

# Astrofotografija

---

Ivošević, Maja

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:216:469239>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB**

**ZAVRŠNI RAD**

Maja Ivošević

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB**

Smjer: Dizajn grafičkih proizvoda

**ZAVRŠNI RAD**

**ASTROFOTOGRAFIJA**

Mentor:

Izv.prof.dr.sc. Miroslav Mikota

Student:

Maja Ivošević

Zagreb, 2022.

## SAŽETAK

U završnom radu govori se o astrofotografiji. Objasnjava se process fotografiranja i obrade astrofotografija. U teorijskom dijelu obrađuje se povijest astrofotografije, oprema potrebna za fotografiranje, sam proces i metode fotografiranja te vrste astrofotografija. Ukratko su objašnjene tri postavke fotoaparata: vrijeme snimanja, otvor objektiva te osjetljivost na svjetlost te način uklanjanja šuma i nepravilnosti pomoću kalibracijskih frameova.

**Ključne riječi:** astrofotografija, fotografski aparat, zvijezde, ekspozicija, obrada fotografija

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	2
2.1. POVIJEST ASTROFOTOGRAFIJE .....	2
2.2. OPREMA .....	5
2.2.1. Fotografski aparati .....	5
2.2.2. Objektivi .....	6
2.2.3. Teleskopi .....	7
2.2.4. Ostala oprema .....	8
2.3. FOTOGRAFIRANJE .....	11
2.3.1. Postavke fotografskog aparata .....	11
2.3.2. Metode fotografiranja .....	13
2.4. VRSTE FOTOGRAFIJA .....	15
3. PRAKTIČNI DIO .....	18
3.1. OBRADA FOTOGRAFIJE U PHOTOSHOPU .....	18
4. ZAKLJUČAK .....	21
5. LITERATURA .....	22

# 1. UVOD

Astrofotografija je posebna vrsta fotografije koja podrazumijeva fotografiranje noćnog neba i nebeskih tijela. Fotoosjetljivi materijali tijekom duge ekspozicije prikupljaju svjetlost nebeskih tijela koji nisu vidljivi golim okom te ih tako čine vidljivima.

Podrazumijeva se fotografiranje u vidljivom dijelu spektra, no određenim filterima moguće je fotografirati i u infracrvenom ili ultraljubičastom prenesenom u vidljivi dio spektra.

Postoje razne vrste astrofotografija, od kojih su neke wide field, star trails, deep sky i planetarna astrofotografija. Oprema i metoda fotografiranja se biraju ovisno o vrsti fotografije koja se želi snimiti. Za astrofotografiju je potreban bilokakav optički sustav koji može prikupljati i fokusirati svjetlost, a to može biti i objektiv fotografskog aparata ili teleskop. Fotografije se mogu snimati digitalnim i klasičnim fotografijama, ali i specijaliziranim astrokamerama, web i sigurnosnim kamerama te CCD čipovima koji se mogu hladiti.

Kod fotografiranja noćnog neba vrlo su važni uvjeti. Idealni uvjeti podrazumijevaju vrijeme bez oblaka i vjetra, stabilna temperatura, Mjesec ispod horizonta ili mladi Mjesec te bez svjetlosnog zagađenja.

Cilj završnog rada je kroz teorijski i praktični dio pobliže objasniti proces fotografiranja i obrade astrofotografija.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. POVIJEST ASTROFOTOGRAFIJE

Astrofotografija se počela razvijati sredinom 19. stoljeća, no taj razvoj bio je spor zbog brojnih tehnoloških izazova. Proces dagerotipije nije pogodan za fotografiranje slabije osvijetljenih nebeskih tijela, tako da se on uglavnom koristio za fotografiranje Mjeseca. Prva poznata fotografija Mjeseca nastala je 1839. godine, a njen autor je bio Louis Jacques Mande Daguerre, izumitelj dagerotipije. [1] No, zbog grešaka u praćenju pogleda teleskopa fotografija nije dobro ispala. Godinu kasnije, 23. ožujka 1840., John William Draper je napravio prvu uspješnu fotografiju Mjeseca tehnikom dagerotipije. (Slika 1.) Koristio se reflektirajućim teleskopom od 13 centimetara te je vrijeme ekspozicije bilo 20 minuta. [1]



Slika 1. Prva fotografija Mjeseca, autor: John William Draper  
(<https://time.com/3805947/the-first-photograph-of-the-moon/>)

Prva fotografija Sunca nastala je 1845., također dagerotipijom, a autori su francuski fizičari Leon Foucault i Hippolyte Fizeau. Lokalni dagerotipist Johann Julius Friedrich Berkowski je 1851. prvi uspješno fotografirao pomrčinu Sunca, uz upute dr. Augusta Ludwiga Buscha, direktora zvjezdarnice u Königsbergu. Vrijeme ekspozicije je bilo 84 sekundi te se koristio teleskopom koji je bio spojen na heliometar iz zvjezdarnice. [1]

Prva fotografija zvijezde je nastala 1850. u zvjezdarnici Harvarda. Autori su astronom William Cranch Bond te dagerotipist John Adams Whipple, a fotografirali su zvijezdu Vega.

Dagerotipija nije omogućavala korištenje dugih ekspozicija zbog toga što su ploče koje su se koristile morale biti mokre tijekom cijelog fotografiranja. Krajem 19. stoljeća razvio se proces fotografiranja koji koristi suhe ploče, što je uzrokovalo značajan napredak astrofotografije. Prva fotografija koristeći tu tehniku je nastala kada je 1880. godine Henry Draper fotografirao Orionovu maglicu s vremenom ekspozicije od 51 minute. To je također prva fotografija nebule koja je ikada nastala. (Slika 2.)



