Crna kartica postavljena ispred otvora objektiva ili teleskopa služi za razlikovanje

različitih postavki. Svaka staza/ trag zvijezde treba biti dovoljno izložen svjetlosti kako bi nastao odgovarajući trag na slici za žarišnu duljinu objektiva koja se koristi, a duže izlaganje može se koristiti za prvo ili zadnje izlaganje, koje ukazuje koji trag je prvi ili zadnji izoštren. To je preduvjet za konzistentnost fokusa teleskopa ili objektiva budu u odnosu na oznake indikatora za fokus. Teleskopi koji koriste izoštravanje pomoću pomicanja ogledala mogu biti problematični zbog razdvajanja ogledala. Leće za automatsko izoštravanje koje razdvajaju unutarnji sustav izoštravanja mogu biti neponovljive.

Za leće i teleskope, fokus treba namjestiti u istom smjeru u kojem je bio kada su testovi izvođeni. Ako se ova metoda ponavlja u noći različitih temperatura, izvodi se grafikon fokusa u odnosu na promjene temperature, a točan fokus može biti ostvaren u noći u kojoj će vrajajacije temperature promijeniti fokus. Točnost ovog sustava ovisi o ponovljivosti fokusa u smislu mehaničkih razmatranja opsega ili leće. Teško je obilježiti mjesto fokusa opsegom koji fokusira na način da pomiče zrcala. Konstrukcije nekih leća fotoaparata, osobito one sa automatskim fokusom, također mogu biti problematične u postizanju dosljednosti i ponovljivosti fokusa na točno istom mjestu na prstenu fokusa objektiva.



*Slika 12 Staze zvijezda*

*izvor: <http://blog.wanken.com/12196/star-trails-over-the-australian-outback/>*

## 8. Hibridna metoda – staze zvijezda sa Hartmann maskom

Varijacije staza zvijezda sa metodom izoštravanja kombiniranom sa Hartmann maskom. Ovu metodu je detaljno opisao u časopisu „Sky and telescope“ Chuck Vaughn u veljači 1991.godine. Chuck je metodu koristio kako za izoštravanje na fotoaparatu Olympus žarišne duljine 350 mm i svjetlosne jačine  $f/2.8$ , sa teleobjektivom za snimanje nebeskih objekata s filmom, ali može se koristiti i sa digitalnim fotoaparatom. Maska mora biti orijentirana sa centrom rupe na sjever – jug, kako se dvostruke slike ne bi poklapale na slici.

Za ovaj test, skala fokusa konstruirana je sa najfinijim podjelama koje su iznimno tanke i oštre točke, te sa podjelama sa najmanjim mogućim odvajanjem tako da linije ne budu spojene. Ljestvica je zatim spojena na prsten za izoštravanje na fotoaparat Nikon žarišne duljine 300 mm i svjetlosne jačine 2,8. Ljestvica fokusa je ispitana sa povećalom visoke snage i prstenom objektiva okrenutim za najmanji mogući iznos, uvijek pristupljenom u istom smjeru. Samo polovica zvijezdanih staza su brojčano prikazane kako bi se dobila slika dovoljnih razmjera te kako bi se moglo smisleno ocijeniti test. Druga polovica koja nije prikazana služi kao zrcalna slika prethodnoj polovici zvijezdanih staza. Duple zvijezdane staze koje se dobiju su najšire i postaju bliže kako pravilan fokus pristupa sa najboljim fokusom zabilježenim kao staza broj 1. Točnost ovog sustava ovisi o ponovljivosti fokusa u smislu mehaničkih razmatranja opsega ili leća.

## 9. Autofokus

Većina sustava DSLR fotoaparata ima autofocus mehanizam ugrađen u tijelo fotoaparata, koji radi u sklad s autofocus lećom te su dovoljno osjetljivi za izoštravanje zvijezda s dovoljno brzim optičkim sustavom. Kombinacija autofocus mehanizma i autofocus leće može se koristiti za automatsko izoštravanje svijetlih zvijezda ili planeta. Neki od ovih sustava nude indikator fokusa koji se može priključiti na drugi optički sustav, poput teleskopa. Može biti teško pravilno pozicionirati zvijezdu na detektor za autofocusu jer detektor je relativno mali te može biti vrlo teško vidjeli na crnom nebu u mraku. Problem kod autofocusa je taj da radi samo na objektivima za autofocus, ali ne i na teleskopu. Točnost ove metode ovisi o sustavu automatskog izoštravanja fotoaparata, te o sensorima sustava koji trebaju biti na istoj udaljenosti kao i stvarna žarišna duljina u senzoru fotoaparata.

## 10. Fokus indikator „in-camera“

Većina DSLR fotaparata nude vizualnu ili audio naznaku kada je leća u fokusu. To može biti zeleno svjetlo koje svijetli u tražilu ili zvučni signal. Problem kod ovoga je u tome što će se taj znak dobiti samo kod indikatora s lećama fotoaparata koje imaju elektroniku ugrađenu u njima. Međutim, Foto- Sharp, koji je napravio KW Telescope u Kanadi, nudi prsten adapter koji se može koristiti između Canon DSLR fotaparata i i teleskopa kako bi dodao elektronički sklop koji služi kao indikator fokusa fotoaparata. Postupak je jednostavan, drži se okidač na pola puta za aktiviranje indikatora fokusa, te se fokusira teleskop. Kada fotoaparat detektira da je opseg u fokusu, žaruljica tražila bljesne i oglasi se zvučni signal. Točnost ove metode ovisi o sustavu automatskog fokusiranja fotoaparata, o sensorima sustava koji trebaju biti na istoj udaljenosti kao i stvarna žarišna duljina senzora fotoaparata.

