

Natjecanje iz astronomije 2024./2025. godine

Boje zvijezda u oku promatrača

(Konačna verzija rada)

7. razred, Osnovna škola 1 natjecatelj

Natjecatelj:

Luka Rafanelli

Mentor:

Ivica Štrbac

ivica.strbac@skole.hr

Škola:

OŠ Josip Pupačić

Omiš

SAŽETAK

U ovom radu promatrao sam zvijezde teleskopom i kamerom kako bih zabilježio njihove boje te ih usporedio s poznatim površinskim temperaturama. Promatranja su provedena na lokaciji gradske plaže u Omišu gdje je u gradu najmanje svjetlosnim onečišćenjem, a analizirane su poznate zvijezde poput Sirkusa, Arktura, Betelgeza i drugih. Zvijezde su snimljene kamerom, a zatim se prema fotografijama odredila boja zvijezda. Dobivene boje uspoređene su s literaturnim podacima te prikazane u grafičkom obliku. Rezultati potvrđuju jasnu povezanost između boje zvijezda i njihove temperature – crvenkaste zvijezde imaju nižu temperaturu, dok plavičaste imaju višu. Rad pokazuje kako i jednostavna astronomska opažanja mogu pomoći boljem razumijevanju fizikalnih svojstava zvijezda te potiču daljnji interes za astronomiju.

1. UVOD

Zvijezde su oduvijek privlačile pažnju ljudi. Još su stari narodi promatrali noćno nebo i pokušavali objasniti raspored i sjaj nebeskih tijela. Danas znamo da su zvijezde golema užarena tijela koja emitiraju svjetlost i toplinu, a proučavanje njihove svjetlosti daje nam mnoštvo informacija o njima. Jedna od zanimljivih osobina zvijezda je njihova boja, ona nije samo estetski detalj, već izravno povezana s temperaturom površine zvijezde.[1] U ovom radu istražujem upravo tu povezanost – može li se na temelju boje zvijezde procijeniti koliko je površinska temperatura zvijezde?

Oduvijek su me zanimale zvijezde i svemir. Tijekom cijele godine promatram noćno nebo i učim o nebeskim tijelima. Ove godine odlučio sam se posvetiti istraživanju boja zvijezda. Pomoću školskog teleskopa i posebne kamere snimat ću fotografije 10 do 20 različitih zvijezda. Zatim ću ih pokušati poredati po boji – od crvenih prema plavim, odnosno od "hladnijih" prema "toplijima". Nakon toga ću svoj poredak usporediti s poznatim površinskim temperaturama tih zvijezda koje su dostupne u znanstvenim izvorima. Na taj način pokušat ću provjeriti koliko je moje vizualno promatranje u skladu sa znanstvenim podacima.

Boja zvijezda tema je koja me posebno zanima jer na prvi pogled djeluje jednostavno, promatraš i uspoređuješ boje, no zapravo je iza toga puno fizike i astronomije. Mnoge zvijezde golim okom izgledaju bijelo ili žućkasto, ali pomoću teleskopa i kamera mogu se zabilježiti suptilne razlike u boji koje otkrivaju nešto puno dublje: njihovu temperaturu, veličinu, pa čak i stadij u kojem se zvijezda nalazi u svom životnom ciklusu. Zanimljivo mi je i to što se pri snimanju svjetlosti zvijezda koristi posebna oprema koja bilježi više od onoga što naše oko može vidjeti. Upravo ta tehnička strana promatranja svemira potaknula me da se detaljnije upustim u ovo istraživanje.

Cilj ovog rada je pokušati povezati subjektivno promatranje (kako ja vidim boju zvijezde na fotografiji) s objektivnim znanstvenim podacima (poznatim temperaturama zvijezda). Ideja je da izradim vizualni niz zvijezda po boji, a zatim taj niz usporedim s nizom po temperaturama. Ako se ti nizovi podudaraju, potvrdit ću da je moguće procijeniti površinsku temperaturu zvijezde prema njezinoj boji. To može biti koristan uvod u daljnje razumijevanje spektralnih klasa zvijezda, ali i zanimljiv način kako povezati promatranje i znanost.