Slika 2. Prva fotografija Orionove maglice, autor: Henry Draper



[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Henry\\_Drape\\_Orion\\_nebula\\_1880\\_inverted.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Henry_Drape_Orion_nebula_1880_inverted.jpg)

Početak 20. stoljeća počinje razvoj i konstrukcija velikih reflektirajućih teleskopa koji su namijenjeni za fotografiju, kao i razvoj medija na kojima se bilježi fotografija. No, pojavom CCD senzora u sedamdesetim godinama 20. stoljeća, film se u astrofotografiji koristi sve manje i manje. CCD senzori imaju bolje karakteristike nego film: puno su osjetljiviji na svjetlost, osjetljivi su na širi spektar boja, ne pogoršava se osjetljivost na svjetlost s duljim vremenom ekspozicije te lakša pohrana fotografija. Također, digitalne fotografije se ne moraju razvijati kao film.

Krajem 20. stoljeća konstruiraju se prvi teleskopi koji su lansirani u svemir, od kojih je najpoznatiji Hubble Space Telescope koji je 1990. godine lansiran u orbitu oko Zemlje. Sastoji se od 4 instrumenta koji mogu snimati u rasponu od infracrvenog do ultraljubičastog dijela spektra. Energiju za rad dobiva iz solarnih ploča, a ima i sustav za ispravljanje položaja. [2]

Također, konstruiraju se i prvi teleskopi s više zrcala. Krajem 2021. godine lansiran je James Webb Space Telescope, koji se sastoji od primarnog zrcala promjera 6,5 metara te manjih sekundarnih i tercijarnih zrcala. [3] Primarno ogledalo se sastoji od 18 heksagonalnih zrcalnih segmenata od pozlaćenog berilija, dok sekundarna i tercijarna ogledala služe za poništavanje optičke aberacije. James Webb Space Telescope je lansiran kao nasljednik Hubbleovog teleskopa te on može snimati nebeska tijela koja su predaleka ili preslabo osvijetljena za Hubbleov teleskop. Snima fotografije u infracrvenom dijelu spektra i nalazi se u orbiti oko L<sub>2</sub> Lagrangeove točke Sunce-Zemlja.

Što se tiče amaterske astrofotografije, danas je to sve češći hobi fotografa i astronoma. Uglavnom se koriste digitalnim fotografskim aparatima te stativima, a ponekad izrađuju sami svoje uređaje za praćenje ili modificiraju fotoaparate za bolje rezultate. No, čak i smartphone s kamerom daje zadovoljavajuće rezultate, tako da je danas astrofotografija dostupna skoro svima.

## **2.2. OPREMA**

Jedna od najvećih zabludi o astrofotografiji je ta da je potrebna skupa, profesionalna oprema kako bi fotografirali noćno nebo, no to nije istina. Danas je tehnologija toliko napredovala da se može fotografirati i običnim smartphoneom koji ima kameru, ili s fotoaparatom i kit objektivom. Takva oprema je dovoljna za početnike, no za fotografiranje nebeskih tijela koja su udaljena i manje osvijetljena je ipak potrebna bolja oprema.

### **2.2.1. Fotografski aparati**

Postoji nekoliko vrsta fotografskih aparata koji se mogu koristiti u astrofotografiji. Razlikuju se klasični(analogni) fotografski aparati, digitalni fotografski aparati te planetarne, web ili sigurnosne kamere.

#### **Klasični fotografski aparati**

Klasični, odnosno analogni fotografski aparati kao medij koriste film sa fotoosjetljivom emulzijom. Oni se sve manje i manje koriste jer digitalni fotografski aparati imaju puno bolje karakteristike. Danas je film vrlo skup, pogotovo film visoke osjetljivosti na svjetlo kakva je potrebna za snimanje noćnog neba. Može se koristiti film manje osjetljivosti pa pushati, odnosno prividno povećati njegovu osjetljivost, no to daje jako zrnate fotografije. Također, pojavom digitalnih fotografskih aparata se mnogo foto studija koji razvijaju film zatvara ili jednostavno više ne pružaju uslugu razvijanja. Još jedan problem kod filma je to što mu se osjetljivost na svjetlo smanjuje pri dugačkim ekspozicijama koje su potrebne za astrofotografiju.

#### **Digitalni fotografski aparati**

Digitalni fotografski aparati se najčešće koriste u amaterskoj fotografiji, kao i fotografiji općenito. Najčešće se koriste DSLR fotografski aparati (digital single lens reflex), no početkom 21. stoljeća su se pojavile i mirrorless fotografski aparati. Prednost digitalnih nad klasičnim fotoaparatom je lakša pohrana fotografija i mogućnost obrade istih. Također, nisu ograničeni na broj fotografija kao što su klasični fotografski aparati ograničeni brojem ekspozicija na roli filma(obično 36 ili 24). Digitalni fotografski aparati imaju mogućnost korištenja raznih objektivaa, a umjesto objektivaa može se staviti

T-ring što omogućava da se fotoaparat pričvrsti i postavi na teleskop. Osim toga, mogu se modificirati tako da se standardni filter zamijeni drugačijim kako bi se povećala osjetljivost na određene tonove.

### **Astrokamere**

U astrofotografiji se koriste i specijalizirane astrokamere. (Slika 3) Takve kamere nemaju zaslone i zahtijevaju korištenje računala sa softverom za njihovo upravljanje. Astrokamere imaju CCD ili CMOS čip koji se može hladiti što znatno smanjuje termalni šum na fotografijama. Postoje kamere koje fotografiraju u boji i jednostavnije su za korištenje te monokromatske kamere koje mogu uhvatiti više detalja, no kompliciraniji je postupak fotografiranja. Monokromatske kamere zahtijevaju korištenje crvenih, zelenih i plavih filtera za dobivanje slike u boji, što znači da zahtijevaju i triput više fotografija. Također, monokromatske kamere daju još bolje rezultate kada se koriste sa narrowband filterima koji služe za propuštanje svjetlosti određenih valnih duljina. [4]



Slika 3. Astrokamera

(<https://www.skyatnightmagazine.com/top-astronomy-kit/best-astrophotography-cameras/> )

### **2.2.2. Objektiv**

Digitalni fotografski aparati najčešće dolaze u kompletu sa 50 milimetarskim objektivom, koji su pogodni za fotografiranje cijelog noćnog neba, zvjezdanih tragova te za kombiniranje neba i pejzaža zajedno. Za takve fotografije još su bolji širokokutni objektiv, koji imaju žarišnu duljinu manju od 50 mm, primjerice 35, 28, 20 ili čak 15

milimetara. Za fotografiranje nebeskih tijela koja su manja, primjerice neka zvijezda, nebule, galaksije itd. bolji su teleobjektivi, koji imaju veću žarišnu duljinu, primjerice 85, 135, 200 do čak 600 milimetara. Problem kod teleobjektiva je što bez praćenja ne mogu snimati duže ekspozicije zbog prividno bržeg okretanja Zemlje.