## 11. „Parfocal“ okular

Moguće je „parfocalize“ okular s žarišnom ravninom fotoaparata. Problem je učiniti okular, u stvari, „parfocalize“ sa sensorom fotoaparata. Da bi se to učinilo, fotoaparat prvo mora biti postavljen na pravilno izoštravanje. To može biti učinjeno s drugom točnijom metodom, poput softverom za metričko izoštravanje, ili „knife edge“, ili metodom pokušaja i pogrešaka. Okular je tada izoštren na način da klizi unutra i van cijevi za fokus te biva zaključan sa „parfocale“ prstenom za zaključavanje. Sljedeći put kada se teleskop koristi za astrofotografiju, usmjeren je vizualno sa „parfocalize“ okularom i fotoaparat tada može biti zamijenjen drugime. Problem je opet smještaj oka, može nadoknaditi sitne razlike u pravom fokusu i slika neće biti točno usmjerena. Ako se koristi ova metoda, najkraća moguća žarišna duljina okulara (3 do 5 mm) treba se koristiti za savladavanje smještaja oka. Točnost ove metode ovisi o točnosti fotoaparata kod izoštravanja, o točnosti „parfocalize“ okulara te o vidu korisnika i njegovoj procjeni.

[„PARFOCAL“ – biti ili imati leće ili set leća (kao okular) s odgovarajućim žarišnim točkama, sve u istoj ravnini. Okular je tako montiran da se može izmjenjivati bez mijenjanja instrumenata za fokus (poput mikroskopa ili teleskopa) s kojima se koriste.]

## 12. „Groundglass“ i povećalo

U fotografiji, „groundglass“ se koristi za ručno izoštravanje, umetnuto je u stražnji dio fotoaparata, objektiv je otvoren na najširi mogući otvor. To projicira scenu u „groundglassu“ naopako. Groundglass je staklo čija površina je brušena kako bi imala ravnu ali matiranu površinu [slika 13.]

„Groundglass“ (prizemlje stakla) na istoj je udaljenosti kao i senzor fotoaparata. Budući da je slika izoštrana u groundglassu, problemi sa smještajem oka, kao što su „parfocalize“ okular, su izbjegnuti. Stellar Technologies napravio je fokus nazvan CVF koji zauzima mjesto u fotoaparatu, koristi groundglass i povećalo velike snage za izoštravanje. Ova metoda funkcionira s proširenim objektima poput Mjeseca i Sunca. Točnost ove metode ovisi o točnom položaju groundglassa i senzora fotoaparata, koji moraju biti na istoj udaljenosti, zatim o pravilnom usmjerenju povećala, vidu korisnika te njegovoj procjeni.



Slika 13 "Groundglass"

izvor: <http://www.apug.org/forums/forum216/78392-making-ground-glass-focus-screen.html>

## 13. Hibridni ronchi zaslon

Stellar Technologies napravio je Ronchi zaslon za izoštravanje koji koristi Ronchi zaslon i povećalo okulara u hibridnom fokuseru nazvanom „Stiletto“. Stiletto zauzima mjesto u fotoaparatu za izoštravanje. Ima pogodan pravi kut dijagonale što čini



izoštavanje ugodnim kada je refraktor ili SCT usmjeren iznad glave (SCT - Schmidt-Cassegrain teleskop). U upotrebi, korisnik vidi linije Ronchi zaslonu kada je slika izvan fokusa. Više linija se vidi što je slika više izvan fokusa. Kako se izoštrava, broj linija je reduciran te individualne linije na zaslonu Ronchija postaju veće. Kada linije potpuno nestanu, i vidi se svjetlucavo bjelkasto sivo područje, područje je u fokusu. Nakon što je u fokusu, izoštrano područje biva zaključano, Stiletto je uklonjen i zamijenjen za tijelom fotoaparata. Stiletto se ne može koristiti kod objekata poput Mjeseca, Sunca, planeta ili normalnih dnevnim scena. Točnost ove metode ovisi o veličini Airy diska i veličina rešetki na zaslonu Ronchi. Ako je veličina Airy diska znatno manja od linija na zaslonu Ronchija, položaj točnog fokusa mora biti interpoliran između, kada linije nestanu s jedne strane fokusa i kada nestanu s druge strane fokusa. Točnost ovisi o zaslonu Ronchija, koji treba biti na istoj udaljenosti kao i senzor fotoaparata, te o vidu i procjeni korisnika.

#### 14. „Knife edge“ – rubno izoštravanje

„Knife edge“ izoštravanje je jednostavan koncept koji radi izvanredno dobro. Ne ovisi o izvrsnom vidu i može biti ostvaren sa ili bez naočala. Međutim, to je tehnika koja nije laka za početnike. „Knife edge“ nalazi se na položaju u kojem bi senzor filma bio smješten u fotoaparatu. Oko se nalazi malo iza „knife edge“ te se slika svijetle zvijezde ispituje. Koristi se točkasti izvor poput zvijezde za „knife edge“ izoštravanje. Ne koristi se kod objekata poput Mjeseca, Sunca, galaksija ili maglica. Kada je „knife edge“ u fokusu i oko se nalazi iza te točke, oči se vidjeti zvijezde kao diska svijetlosti, kako se membrana svjetlosti opet širi nakon fokusa. Rub noža postavljen je okomito na kretanje opsega, bilo u rektascenziji ili deklinaciji, a teleskop je premješten tako da „knife edge“ reže konus svijetla.