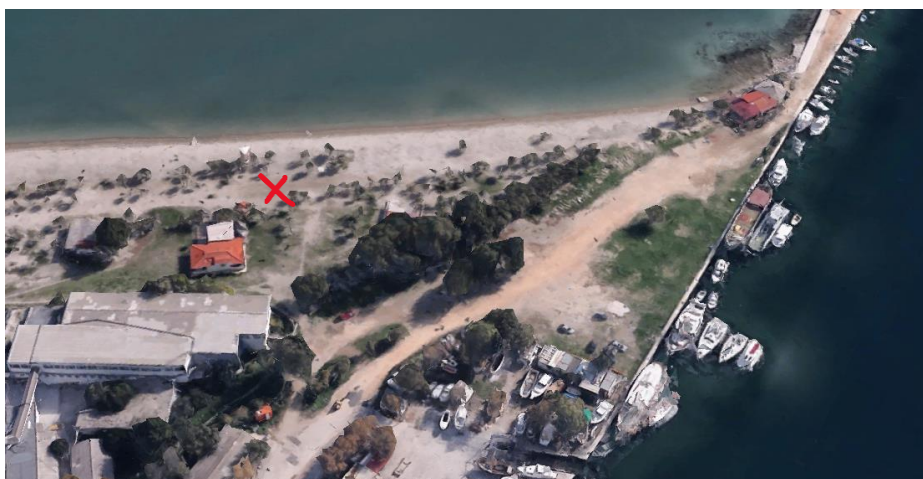
U Poglavlju 2 opisujem koje sam zvijezde promatrao i kako sam prikupljao podatke. U Poglavlju 3 objašnjavam metodologiju snimanja i analize boja. Dobivene rezultate predstavljam

u Poglavlju 4, a njihovu usporedbu i značenje analiziram u Poglavlju 5. Rad završavam zaključcima i razmišljanjima o tome što bi se još moglo istražiti u budućnosti u Poglavlju 6.

2. PODATCI

U ovom istraživanju koristio sam vlastita opažanja i fotografije zvijezda koje sam snimio pomoću teleskopa i posebne kamere za astrofotografiju. Promatranja sam obavio pet puta tijekom mjeseca ožujka i travnja 2025. godine. Točnije, opažanja sam provodio 19. i 20. ožujka te 3., 5. i 6. travnja. Htio sam promatrati i više puta, ali zbog čestih oblaka i za promatranje lošeg vremena to nije bilo moguće, a morao sam odraditi i svoju ekskurziju u Istri. Tijekom većine promatranja bilo je burno i hladno, što je dodatno otežavalo rad s opremom na otvorenom.

Sva promatranja sam provodio na kraju gradske plaže u Omišu, gdje je svjetlosno onečišćenje najmanje. Lokacija mjerenja nalazi se na 43.44309° sjeverne geografske širine i 16.6921° istočne geografske dužine, na nadmorskoj visini od 1 metra (Slika 1).



Slika 1 Mjesto motrenja
Izvor: Google Earth

Promatranja su započinjala oko 18:30 sati, odnosno oko 19.30 kada se primijenilo ljetno računanje vremena. Kada bi se dovoljno smračilo da se zvijezde jasno vide najprije bi usmjerio teleskop prema tri poznate zvijezde koje su mi služile za orijentaciju, a zatim bih pomoću opcije tražilice koju imam kao dodatnu opremu s teleskopom, locirao i ostale zvijezde koje sam želio snimiti.

Od opreme sam koristio refraktorski teleskop s promjerom objektiva od 100 mm i žarišnom duljinom od 900 mm. Montaža teleskopa bila je motorizirana i omogućavala mi je da precizno pratim kretanje zvijezda po nebu. Za snimanje sam koristio ZWO ASI585 color kameru, koja je posebno dizajnirana za astrofotografiju. (Slika 2.)

Zvijezde koje sam promatrao i snimao su: Sirius, Betelgez, Prokion, Belatrix, Kapela, Menkalinan, Mirfak, Algol, Sjevernjača (Polaris), Kochab, Mizar, Arktur i Alkaid. Nastojao sam odabrati zvijezde različitih boja i sjaja kako bih dobio što širu paletu boja, od crvenkastih do plavičastih nijansi. Iako sam planirao snimiti više zvijezda tijekom pet noći promatranja,

vremenski uvjeti (oblačnost, bura) i tehnička ograničenja (vidljivost, vrijeme pronalaska svake zvijezde i postavljanje fokusa, baterija na računalu i teleskopu) ograničili su broj kvalitetnih fotografija.



Slika 1. Oprema

U Tablici 1 nalaze se svi datumi snimanja, vremenski uvjeti te osnovni podaci o korištenoj opremi i lokaciji.