Za astrofotografiju bi bilo idealno da otvor objektiva bude u potpunosti otvoren kako bi senzor primio što veću količinu svjetlosti, no to najčešće nije moguće jer objektivi nemaju savršenu optiku. To znači da zvijezde na rubovima fotografija nisu okruglog oblika već su mrlje nepravilnih oblika. Kako bi se to spriječilo, objektiv mora biti zatvoren za jednu stopu.

### **2.2.3. Teleskopi**

Teleskop je instrument za astronomsko promatranje te analizu elektromagnetskog zračenja dalekih objekata. [5] Dije se prema načinu skupljanju svjetla na refraktore, reflektore te katadioptrijske teleskope.

#### **Refraktori**

Refraktori su najstarija vrsta teleskopa koja skuplja svjetlost lećama. Jednostavni su za korištenje i lako se održavaju, no u usporedbi s reflektorima i katadioptrijskim teleskopima su skuplji, teži i duži. Na prednjem kraju cijevi imaju objektiv i leću koja skuplja svjetlost i usmjerava je na drugi kraj cijevi gdje se nalazi okular. Razlikujemo akromatske i apokromatske refraktore. Akromatski teleskopi imaju objektiv koji je izrađen od dvije zalijepljene leće kako bi se smanjila kromatska aberacija. S druge strane, apokromatski teleskopi koriste posebnu vrstu stakla kako bi se kromatska aberacija u potpunosti uklonila. Ta stakla imaju mali indeks loma kako bi sve valne duljine vidljivog dijela spektra bile na istom mjestu u žarištu.

#### **Reflektori**

Reflektori koriste zrcala za skupljanje svjetlosti. Najčešće se koriste newtonian teleskopi, a postoje još i cassegrain te gregorian. Newtonovi reflektori imaju jedno konkavno parabolično zrcalo koje služi za skupljanje i fokusiranje svjetlosti te jedno ravno dijagonalno zrcalo koje preusmjerava svjetlost izvan optičke cijevi u okular. Cassegrain reflektori koriste primarno parabolično zrcalo koje ima rupu u sredini i sekundarno hiperbolično zrcalo te se fokuser može smjestiti iza primarnog zrcala što

omogućava ugodnije promatranje. Gregorian reflektori se rijetko koriste zbog malog vidnog polja, a sastoji se od primarnog velikog zrcala i sekundarnog manjeg zrcala.

### **Katadiopteri**

Katadioptrijski teleskopi koriste i leće i zrcala za stvaranje slike. Razlikuju se Schmidt-cassegrain i Maksutov-cassegrain teleskopi. Schmidt-cassegrain teleskop koristi korektor(leću) te jedno sferno i jedno hiperbolično zrcalo. Korektor ispravlja sfernu aberaciju primarnog sfernog zrcala. Takvi teleskopi su jako malih dimenzija što ih čini kompaktnima i prenosivima. S druge strane, Maksutov-cassegrain teleskop umjesto korektora koristi meniskus.

#### **2.2.4. Ostala oprema**

Osim osnovne opreme, postoji još i dodatna oprema koja uvelike olakšava fotografiranje nebeskih tijela.

### **Stativi**

Jedna od najbitnijih stavki je stativ. On je potreban kako bi fotografski aparat bio stabilan tijekom snimanja dugih ekspozicija koje su potrebne za astrofotografiju. Stativ bi trebao biti što čvršći kako bi mogao podnijeti težinu fotoaparata, objektiva ili teleskopa te sustava za praćenje.

### **Sustavi za praćenje**

Za praćenje se koriste razne montaže, od jednostavnijih star trackera do ekvatorskih ili azimutskih montaža. Praćenje je važno za duge ekspozicije jer kada bi fotografski aparat bio uperen u istu točku cijelo vrijeme, zvijezde ne bi bile okruglog oblika već bi se izdužile u linije. Montaže za praćenje pomiču fotoaparat stalnom brzinom koja je jednaka brzini okretanja Zemlje, tako da je spriječena pojava star trailsa.

Star trackeri su manji, prijenosni i lakši su za postavljanje, no ne podnose veliku težinu. Ekvatorska montaža koristi dvije osovine koje su usporedne sa Zemljinom rotacijskom osi, a teleskop se okreće samo oko jedne od njih. [6]

Azimutska montaža također koristi dvije osovine, vertikalnu(azimutsku) i horizontalnu(visinsku), a teleskop se istovremeno okreće oko obje osovine. [7]

## **Filteri**

Postoje razni filteri koji daju različite rezultate, a koriste se s ciljem poboljšanja kvalitete fotografije. Filteri se najčešće stavljaju između senzora fotoaparata ili objektiva. Postoje i filteri koji se stave na kraj objektiva te su lakši za korištenje, no moraju se kupovati za svaki objektiv posebno ako su oni različitih promjera.