Rektascenzija je jedna od kutnih koordinata za određivanje položaja nebeskih tijela na nebeskoj sferi u ekvatorskom koordinatnom sustavu. Rektascenzija je kut od satne kružnice proljetne točke do satne kružnice nebeskoga tijela, računana u smjeru dnevne vrtnje neba, tj. prema istoku (suprotno od zemljopisne dužine). Računa se u satnoj mjeri od 0h do 24h (1 h odgovara kutu od  $15^\circ$ ); povezana je sa zvjezdanim (sideričkim) vremenom.

Deklinacija je jedna od koordinata (uz rektascenziju) kojima se određuje položaj nebeskog tijela nanebeskoj sferi u ekvatorijalnom koordinatnom sustavu.

Deklinacija je kutna udaljenost (oznaka  $\delta$ ) nebeskoga tijela od nebeskog ekvatora prema sjevernom ili južnom nebeskom polu.

Ako je teleskop točno u fokusu, disk zvijezda će „namigivati“. Ako nije u fokusu, sjena „knife edge“ vidjeti će se kao kretanje u disku. Ako se gleda u zvijezdu koja je izvan fokusa, vidjet će se disk svjetlosti. Disk će biti veći što je više izvan fokusa. Ako se umetne „knife edge“ na mjesto gdje svjetlost čini stožac, gdje je područje koje se snima izvan fokusa, vidjet će se kako „knife edge“ stvara siluetu diska, kako ulazi iz jednog ruba i kreće se preko diska svjetlosti dok ga potpuno ne zasjeni. To je isto kao da se ispruži ruka i pomakne ispred svijetla koje nije daleko. Kada bi na izvor svjetla gledali kao jednu točku, te kada bi pomaknuli nešto ispred te točke, ona bi jednostavno nestala kada bi se nešto našlo ispred nje. Kada konus svijetla dolazi u fokus u žarišnoj ravnini teleskopa, ono se sužava gotovo do veličine točke. Ako je „knife edge“ točno u žarišnoj ravnini, zvijezda će odjednom „namignuti“ kako se „knife edge“ pomiče prema snopu svjetlosti zvijezde. Vrsta noža koja se upotrebljava će mora uzeti u obzir. Ako je rub ukošen s obje strane, kao što je većina noževa britvica, fokus će zapravo biti  $\frac{1}{2}$  debljine oštrice od mjesta gdje se misli da fokus treba biti. Nož ruba je pozicioniran gdje je žarišna ravnina senzora fotoaparata. Ako je rub noža kalibriran na žarišnoj ravnini fotoaparata, to može biti jednostavan i zgodan način za usredotočavanje, jer nije potrebno korištenje računala. Loša strana korištenja noževa kao refraktora je kada je kamera usmjerena prema tlu. Kod Canon leća objektivna ne može se koristiti oštrica noža jer takve leće ne mogu izoštriti bez tijela fotoaparata. Također, ne može se rub noža usredotočiti na objekte poput Mjeseca, Sunca, planeta, maglice ili normalne dnevne scene. Loš vid stvara probleme kod rubnih izoštravanja. Što je lošiji vid, to će lošije izoštravanje biti. Točnost ove metode ovisi o vrsti rubnog noža, koji treba biti na točnoj udaljenosti kao i žarišna ravnina senzora fotoaparata, kao i o vidu i procjeni korisnika.

## 15. Ronchi zaslon

Izoštravanje pomoću Ronchi zaslona isto je kao rubno izoštravanje. Umjesto jednog noža na rubu, Ronchi zaslon ima više linija od kojih svaka može djelovati kao rub noža. Time je izoštravanje malo lakše, jer zvijezda ne mora biti smještena točno na jednom rubu. Također lakše je odrediti fokus jer sjene linija postaju veće i vidljivo je manje linija. Jako blizu fokusa, samo jedna linija bude vidljiva, i ta linija se ponaša kao rub noža, čime je finalizirano izoštravanje. Ronchi zaslon ne može se koristiti za

izoštavanje objekata poput Mjeseca, Sunca, galaksija, maglica ili normalnih dnevnih scena. Kao i rubni fokuser, točnost zaslona ovisi o točnoj udaljenosti Ronchi linija kao udaljenosti žarišne ravnine senzora fotoaparata, te o vidu i procjeni korisnika.

## **2.5. METODE SNIMANJA ASTROFOTOGRAFIJE**

### **1. Direktna metoda**

Direktna metoda snimanja u primarnom fokusu je kada se fotoaparat nalazi u fokusu teleskopa. Aparat je bez objektiv a teleskop je bez okulara, pa teleskop služi kao veliki teleobjektiv fotoaparata. Da bi ih povezali, koristi se adapter, takozvani T-ring koji je za svaki fotoaparat različit. Direktna metoda najmanje rasipa svjetlo pa se njome mogu uspješno snimati maglice, galaksije, zvjezdani skupovi i slično.

### **2. Snimanje s fotografskog stativa**

To je najjednostavniji način astrofotografije. Ne koristi se teleskop već objektiv fotoaparata, najčešće širokokutni. Vrijeme eksponiranja je najčešće kratko (do 30 sekundi) kako bi zvijezde ostale točkaste. Moguće je snimati i vrlo dugačke ekspozicije kako bi se namjerno dobili dugački šareni zvjezdani tragovi. Neprekidne ekspozicije od nekoliko sati uglavnom se rade samo s klasičnim fotoaparatima. Digitalnim fotoaparatom bolje je snimati više uzastopnih kraćih ekspozicija koje se kasnije kombiniraju u nekom programu za obradu fotografija.