Tablica 1: Pregled opažanja i korištene opreme

Datum promatranja	Vremenski uvjeti	Geografska širina	Geografska dužina	Teleskop	Kamera
19.3.2025.	Vedro	43.44309° N	16.6921° E	Refraktor 100/900 mm	ZWO ASI585 color
20.3.2025.	Djelomično oblačno i vjetrovito	43.44309° N	16.6921° E	Refraktor 100/900 mm	ZWO ASI585 color
3.4.2025.	Vedro, hladno i vjetrovito	43.44309° N	16.6921° E	Refraktor 100/900 mm	ZWO ASI585 color
5.4.2025.	Vedro i hladno	43.44309° N	16.6921° E	Refraktor 100/900 mm	ZWO ASI585 color
6.4.2025.	Vedro i hladno	43.44309° N	16.6921° E	Refraktor 100/900 mm	ZWO ASI585 color

Kako bih usporedio vlastita promatranja s poznatim temperaturama i spektralnim klasama zvijezda, koristio sam podatke dostupne na internetskoj stranici www.stellarium-web.org. Taj program omogućuje prikaz informacija o svakoj zvijezdi, uključujući njezinu boju, spektralnu

klasu i površinsku temperaturu. Te sam podatke preuzeo za sve zvijezde koje sam promatrao i koristio ih za usporedbu s bojama koje sam uočio na svojim snimkama.

3. METODE / ANALIZA

Kako bih obradio podatke dobivene snimanjem zvijezda, koristio sam kombinaciju vlastitih promatranja i podataka preuzetih iz astronomske baze podataka dostupne putem računalnog programa Stellarium Web (<https://stellarium-web.org>). Ovaj alat koristi se za prikaz noćnog neba u stvarnom vremenu i omogućuje pregled informacija o tisućama nebeskih objekata, uključujući zvijezde, planete, maglice i druge objekte.

Tijekom svakog promatranja, teleskopom sam pronalazio određenu zvijezdu i snimao je uz pomoć kamere ZWO ASI585. Fotografije sam pohranjivao na prijenosno računalo, a zatim ih naknadno pregledavao. Boja svake zvijezde bila je jasno vidljiva na snimci, osobito kod sjajnijih zvijezda poput Siriusa ili Arktura. Boje sam promatrao vizualno, uspoređujući nijansu snimljene zvijezde s poznatim spektralnim klasama.

Za usporedbu boja koristio sam podatke iz Stellarium Weba, gdje sam za svaku snimljenu zvijezdu pronašao njezinu spektralnu klasu i temperaturu površine izraženu u kelvinima (K). Na taj način sam mogao usporediti jesu li zvijezde koje izgledaju plavo stvarno toplije od ostalih, kako se boja mijenja s promjenom temperature i može li se vizualno prepoznati spektralna klasa zvijezde samo na temelju njezine boje na snimci.

Na primjer, zvijezda Sirius izgledala je plavičasto na mojoj snimci, a prema Stellariumu ima temperaturu od otprilike 9940 K i pripada spektralnoj klasi A1V, što potvrđuje da su plave zvijezde uistinu vrlo vruće. S druge strane, zvijezda Betelgez bila je jasno crvenkasta, a Stellarium pokazuje da ima temperaturu od oko 3500 K i spada u klasu M1-M2, što je karakteristično za hladnije zvijezde.

Uz pomoć tih podataka, izradio sam jednostavnu tablicu u kojoj sam za svaku zvijezdu usporedio: naziv zvijezde, uočenu boju na snimci, spektralnu klasu (prema Stellariumu) i površinsku temperaturu u kelvinima. Ta je tablica omogućila korelaciju odnosa između boje i temperature, što je i bio cilj istraživačkog rada. U analizama nisam koristio složene formule jer se rad temeljio na vizualnim opažanjima i osnovnoj usporedbi poznatih fizikalnih svojstava zvijezda.

4. REZULTATI

Nakon što sam snimio slike zvijezda pomoću teleskopa i kamere, pažljivo sam promatrao boju svake pojedine zvijezde na dobivenim slikama. Boje sam bilježio vizualno, gledajući najsvjetlije dijelove zvijezde i njihove dominantne nijanse. Boje sam opisivao kao plavičaste, bijele, narančaste, crvenkaste ili žućkaste, ovisno o tome kako su izgledale na slici. Na slikama 3.-15. su prikazane najbolje snimljene fotografije zvijezda koje sam promatrao te kako sam ih prema bojama poredao.