Broadband filteri se koriste za smanjenje svjetlosnog onečišćenja na fotografiji. To je najveći problem kod astrofotografije, pogotovo ako se fotografira u velikim gradovima gdje je svjetlosno onečišćenje toliko da se zvijezde jedva vide. Broadband filteri funkcioniraju tako propuštaju većinu valnih duljina spektra, no ne propuštaju svjetlost koju emitiraju natrijeve i živine svjetiljke. Oni su idealni za fotografiranje galaksija i zvjezdanih skupina. [8,9]

Narrowband filteri rade suprotno od broadband filtera. (Slika 4.) Oni propuštaju samo određene valne duljine što ih čini pogodnima za fotografiranje emisijskih i planetarnih nebula. Takve maglice se većinski sastoje od plinova sačinjenih od vodika, sumpora i kisika. Narrowband filteri propuštaju valne duljine svjetlosti koje emitiraju ti plinovi, što omogućuje jasnije detalje i točnije prikaze boja emisijskih nebula. [8,9]



Slika 4. Razlika u fotografijama nastalima bez korištenja narrowband filtera(lijevo) te sa korištenjem filtera(desno), autor: Tim Connolly

<https://astronomy-imaging-camera.com/product/zwo-duo-band-filter>

### **Intervalometar**

Intervalometar je uređaj koji se spoji na fotografski aparat i koristan je kod snimanja dugih ekspozicija, kao i timelapse fotografija ili videa. On kontrolira koliko, koliko često i koliko dugo će snimati fotografije. Također, on sprječava pomicanje fotoaparata prilikom držanja okidača tijekom dugih ekspozicija, što znači da fotografije neće biti mutne.

### **Bahtinov maska**

Bahtinov maska je uređaj koji služi za precizno fokusiranje teleskopa ili fotoaparata. Sastoji se od tri rešetke koje su postavljene tako da čine tri kutna difrakcijska šiljka u ravnini žarišta teleskopa ili fotoaparata. Kako se fokus pomiče, središnji šiljak se pomiče s jedne strane zvijezde na drugu, dok druga dva šiljka tvore slovo X. Savršen fokus je postignut kada je središnji šiljak centriran između druga dva šiljka. Bahtinov maska je korisna kod fokusiranja na male ili slabo osvijetljene subjekte te je jeftina ali i jednostavna za izraditi 3D printerom.

## 2.3. FOTOGRAFIRANJE

Kod fotografiranja noćnog neba vrlo su važni uvjeti. Idealni uvjeti podrazumijevaju vrijeme bez oblaka i vjetrova, stabilna temperatura, Mjesec ispod horizonta ili mladi Mjesec te bez svjetlosnog zagađenja. Također je važno unaprijed isplanirati što želimo fotografirati kako bi lakše pronašli subjekt na nebu. Nebesko tijelo koje želimo fotografirati možemo jednostavno pronaći mobitelom pomoću raznih aplikacija koje su dostupne, a neke ekvatorijalne montaže čak dolaze sa softverom koji automatski usmjerava fotoaparat na mjesto gdje je željeno nebesko tijelo.

### 2.3.1. Postavke fotografskog aparata

Ekspozicija je vrijeme osvjetljavanja fotoosjetljivog medija, a mjeri se u luks sekundama. [10] Mijenjanjem postavki fotoaparata kontroliramo ukupnu količinu svjetlosti koja će pasti na fotoosjetljivu površinu. Ekspozicija se izražava u jedinici EV, odnosno exposure value. Promjena jedne vrijednosti na skali brzine zatvarača ili otvora blende odgovara promjeni vrijednosti od 1 EV.

#### Brzina zatvarača

Brzina zatvarača, odnosno vrijeme snimanja ili u žargonu ekspozicija, određuje koliko će dugo senzor fotoaparata biti izložen svjetlosti. [10] Dulje vrijeme snimanja znači da će na senzor pasti više svjetlosti, dok kraće vrijeme snimanja znači da će svjetlosti biti manje. Osim svjetlosti, brzina zatvarača utječe na prikaz pokreta. Kratko vrijeme snimanja znači da će pokret biti „zamrznut“, dok dugo vrijeme snimanja daje dojam kretanja. Brzina zatvarača se označava dijelovima sekunde, primjerice 1/30 označava jednu tridesetinku sekunde, odnosno 1/30 sekunde. Većina fotoaparata može snimati od 1/8000 do 30 sekundi. Također, postoji opcija bulb koja omogućava neograničeno vrijeme snimanja, odnosno drži otvor objektiva otvorenim sve dok držimo okidač. Ta opcija je jedna od najčešće korištenih u astrofotografiji jer omogućava ekspozicije dulje od 30 sekundi.

U astrofotografiji postoji „pravilo 500“ pomoću kojeg računamo najdulje vrijeme ekspozicije koje žarišna duljina objektiva omogućava prije nego što se zvijezde počnu izduživati ili biti mutne. Računa se formulom  $BZ = 500 / (KF + \check{Z}D)$ , gdje je BZ brzina zatvarača, KF je krop faktor senzora te je  $\check{Z}D$  žarišna duljina objektiva. [11]



## Otvor objektiva

Otvor objektiva određuje koliko će svjetlosti objektiv propustiti na senzor. [10] Označava se f-brojem, koji se u žargonu još zove i blenda. Što je f-broj manji, otvor objektiva je veći i prikupit će više svjetlosti, a što je veći, otvor objektiva je manji i prikupit će manje svjetlosti. F-broj se označava kao razlomak, primjerice  $f/2$ . Za astrofotografiju je poželjno da otvor objektiva bude što veći, no zbog nesavršene optike objektiva se otvor objektiva zatvori za jednu stopu. To se radi kako bi se spriječilo deformiranje zvijezda na rubu fotografije.

## Osjetljivost

Digitalni fotoaparati za mjeru osjetljivosti senzora na svjetlost koriste ISO vrijednost, koja je ekvivalentna ASA vrijednosti za osjetljivost filma kod klasičnih fotografskih aparata. Što je ISO veći, to je veća i količina šuma. Standardna ISO vrijednost je 100 što je namijenjeno za fotografiranje na dnevnom svjetlu. U uvjetima s manje svjetla povećavamo ISO na 200, 400, 800, 1600, 3200 ili čak 6400. Za astrofotografiju je poželjan što veći ISO, a šum se smanjuje korištenjem kalibracijskih frameova.