### **3. "Piggyback" metoda**

Metoda piggyback je metoda u kojoj fotoaparat nema objektiv, fotoaparat se pričvrsti paralelno s teleskopom i koristi njegovu montažu za kompenzaciju rotacije noćnog neba. Fotoaparat i dalje snima kroz vlastiti objektiv dok se kroz teleskop mogu vršiti korekcije ako je potrebno. Prednost ove metode je mogućnost preciznijeg praćenja noćnog neba pa se fotoaparat može upotrebljavati s teleobjektivima.

#### 4. Snimanje u primarnom žarištu teleskopa

Za ovu metodu mogu se koristiti isključivo refleksni fotoaparati ili astronomske CCD kamere. S fotoaparata se ukloni objektiv te se tijelo aparata stavlja u fokuser teleskopa umjesto okulara i dijagonalnog zrcala. Optika teleskopa koristi se kao veliki teleobjektiv. Snimanje u primarnom žarištu moguće je napraviti sa svim vrstama teleskopa iako je često potreban nekakav oblik korektivne optike između teleskopa i fotoaparata slike kako zvijezde na rubovima ne bi bile izdužene zbog optičkih grešaka. Montaža teleskopa najčešće je ekvatorijalna.

#### 5. Okularna projekcija

Koristi se za snimanje planeta. Okular projicira povećanu sliku na senzor fotoaparata/kamere s kojega je maknut objektiv. Dobiva se uvećana slika planeta kako bi se mogli snimiti detalji na površini. Umjesto okulara može se koristiti Barlow leća ili telekonverter koji svojim optičkim sustavom povećavaju žarišnu duljinu teleskopa pa se također dobije uvećana slika planeta.

#### 6. Afokalna metoda

Fotoaparati kojima se ne može ukloniti objektiv mogu snimati kroz teleskop tako da se objektiv prisloni na okular teleskopa. Za kvalitetnu snimku potrebno je aparat fiksirati da se slika ne trese. Ovim načinom mogu se dobiti dobre snimke planeta te sjajnijih maglica i zvjezdanih skupova.

## **2.6. SNIMANJE ASTROFOTOGRAFIJE TELESKOPOM**

Kod snimanja astrofotografije teleskopom direktnom metodom, sve što treba su adapter i T prsten. Potrebno je namjestiti na fotoaparatu odbrojanje da automatski otvori zatvarač za ekspoziciju do 30 sekundi. To je bolje nego da se ručno pritisne okidač fotoaparata jer bi se fotoaparatus teleskop mogao pomaknuti te bi fotografija ispala mutna. Za ekspozicije duže od 30 sekundi, potrebno je na fotoaparatu namjestiti opciju „BULB“. Bulb opcija drži okidač otvoreni sve dok držimo okidač fotoaparata pritisnutim. Snimanje pomoću te opcije predstavlja problem jer je nemoguće držati prst

na okidaču te ga maknuti sa okidača bez da se pomakne fotoaparatus/teleskop tokom duge ekspozicije. Za rješjenje tog problema, potreban je daljinski koji se priključi na kameru i kojim se može upravljati bez da ručno pritišćemo okidač fotoaparata. Daljinskim kontroliramo okidač fotoaparata.

#### Ekspozicija za snimanje teleskopom

Ekspozicija za astrofotografiju snimanu teleskopom varira ovisno o opremi koju koristimo i mjestu na kojem se snima. Na mjestima sa svjetlosnim zagađenjem, poput velikih gradova, predgrađa ili industrijskih zona, nije moguće snimati s dugačkim ekspozicijama jer bi se tokom dugačke ekspozicije prikupilo previše umjetnih svjetala te fotoaparatus ne bi prikupio dovoljno svjetla od zvijezdanih objekata. Kako bi se odredila točnu ekspoziciju, potrebno je napraviti test ekspozicije te na histogramu LCD ekrana fotoaparata provjeriti ekspoziciju. Histogram je grafikon koji pokazuje svjetline piksela na fotografiji. Najtamniji pikseli su na lijevoj strani grafikona, a najsvjetliji na desnoj strani grafikona. Većina piksela kod astrofotografije predstavlja pozadinu neba (crno).

#### Praćene snimke na ekvatorijalnom nosaču

Za snimanje astronomskih fotografija dulje od 15 – 30 sekundi, potrebno je postaviti kameru na „ekvatorijalno“ postolje koje je usklađeno sa sjevernim nebeskim polom kako bi nadoknadilo Zemljine rotacije. Jedna od osi ekvatorijalnog postolja, polarna os, usklađena je paralelno sa osi Zemlje. Motor i mijenjač postolja okreću opseg oko te osi istom brzinom okretanja Zemlje oko svoje osi, s time da objekt na nebu ostaje stacionirani u teleskopu. Zvijezde na nebu se kreću po nebu, kako se Zemlja okreće ispod njih. Ovakva vrsta montaže omogućuje teleskopu i fotoaparatusu praćenje ili točno slijedenje zvijezdi na nebu. Ekvatorijalna montaža koja je ispravno polarno poravnata omogućuje praćenje zvijezdi kod dugih izloženosti svjetlosti (ekspozicije). Fotoaparatus s normalnim objektivom može montirati „piggyback“ na vrhu teleskopa. Montaža prati zvijezde te se mogu snimati snimke pod normalnim, širokim kutem te kratkom teleskopskog žarišnom duljinom. Za jače teleobjektive kod snimke sa početnim fokusom, s fotoaparatusom priključenom izravno na teleskop, gdje polje djeluje kao objektiv fotoaparata, praćenje zvijezda montažom nije dovoljno precizno. Ovisno o žarišnoj duljini leće objektiva, te mehaničkoj točnosti montaže, ekspoziciju je potrebno „voditi“. Vođenje uključuje praćenje zvijezdi u glavnom teleskopu, ili pomoćnom teleskopu te podešavanje praćenja tako da zvijezda ostane centrirana na nišanu u

posebnom okularu za vođenje. Ovaj proces može biti automatiziran s CCD i računalnom kontrolom u „auto-gideru“.