Slika 3. Betelgez



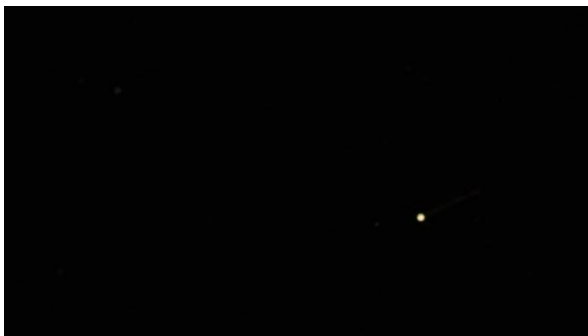
Slika 4. Kochab



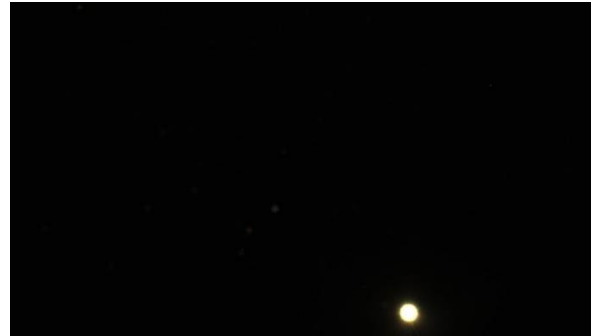
Slika 5. Arktur



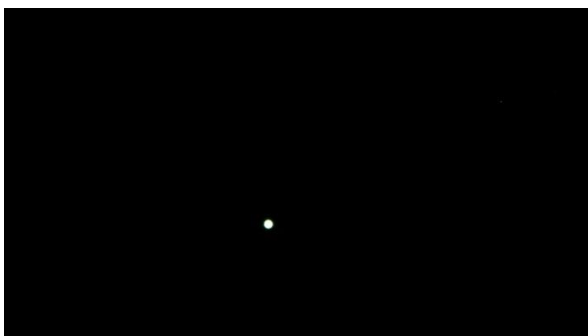
Slika 6. Prokion



Slika 7. Mirfak



Slika 8. Menkalinan



Slika 9. Kapela



Slika 10. Sjevernjača



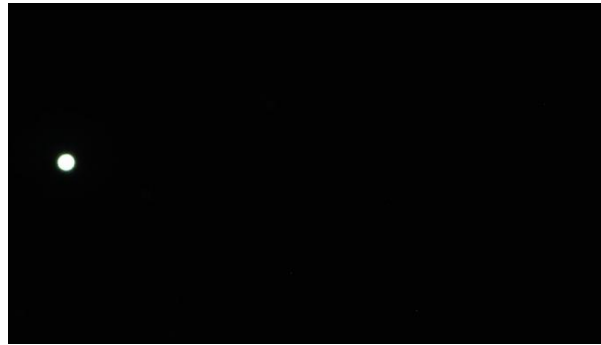
Slika 11. Mizar



Slika 12. Algol



Slika 13. Sirius



Slika 14. Alkaid



Slika 15. Belatrix

Kako bih provjerio koliko je moj dojam o boji zvijezda točan, potražio sam fizikalne podatke o svakoj od promatranih zvijezda u online astronomskom programu *Stellarium Web*. Za svaku zvijezdu pronašao sam spektralnu klasu i temperaturu njene površine izraženu u kelvinima (K). Ti podaci su pouzdani i preuzeti iz baze podataka koja se koristi u edukativne i znanstvene svrhe.

Rezultati usporedbe prikazani su u tablici 2, gdje su navedene sve promatrane zvijezde poredane prema površinskim temperaturama te njihova vizualno uočena boja i spektralna klasa.