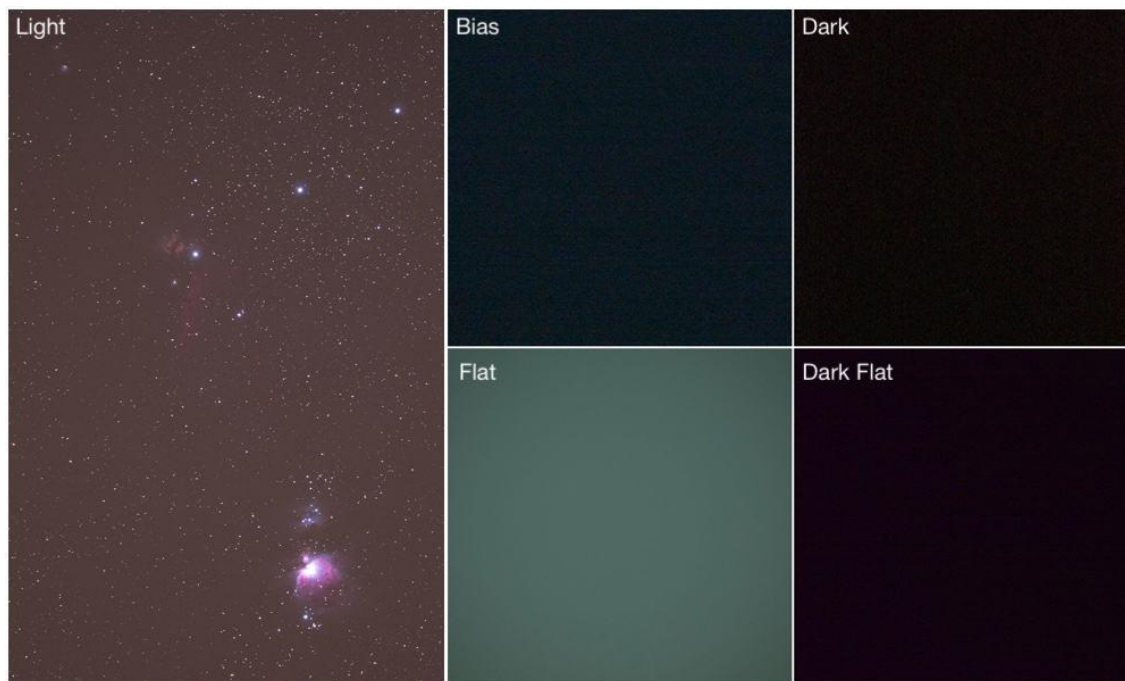
Kalibracijski frameovi se koriste kako bi se ispravile nepravilnosti na fotografiji, kao što su šum, pogreške od teleskopa ili fotoaparata itd. Fotografije se kalibriraju tako da se zajedno sa kalibracijskim frameovima stackaju u softworeu specijaliziranom za to. Razlikujemo bias, dark i flat frameove. (Slika 5.)

Bias frame je fotografija koja uklanja šum koji generira fotoaparat, odnosno bias signal. Važno je da su ISO vrijednost i temperatura ista kao kod fotografije koju želimo kalibrirati. Bias frame se dobije tako da se pokrije otvor objektiva poklopcem i vrijeme snimanja se stavi na najkraće moguće. Idealno je imati 25 do 50 bias frameova. [12]

Dark frame je fotografija koja uklanja šum uzrokovan temperaturom. Kada se fotoaparat zagrijava prilikom fotografiranja, ili kada je toplije vrijeme, na fotografiji se pojavljuju vrući pikseli kao i svjetlost od samog senzora. Dark frame se dobije na isti način kao i bias frame, a jedina razlika je u vremenu snimanja koje mora biti isto kao i kod fotografije koju želimo kalibrirati. Idealno je imati 25 do 50 dark frameova. [12]

Flat frame je fotografija koja ispravlja vinjetiranje, prašinu i ostale nepravilnosti koje padnu na objektiv. Oni su najteži za dobiti jer fotoaparat mora biti namješten identično kao i kod originalne fotografije. Čak i najmanje pomicanje fotoaparata može poništiti

djelovanje flat frameova, ili čak pogoršati originalnu fotografiju. Zbog toga ih je najbolje napraviti odmah nakon fotografija koje želimo kalibrirati. Flat frameovi se dobiju fotografiranjem jednoliko osvijetljene ravne površine ili neba u zoru. ISO vrijednost i temperatura moraju biti identični kao kod originala, a idealno je imati 25 do 50 flat frameova. [12]



Slika 5. Prikaz originalne fotografije(light) lijevo, sa kalibracijskim frameovima desno

[\(https://nightskypix.com/calibration-frames/\)](https://nightskypix.com/calibration-frames/)

### 2.3.2. Metode fotografiranja

#### Direktna metoda

Direktna metoda fotografiranja u primarnom fokusu podrazumijeva da je fotografski aparat postavljen u fokus teleskopa. Fotografski aparat je bez objektiv a i T-ringom je spojen na teleskop koji je bez okulara, tako da teleskop ima ulogu velikog teleobjektiva. Ova metoda najmanje rasipa svjetlost, što znači da je idealna za fotografiranje galaksija, maglica, zvjezdanih skupova i slično. [10]

#### Afokalna metoda

U afokalnoj metodi fotografski aparat ima objektiv te snima kroz teleskop koji u fokusu ima okular. Kako bismo ih povezali, također je potreban adapter koji drži fotografski

aparatus blizu okulara, paralelno s optičkom osi teleskopa. Važno je da na fotoaparatu namjestimo fokus na beskonačno. Afokalna metoda je idealna za snimanje planeta, detalja na Mjesečevoj površini te Sunce. [10]