#### Polarno usklađivanje

Budući da se Zemlja rotira oko svoje osi, objekti na nebu izvan Zemljine atmosfere, kao Mjesec, planete i zvijezde, pojavljuju se na Istoku, a zalaze na Zapadu. Sunce, Mjesec, planeti i ostali objekti u Sunčevom sustavu, kao i maglice, klasteri i zvijezde u našoj galaksiji, slijede taj put preko neba dok se Zemlja rotira ispod njih. Ekvatorijalni nosači teleskopa imaju dvije osi, polarnu os i deklinacijsku os. Te dvije osi kompenziraju Zemljinu rotaciju. Polarna os ekvatorijalnog nosača trebala bi ukazivati na sjeverni nebeski pol, zbog toga se naziva i polarno poravnavanje. Stvara se polarna os paralelna sa Zemljinom osi rotacije. To uvelike pojednostavljuje praćenje nebeskih objekata na nebu. Ekvatorska montaža jednostavno se namještava, polarna os ugrubo je usklađena sa Polarisom, zvijezdom Sjevernjačom. Novija računala mogu pratiti objekt kroz ugrađene sofisticirane matematičke izračune, koji pomiču teleskop i u visinu i u azimut (horizontalno pomicanje, od juga prema zapadu). Za preciznija poravnavanja, polarna os postolja treba bit namještena u dvije ravnine, azimut i visina. Azimut odgovara smjerovima na kompasu, a visina je podizanje iznad horizonta, izražena u stupnjevima. Držač, postolje, lako podešava visinu koja odgovara geografskoj širini mjesta promatrača, a azimut je potrebno namjestiti kompasom kako bi bio usmjeren prema Sjeveru. Odstupanja između magnetskog Sjevera i pravog Sjevera mogu biti ispravljena sa podacima presjeka karte za pilote za mjesto promatrača. Za duga izlaganja (ekspozicije) astrofotografije, polarno poravnanje puno je kritičnije, naročito na udaljenim mjestima sa prijenosnom postavom. Ako montiranje nije ispravno polarno usklađeno, doći će do rotacije polja. Zvijezde na rubovima okvira fotografije bit će zarotirane oko vodeće zvijezde.

#### Metoda „drift“

Upotreba polarnog namještanja opsega, ugrađenog u postolje, pomaže kod ubrzanja usklađivanja. „Drift“ poravnanje potrebno je kod kritičnog rada. Zvijezda koja se prati s visokom snagom, u vodećem okularu s križićima, vjerojatno neće ostati na istoj poziciji u polju. Promatraju se dvije zvijezde, jedna na istoku, druga u meridijanu. Osovina teleskopa treba biti paralelna sa Zemljinom osi kako zvijezde ne bi „driftale“ (pomicala se u vidnom polju). Potrebno je ugrubo rektificirati (ukloniti geometrijske deformacije

sa slike) polarni opseg prema sjevernjači. Postupak se izvodi na način da pronađe se zvijezda blizu meridijana, okular se postavi, sa nitnim križem, i orijentira se tako da kada isključimo praćenje, zvijezda kroz vidno polje putuje točno paralelno s jednom od osi nitnog križa. Smjesti ju se u vidnom polju okulara s nitnim križem, na rektascenzijskoj osi, proizvoljno se odredi što je u okularu gore, a što dolje u odnosu na nit križa. Postupak je potrebno ponavljati dokle god se ne postigne da se zvijezda s te niti ne pomiče ni gore ni dolje. Isto tako se namješta i promatranje zvijezde na istoku. „Drift“ polarno poravnanje je postignuto praćenjem deklinacije „driftanja“ zvijezda na okularu velike snage i podešavanju polarne osi na smjeru temeljenom na zanošenju. Prateći „drift“, istok – zapad, pokreti se ignoriraju ili vode od strane ispravka samo u rektascenziji. Važno je da nema ispravaka u smjeru deklinacije sjever- jug jer takvi pomaci će navesti pomicanje polja kako bi se postiglo više točnih polarnih poravnanja.

## **2.7. DODATNI INSTRUMENTI KOD SNIMANJA ASTROFOTOGRAFIJE**

Adapteri za fotoaparat - T- mount i 2 inčni adapter

Služi za početni fokus kada je DSLR fotoaparat priključen na teleskop. Omogućuje korištenje opsega na mjestu objektiva fotoaparata. T- mount prsten je spojka koja ima bajonet namontiran na stražnoj strani modela fotoaparata, i standardni T- navoj na prednjoj strani fotoaparata. Adapter je urezan u T- prsten, 1.25 inča i 2 inčnu cijev, koji se uklapaju u standardne fokusera teleskopa. Ako teleskop ima 2 inčni fokuser, potrebno je staviti 2 inčni adapter. Ako ima 1.25 inčni adapter, to će gotovo sigurno dovesti do gubitka jasnoće na uglovima i stranama slike.