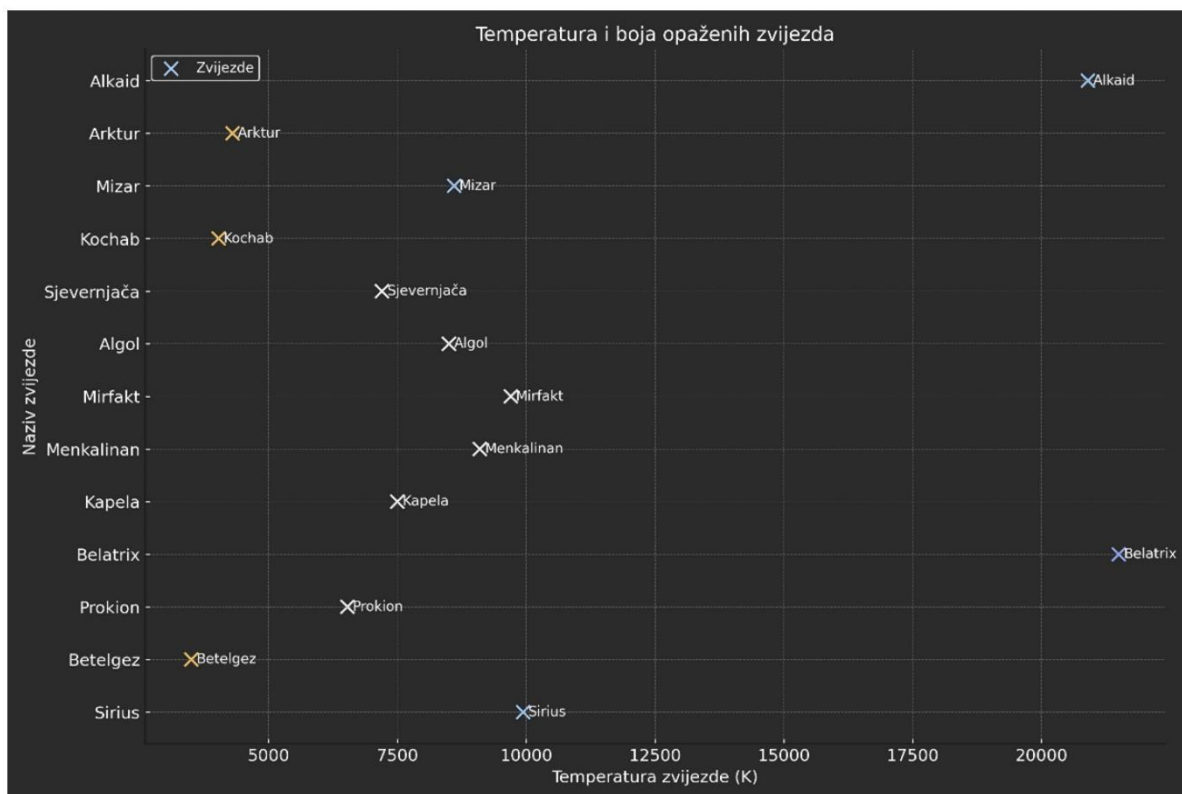
Tablica 2. Usporedba uočene boje zvijezda i njihovih fizikalnih svojstava

Naziv zvijezde	Uočena boja	Spektralna klasa	Temperatura površine (K)
Betelgez	Crvenkasta	M2Iab	3500
Kochab	Narančasta	K4III	4030
Arktur	Narančasta	K1.5III	4286
Kapela	Blijedo žućkasta	G5III	4900
Sjevernjača	Blijedo žućkasta	F7Ib	6015
Mirfak	Žućkasto-bijela	F5Ib	6250
Prokion	Narančasta	F5IV–V	6530
Mizar	Bijela	A2V	9100
Menkalinan	Žućkasto-bijela	A2IV	9100
Sirius	Plavičasta	A1V	9940
Algol	Plavičasto-bijela	B8V	13 000
Alkaid	Plavkasta	B3V	20 000
Belatrix	Plavkasta	B2III	21 800

Izvor: Podaci o spektralnoj klasi i temperaturi preuzeti iz Stellarium Weba <https://stellarium-web.org>

Uočio sam da u većini slučajeva boja dobro odgovara stvarnoj temperaturi zvijezda. Na primjer, Betelgez, koji je poznat kao crveni superdiv, zaista izgleda crvenkasto i ima vrlo nisku temperaturu (oko 3500 K). S druge strane, Belatrix i Alkaid, koje sam uočio kao plavkaste, imaju vrlo visoke temperature (iznad 20 000 K), što potvrđuje poznato pravilo da su plave zvijezde najtoplije, a crvene najhladnije. Uspoređujući moja zapažanja boja s stvarnim temperaturama, napravio sam i neke pogreške, tako je prema mom opažanju zvijezdi Menkalinan određena boja koja znači manju površinsku temperaturu od Sjevernjače.

Da bih to bolje prikazao, odlučio sam izraditi i graf koji prikazuje odnos između temperature zvijezda i uočene boje. Grafički prikaz izrađen je pomoću programskog jezika Python i biblioteke Matplotlib. Time se jasno vidi kako se boja zvijezda mijenja s porastom temperature. Ovaj graf pomaže u boljem razumijevanju odnosa između boje i temperature zvijezda, što je osnovni cilj ovog istraživanja.