### **Okularna projekcija**

U metodi okularne projekcije fotografski aparat nema objektiv, a teleskop u fokusu ima okular. Također je potreban adapter za spajanje fotoaparata i teleskopa. Ova tehnika daje kvalitetnije rezultate jer se slika projicira iz okulara direktno na senzor fotoaparata. Također je idealna za snimanje planeta, detalja na Mjesečevoj površini te Sunce. [10]

### **Piggyback metoda**

Piggyback metoda je način snimanja gdje je fotografski aparat s objektivom adapterom pričvršćen na sam teleskop. Idealna je za snimanje širokih kadrova. [10]

## 2.4. VRSTE FOTOGRAFIJA

### Wide field

Wide field fotografije su fotografirane širokokutnim objektivom i najjednostavnije su za izvesti. (Slika 6.) Danas se takve fotografije mogu dobiti čak i mobitelom, ako nema previše svjetlosnog onečišćenja. Također, mogu se napraviti fotomontaže od više fotografija s različitim postavkama tako da se uklopi i pejzaž u fotografiju.



Slika 6. Wide field astrofotografija, autor: John Fowler

<https://unsplash.com/photos/7Ym9rpYtSdA>

### Star trails

Star trails fotografije se također dobivaju korištenjem širokokutnog objektivom, no sa ekstremno dugačkom ekspozicijom kako bi se dobili tragovi zvijezda. (Slika 7.)

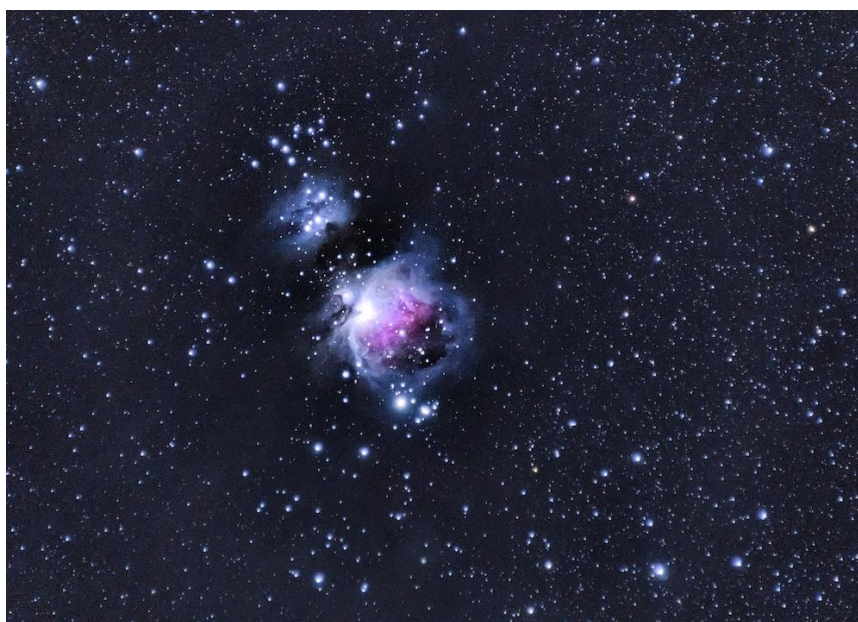


Slika 7. Star trails fotografija, autor: Patrick McManaman

[https://unsplash.com/photos/LN\\_g3qA8ohg](https://unsplash.com/photos/LN_g3qA8ohg)

### **Deep sky fotografija**

Deep sky fotografije su fotografije nebeskih tijela izvan našeg Sunčevog sustava. (Slika 8.) Ovakve fotografije zahtijevaju nešto više opreme i nisu toliko pogodne za početnike. Najčešće su snimljene pomoću teleskopa ili objektivsa sa velikom žarišnom duljinom.



Slika 8. Orionova maglica, autor: Marc Sendra Martorell

<https://unsplash.com/photos/MfjpZC9qqto>

## Planetarna astrofotografija

Kod fotografiranja planeta zapravo se ne snimaju fotografije već video iz kojeg se kasnije izdvajaju pojedinačne kvalitetne slike. Za planetarnu astrofotografiju je jako bitno da je zrak miran te da nema vjetra. (Slika 9.)

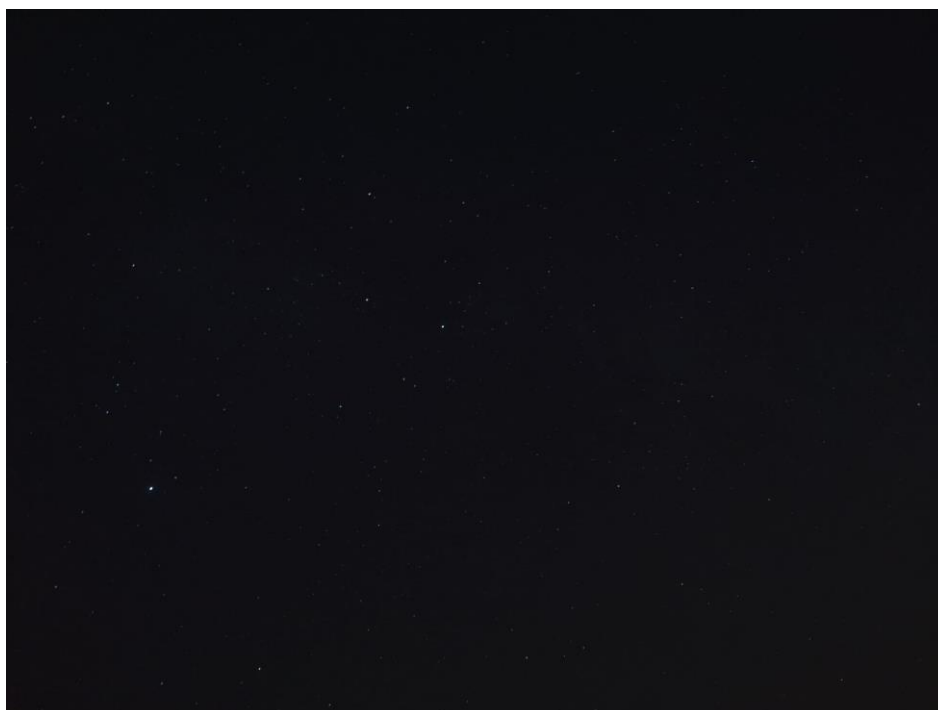


Slika 9. Jupiter, autor: Trevor Jones

[\(https://astrobackyard.com/jupiter/\)](https://astrobackyard.com/jupiter/)