Daljinski za prekidač

Daljinski prekidač u osnovi je gumb na žici priključen na fotoaparat, koji omogućuje otvaranje zatvarača iz daljine, te držanje zatvarača otvorenim dokle god je gumb pritisnut, ili zaključan. To omogućuje da se izlaganje pokrene bez dodirivanja fotoaparata, smanjuje vibracije i omogućuje kretanje kada je zatvarač otvoren ili zatvoren.

DSLR Star je poseban hardware/software uređaj za kontroliranje dugih izloženosti kod

Canon DSLR fotoaparata, za astrofotografije. Funkcionira kao samostalni uređaj za kontrolu fotoaparata na terenu bez računala. Može biti i sučelje između računala i tijela DSLR fotoaparata. DSLR Star automatizira sekvence izloženosti uključujući vrstu, trajanje, kašnjenje između izloženosti i ogledala za zatvaranje. DSLR Star također pohranjuje informacije o izloženosti, kao što su tip, trajanje, vrijeme, datum i temperatura u svojoj neizbrisivoj memoriji. Te informacije mogu biti naknadno sinkronizirane sa izloženosti. Sa ugrađenim senzorom temperature, može automatizirati snimanje tamnih okvira, uzimajući u obzir mrak unutar određenog raspona temperature.

Daljinski s vremenski brojačem za otpuštanje

Daljinski za otpuštanje s vremenskim brojačem je brojač na žici koja je priključena na fotoaparat. Sofisticirana brojila poput Canon TC-80N3 i Nikon MC-36 omogućuju duljinu izloženosti, broj izloženosti, vrijeme između izloženosti i programiranje postavki brojača. Ekspozicije se mogu programirati primjerice, 16 izloženosti svakih 5 minuta sa pauzom od 10 sekundi između svakog okvira, što omogućuje kameri da snima po noći bez stalnog prisustva i kontrole fotografa.

DSLR baterija za fotoaparat s vanjskim napajanjem

Snimanje astrofotografija sa dugim ekspozicijama troši puno energije, posebno kod hladnih temperatura okoline. Kontinuirano snimanje bez prikaza na LCD-u, Canon BP-511A litij ionska baterija u fotoaparatu za Canon 20D trajati će oko 3 sata na 10 stupnjeva Celzijusa. Trajat će puno manje kod nižih temperatura. Ako se često koristi LCD zaslon, baterija će kraće trajati. Dobra ideja je koristiti LCD zaslon što je manje moguće.

Napajanje za teleskop

Ukoliko se snima s udaljenog mjesta bez struje, potrebno je imati pomoćni izvor napajanja, kao što je 12 V „gel cell“ (baterija na osnovi kiseline olova) ili baterije „deep-cycle“ (na osnovi kiseline olova, osmišljene da se redovito prazne korištenjem maksimuma svojeg kapaciteta). Baterije „deep-cycle“ napravljene su da kontinuirano oslobađaju napon tijekom dugog vremenskog razdoblja. Hladno vrijeme može smanjiti kapacitet baterije, ako se namjerava koristiti cijelu noć.



## Aparati za izoštravanje

Najbolje i najjednostavnije rješenje je Live View fokusiranje s jednom od novijih modela DSLR fotoaparata. Sa Live View može se uvećati slika umjereno sjajne zvijezde 5 do 10 puta, te se može usredotočiti vrlo jednostavno. Također se može proizvesti analogni video signal izvan kompjutera, u svrhu odvajanja monitora ili kompjutera kada je LCD zaslon na pozadini fotoaparata pod neugodnim kutem. Kod starijih modela DSLR fotoaparata, najlakše rješenje je Bahtinova maska. Postoji nekoliko načina za korištenje Bahtinove maske: gledanje kroz tražilo fotoaparata i vizualno izoštravanje, ispitujući sliku nakon što je snimljeno, ili gledanje slike s Live View u realnom vremenu kada se fokusira.

### Canon kutno tražilo („right angle finder“)

Mala količina uvećanja ugrađena u tražilicu pravog kuta dovoljna je za rad, ukoliko se ima dobar vid i iskustvo. No, takva tražila su zamagljena, oko mora biti točno centrirano u „sweet spotu“ u vidnom polju tražila kako bi tražilo uopće moglo funkcionirati. Okvir i fokus za „deep sky“ objekti su previše zamagljeni u ovakvim tražilima. Moguće je premjestiti opseg sjajne zvijezde u fokus, ali kada ga se vrati u objekt, nemoguće ga je vidjeti kroz kameru na glavnom opsegu. Potrebno ga je ili centrirati pomoćnim vodičem za opseg ili ga pronaći manualno ili digitalnim postavkama krugova, ili računalom. Tražilica pravog kuta bolje funkcionira u situacijama kada se snima dnevni objekt te kod snimaka pod malim kutem.

Ostala rješenja za izoštravanje su korištenje ruba noža ili Ronchi zaslona koji ima odgovarajući objektiv za montiranje na fotoaparat, i koji zamjenjuje fotoaparat na opsegu za fokusiranje. Rub noža ili Ronchi zaslon mora biti parfocaliziran sa senzorom fotoaparata. Nakon fokusiranja s ovim hardver uređajem, fotoaparat je zamijenjen. To može raditi dobro, jer ova rješenja ne zahtijevaju računalnu opremu u polju, ali ne pomažu kod pronalaska i kadriranja zamagljenih „deep sky“ objekata, te ne rade s proširenim objektima poput Mjeseca. „Stellar – International“ nudi CVF fokuser, koji također zamjenjuje fotoaparat za fokusiranje. Djeluje tako da projektira opseg ili sliku objektiva na groundglassu, koji se zatim ispituje pod uvećanjem. CVF fokuser je parfocaliziran s određenim modelom fotoaparata, te radi kod dnevnim objekata, kao i kod zvijezda i proširenih objekata.