### 3. PRAKTIČNI DIO

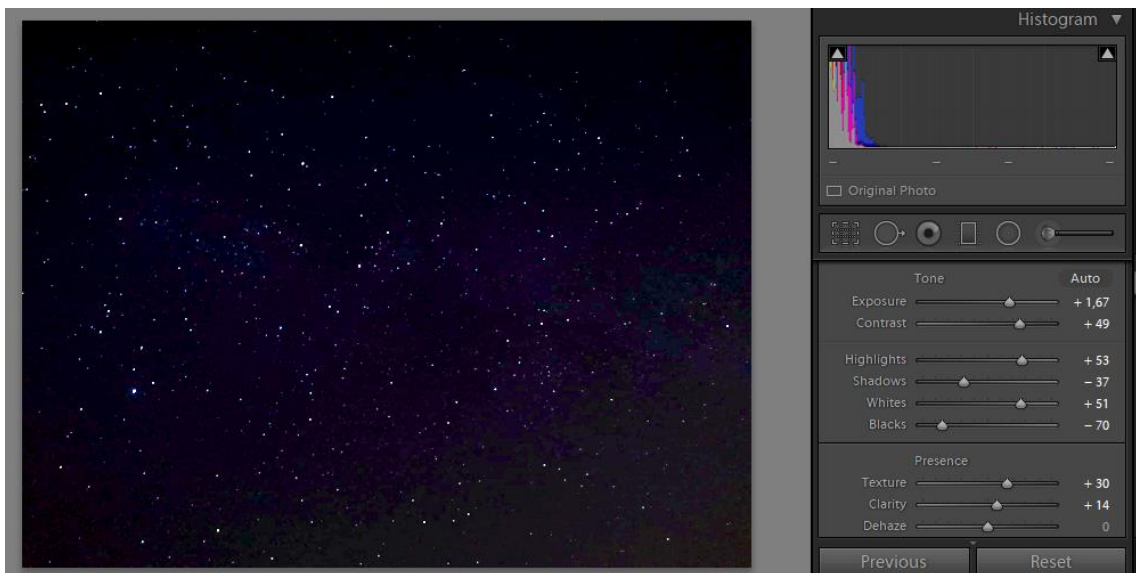
U praktičnom dijelu ovog rada pokazan je način obrade autorskih fotografija u programu Adobe Lightroom Classic. Fotografija je snimljena fotoaparatom Nikon P510 sa objektivom žarišne duljine 28mm, a postavke su sljedeće: brzina zatvarača 30 sekundi, ISO vrijednost 1600, otvor objektiva f/2,8. Zbog prevelikog svjetlosnog zagađenja, na početnoj fotografiji se slabo vide detalji, a osim toga fotografija ima i jako veliku količinu šuma, no to će se ispraviti u obradi. (Slika 10)



Slika 10. autorska fotografija noćnog neba

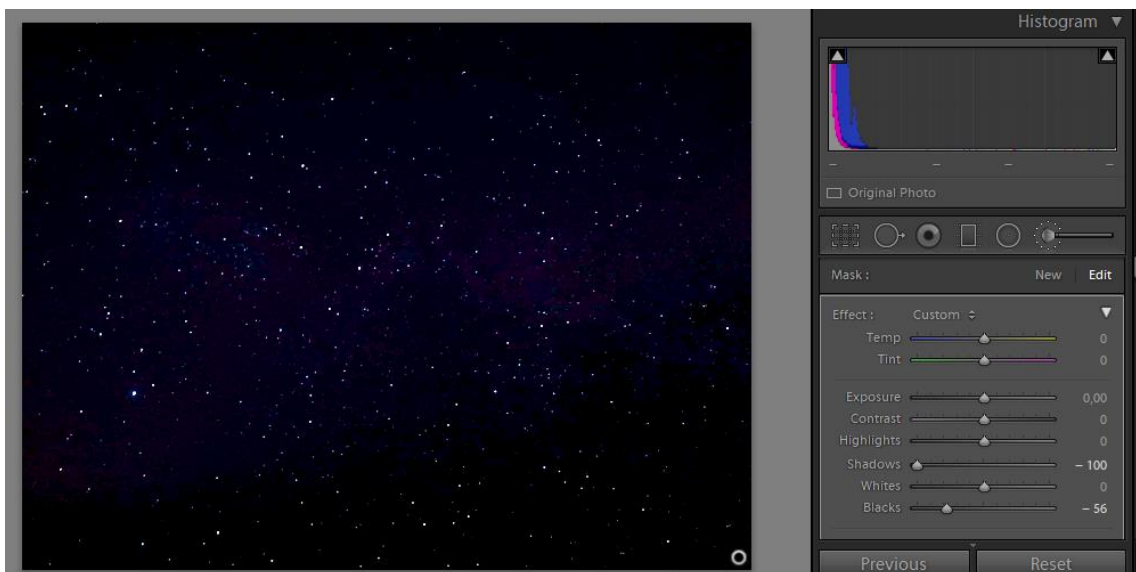
#### 3.1. OBRADA FOTOGRAFIJE U LIGHTROOMU

Fotografija se otvori u programu Adobe Lightroom te se prvo namještaju postavke u izborniku Tone. To podrazumijeva ekspoziciju, kontrast te svijetle i tamne tonove. Kako bi se izvukao maksimum iz fotografije, ekspozicija, kontrast te svijetli i bijeli tonovi se povećavaju, dok se tamni i crni tonovi smanjuju. U izborniku Presence se mogu još povećati texture i clarity kako bi se detalji dodatno istaknuli, no to povećava i količinu šuma. (Slika 11.)



Slika 11. Fotografija nakon podešavanja vrijednosti u izbornicima Tone i Presence

Donji desni kut je dosta svjetliji od ostatka fotografije te je jako izražen šum tako da se taj dio označava maskom kako bi se mogao obraditi bez da se utječe na ostatak fotografije. Maskiranom dijelu se smanjuju tamni i crni dijelovi. (Slika 12)

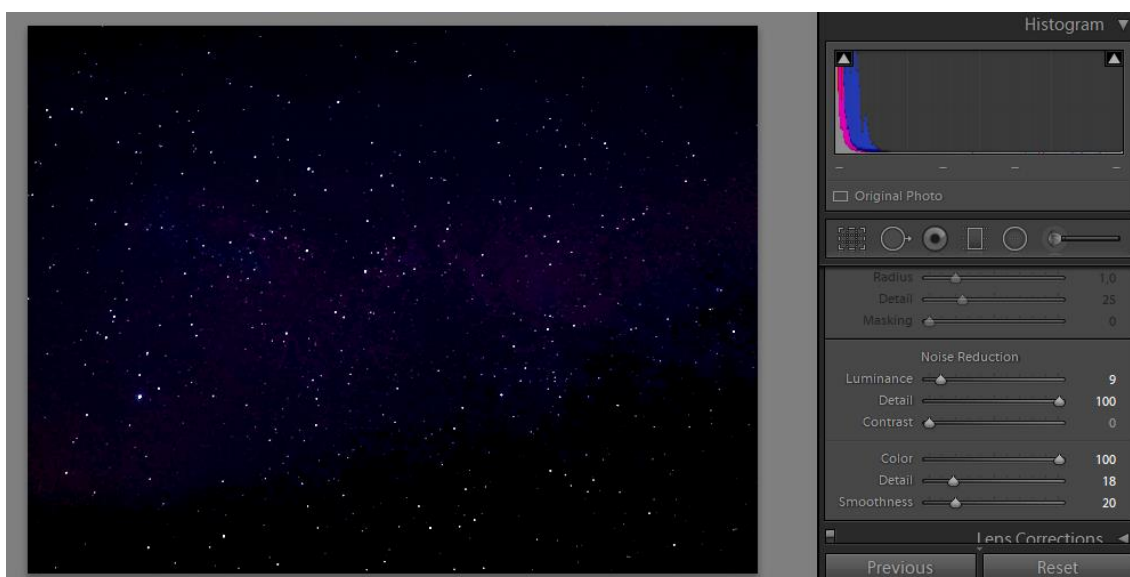


Slika 12. Fotografija nakon maskiranja

Posljednji korak je smanjivanje šuma u izborniku Noise Reduction. Važno je ne pretjerivati s tom postavkom jer se detalji vrlo lako izgube. Kako bi se to spriječilo,



može se povećati Detail. (Slika 13)



Slika 13. Fotografija nakon smanjivanja šuma

Gotova fotografija:



Slika 14. Gotova fotografija obrađena u Lightroomu

## 4. ZAKLJUČAK

Astrofotografija prikazuje objekte i pojave u svemiru. Ona je najčešće dokumentarističkog tipa, no može biti i oblik umjetničke ekspresije.

Najveći izazovi kod astrofotografije su svjetlosno zagađenje i šum koji nastaje na fotografijama. Svjetlosno zagađenje se može smanjiti korištenjem posebnih filtera, a šum se najbolje uklanja snimanjem kalibracijskih frameova i njihovim stackanjem u obradi.

Također, u astrofotografiji je obrada jednako važna kao i sam proces snimanja. U obradi detalji dolaze do izražaja te se otklanja šum koji nastaje pri fotografiranju. O obradi ovisi koristi li se fotografija u znanstvene ili umjetničke svrhe.

Danas je tehnologija toliko napredovala da se bilo tko može baviti astrofotografijom. Nije potrebna skupa oprema jer se može fotografirati i smartphoneom. Potrebno je samo znanje i malo mašte. Odabir metode ovisi o vrsti fotografije koju se želi snimiti te opremi koja je dostupna.

## 5. LITERATURA

1. <https://web.archive.org/web/20120422095828/http://www.artdeciel.com/Exposur e/post/2009/09/13/The-History-of-Astrophotography.aspx>, 23.8.2022.
2. <https://hubblesite.org/>, 23.8.2022.
3. <https://jwst.nasa.gov/content/about/index.html>, 23.8.2022.
4. <https://astrobackyard.com/astrophotography-cameras/>, 23.8.2022.
5. <https://enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=60742>, 23.8.2022.
6. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=46612>, 24.8.2022.
7. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=69152>, 24.8.2022.
8. <https://www.horizonastronomy.ie/blogs/news/broadband-narrowband-filters-for-colour-cameras>, 24.8.2022.
9. <https://expertphotography.com/best-astrophotography-filters/>, 24.8.2022.
10. Danijel Repanj, Boris Gazibara, Filip Lolić, Matija Pozojević, Zlatko Kovačević, Bojan Štrajcar, Damir Šegon, Marcela Rasonja, Vedran Vrhovac, Željko Andreić, Dag, Šola Oršić, Davor Lacković, Marino Tumpić, Vid Nikolić: [http://www.zvezdarnica.com/projekti/vodic/Vodic\\_kroz\\_digitalnu\\_astrofotografiju.pdf](http://www.zvezdarnica.com/projekti/vodic/Vodic_kroz_digitalnu_astrofotografiju.pdf), 24.8.2022.
11. <https://astrobackyard.com/the-500-rule/>, 24.8.2022.
12. <https://www.macobservatory.com/blog/2021/4/20/what-are-astrophotography-calibration-frames-and-why-should-i-use-them>, 24.8.2022.