„Live View“ izoštravanje

Tijekom Live – View izoštravanja, ogledalo je zrcaljeno izvan staza svjetlosti, a zatvarač je zatvoren. Stvarna slika se zatim šalje na LCD zaslon na stražnjoj strani fotoaparata u stvarnom vremenu ili „Live-Viewu“. Slika se može povećati i elektroničkim putem. Live View također može hraniti pomoćni monitor ili računalo za lakše gledanje.

„Live-View Video Feed“ može se direktno usmjeriti na zvijezdu u realnom vremenu. Položaj LCD zaslona na stražnjoj strani fotoaparata, međutim, može biti u neugodnom položaju kada refraktor ili SCT biva smješten iznad glave. Kod takvih situacija, prikladnije je korištenje zasebnog vanjskog monitora. Kod novih fotoaparata, Live-View video može bit poslan kroz USB kabel na poseban softver na računalo, za gledanje, kontrolu fotoaparata, i otpuštanje okidača za duge izloženosti.

Vođenje („guiding“)

Čak i s izvrsnim polarnim usklađivanjem i praćenjem, za najvišu kvalitetu rada, astrofotografije trebaju bit vođene tijekom dugih ekspozicija. Vođenje znači držanje zvijezde savršeno usmjerene pri procjeni varijacija u pogonu teleskopa i pri atmosferskim posljedicama. Vođenje se obično postiže ili sa odvojenim vodičem opsega ili vodičem van osi. Sve vrste teleskopa za zrcalom, posebno Schmidt – Cassegrain, trebaju biti vođene sa vodičem izvan osi (off – axis guider). Razlog tome je što se primarno ogledalo, u opsegu koji se slika, može pomicati, dok zvijezda po kojoj se vodimo, ne može. Off-axis vodič rješava ovaj problem korištenjem opsega koji se želi snimiti kao područje za vođenje. Ovi vodiči su komplicirani za korištenje, ali zvijezda vodilja može se unaprijed isplanirati pomoću zvijezdanih karata. Za refraktore, najbolji odvojeni vodič opsega je dobro napravljen, mali refraktor u 50-80 milimetarskom području otvora objektiva. Ogledalo i složeni teleskopi ne rade dobro kao zasebni vodiči opsega jer njihova ogledala mogu se kretat odvojeno od slike opsega. Ako se koristi zasebni vodič opsega, on mora biti čvrsto montiran kako bi se spriječilo savijanje između vodiča i slike opsega. Piggyback aranžman s vodičem opsega (guidescope) na vrhu glavne slike opsega funkcionira najbolje. Vrlo mali opseg može bit snimljen rame uz rame na tandem traci, ali takve postave su sklone savijanju s većim opsezima. Guidescope – pomoćni vodič opsega (50-80mm dvostruki refraktor) može se koristiti za telefotografije montirane izravno na postolju za praćenje, ili s refraktorima korištenim

kao primarni fotografski instrument. Pomoćni guidescope lakše je koristiti nego off-axis guider u pogledu udobnosti i postave.

Autoguider – autoguider je u osnovi CCD kamera i računalo koje prati poziciju zvijezde vodilje i čini ispravke kako bi zvijezda vodilja ostala točno centrirana. Zvijezda vodilja je praćena ili u posebnom guidescopeu ili preko glavnog teleskopa s vodičem off-axis.

Računalo automatski kontrolira motore rektascenzije i deklinacije kroz pogon sustava teleskopa kako bi ispravio drift tijekom izlaganja čimbenicima kao što su periodične pogreške i atmosferske refrakcije. Postoje u osnovi tri vrste autoguiding instrumenata :

- samostalni autoguidersi imaju računalo ugrađeno u autoguider, tako da zasebno računalo nije potrebno

- CCD fotoaparati mogu se koristiti kao autoguidersi s pravim softverom, ali zahtjevaju zasebna računala, kao što je laptop, koji koristi softver za analizu položaja zvijezde vodilje i ispravke pogona teleskopa.

- jeftini CCD fotoaparati isto mogu biti autoguidersi, također zahtjevaju zasebno računalo za rad

#### Filteri

Različite vrste filtera mogu se koristiti za razne svrhe, i za astrofotografiju i za vizualna promatranja.

Minus Violet – filtrira prekomjerne plave valne duljine za refraktor i leće fotoaparata koje nisu apokromatske (složen sustav od više akromatskih leća). Budući da te apokromatske leće ne mogu fokusirati plavo svjetlo, kao što mogu fokusirati ostatak spektra, oni se pojavljuju izvan fokusa kao plave aureole oko zvijezde. Minus Violet filter može ukloniti većinu plave difrakcije svjetlosti i popuštati manje zvijezde.

Ultraljubičasti/ infracrveni filter (UV/IR) – UV valne duljine su valne duljine kraće od ljubičasto plavog dijela vidljivog spektra. Infracrvene valne duljine su valne duljine duže od crvenog dijela vidljivog spektra. Ovi filteri su dizajnirani za korištenje s optičkim sustavom koji koristi leće za ispravljanje valnih duljina koje ne dolaze u fokus kao vizualne valne duljine.

Svjetlosno zagađenje – filteri poput „IDAS LPS1“ i „Astronomik CLS“ selektivno filtriraju dijelove spektra koji najviše negativno utječu, tj. dijelove spektra koji dolaze od umjetno zagađenog svijetla, ali propušta valne duljine važne za astronomske objekte. Tipična izloženost, koja bi se ograničila na jednu minutu zbog onečišćenja neba

pozadinskim svjetlima, može se povećati 3 do 5 minuta s filterom za svjetlosna onečišćenja. To uvelike poboljšava odnos signal-šum na slici. „Astronomik CLS“ filter stavlja se u unutrašnjost tijela fotoaparata ispred ogledala, što omogućuje kupnju samo jednog filtera i korištenje istog s bilo kojom veličinom opsega ili objektiva fotoaparata. Jedini nedostatak je što se ne može koristiti s modelom fotoaparata Canon EF-S, jer izviruje previše iz tijela fotoaparata.

Vodik – Alfa – to je valna duljina koja čini sjaj crvene emisije maglice. Postoje u osnovi dvije vrste vodik-alfa filtera za „deep sky“ snimanja. Odrezani filteri blokiraju svo svjetlo ispod valnih duljina 656.3 nm, te obično propuštaju 90% svjetla iznad te valne duljine. Uski pojas vodik-alfa filtera propušta valne duljine 3-15 nm široke oko vodik-alfa valnih duljina. To uvelike povećava kontrast između emisije maglice vodik-alfa i pozadine neba, ali zahtjeva duže izloženosti. Preporučuje se upotreba sa CCD fotoaparatom. Svi ovi filteri se ne mogu koristiti za vizualno promatranje Sunca.

Solarni filter – ovi filteri ispravno filtriraju veliku energiju Sunca i omogućuju sigurno vizualno i fotografsko promatranje u bijelom svjetlu.

Uskopojasni – ovi filteri propuštaju valne duljine u uskom rasponu, obično 3-5 nm, oko valnih duljina kao što su kisik, vodik III- beta, sumpor II. Uskopojasni filteri povećavaju kontrast između valne duljine od interesa i pozadine neba. Preporučuju se za uporabu s CCD fotoaparatom.

Umjetnički filteri – magla filteri i „star“ filteri koriste se za umjetničke efekte. Filter za maglicu je difuzor koji se koristi ispred objektiva koji stavlja aureolu ili sjaj oko svijetle zvijezde. „Star“ filter simulira difrakcijske impulse oko zvijezda, koji su tipični kod Newtonian refraktora, ti impulsi se pojavljuju u sekundarnom ogledalu i izgledaju kao krila vjetrenjače.

### 3. ZAKLJUČAK

Astrofotografija je iznimno zanimljivo i široko područje fotografije. Najbitniji segment astrofotografije je svjetlost, tj. prikupljanje svjetlosti. Za amatersku astrofotografiju nije potreban ni teleskop ni vrhunska oprema. Dovoljno je imati fotoaparata, dobro namjestiti postavke samog fotoaparata i imati bogatu maštu i strpljenja. Ukoliko se želi upustiti u profesionalnu astrofotografiju, potrebno je istraživati i isprobavati metode, poput navedenih u ovom radu, te odabrati onu koja daje najkvalitetnije rezultate i koja korisniku najbolje odgovara. Astrofotografija daje mogućnost da se maštom i trudom zabilježi dijelić Svemira koji oduševljava svojom ljepotom i veličinom. Postoje metode koje su zahtjevne, za koje je potrebno imati znanje i iskustvo, dok se neke metode mogu izraditi ručno i dobro služe pri snimanju astrofotografija. O odabiru metode, načinu snimanja i instrumentu ovisi kakve astrofotografije se žele snimiti te koliko detalja se želi uloviti. Današnji fotoaparati se sve više razvijaju, te imaju široki raspon mogućnosti. Time se olakšava snimanje, te je moguće samim fotoaparatom, bez dodatnih prepravki u postavkama i korištenju dodatne opreme, snimiti kvalitetne astrofotografije.

## 4. LITERATURA

1. Jerry Lodriguss, *Astronomy techniques*, dostupno na:  
[http://www.astropix.com/HTML/I\\_ASTROP/toc\\_ap.html](http://www.astropix.com/HTML/I_ASTROP/toc_ap.html), 18.07.15.
2. <http://www.skyandtelescope.com/astronomy-resources/astrophotography-tips/wide-field-imaging-with-ccd-cameras/>, 28.07.15.
3. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Astronomski\\_instrumenti](https://hr.wikipedia.org/wiki/Astronomski_instrumenti), 24.07.15.
4. Danijel Reponj, Boris Gazibara, Filip Lolić, Matija Pozojević, Zlatko Kovačević, Bojan Štajcar, Marcela Rasonja, Vedran Vrhovac, Željko Andreić, Dag Šola Oršić, Davor Lacković, Marino Tumpić, Vid Nikolić, *Vodič kroz digitalnu astrofotografiju*, dostupno na:  
[http://www.zvezdarnica.com/projekti/vodic/Vodic\\_kroz\\_digitalnu\\_astrofotografiju.pdf](http://www.zvezdarnica.com/projekti/vodic/Vodic_kroz_digitalnu_astrofotografiju.pdf), 18.07.15.
5. <http://www.astronomyforbeginners.com/astrophotography/>, 1.08.15.
6. <http://adorion.ba/astrofotografija/>, 3.08.15.