Slika 16. Prikaz temperature i boja opaženih zvijezda

5. DISKUSIJA

Tijekom promatranja zvijezda i analize snimljenih fotografija, jasno se uočava povezanost između boje zvijezde i njezine površinske temperature. Zvijezde s višim temperaturama, poput Alkaid i Siriusa, izgledale su izrazito bijelo-plavičasto, dok su hladnije zvijezde poput Betelgeza i Arktura imale izrazitu narančasto-crvenkastu boju. Ova opažanja u skladu su s teorijom zračenja crnog tijela, prema kojoj toplija tijela zrače na kraćim valnim duljinama (plava boja), dok hladnija tijela zrače na duljim valnim duljinama (crvena boja).[3]

Dobiveni rezultati također su u skladu s poznatim klasifikacijama zvijezda prema spektralnim razredima. Na primjer, Betelgez (tip M) i Arktur (tip K) spadaju među hladnije zvijezde, što se i poklapa s opaženim bojama. S druge strane, zvijezde poput Kapele i Prokiona (tip F–G) pokazivale su bijelo-žutu boju, dok je Sirius, kao predstavnik A-tipa, bio vrlo svijetao i plavičast.

Jedna od poteškoća tijekom mjerenja bio je vjetra (bura) i niska temperatura zraka, što mi je otežavalo precizno fokusiranje i opažanje. Zbog jakog vjetra, teleskop sam morao postaviti na nižu razinu postolja, što je zahtijevalo poluležeći položaj tijekom promatranja. Tijekom jačih udara vjetra bio sam primoran privremeno prekinuti promatranje i zaštititi opremu. Mjesto promatranja bilo je smješteno na kraju gradske plaže, gdje je svjetlosno onečišćenje najmanje u odnosu na ostatak grada, no ipak nije bilo potpuno tamno. Gradska rasvjeta nalazila se otprilike dvadesetak metara od mjesta opažanja, a iako je djelomično bila zaklonjena stablima koja rastu uz šetnicu, njezin utjecaj nije bio zanemariv te je mogla utjecati na točnost vizualnog

dojma boje nekih zvijezda. Unatoč tim ograničenjima, lokacija se pokazala relativno pogodnom za rad s obzirom na urbani kontekst i pristupačnost terena.

Grafički prikaz odnosa boje i temperature (Slika 16) jasno prikazuje kako se s porastom temperature mijenja i boja zvijezda – od crvenih prema plavima. Ovakva povezanost dodatno potvrđuje zakonitosti fizike zvijezda. Gotovo sve zvijezde na grafu ponašaju se prema očekivanjima, s manjim odstupanjima koja mogu biti rezultat subjektivne percepcije boje, optičkih uvjeta ili same kamere.

Promatranje i analiza zvijezda omogućili su dublje razumijevanje njihove fizičke prirode. U nastavku istraživanja, opažanja bi se mogla dodatno unaprijediti snimanjem kroz filtere različitih valnih duljina te usporedbom s fotometrijskim podacima dostupnim iz profesionalnih izvora. [4]

6. ZAKLJUČAK

Tijekom ovog istraživanja imao sam priliku spojiti svoju strast prema astronomiji s praktičnim radom i opažanjem neba. Korištenjem teleskopa i kamere, promatrao sam zvjezdano nebo i snimao svjetlost trinaest različitih zvijezda. Usporedio sam njihove boje s dobivenih fotografija s poznatim temperaturama koje sam pronašao u dostupnoj literaturi i internetskim izvorima. Rezultati su jasno pokazali povezanost između boje zvijezde i njezine površinske temperature, zvijezde nižih temperatura bile su crvenkastih nijansi, dok su zvijezde viših temperatura imale plavičastu boju, što je u skladu sa zakonima fizike i spektralne klasifikacije zvijezda.

Tijekom promatranja suočio sam se s izazovima poput nepovoljnih vremenskih uvjeta i svjetlosnog onečišćenja, no unatoč tome uspio sam u svom radu predstaviti trinaest fotografija. Ukupno sam imao 65 fotografija, budući da sam svaku zvijezdu snimio pet puta. Odabrana lokacija s manje svjetlosnog onečišćenja pokazala se dobrom za ovakva promatranja. Korištenje jednostavnijih astronomskih alata i softvera omogućilo mi je da analiziram boje zvijezda i bolje razumijem njihove karakteristike.

Ovim radom potvrdio sam da se pomoću jednostavnih opažanja i osnovne opreme može doći do zanimljivih zaključaka o svojstvima zvijezda. U budućnosti bih volio proširiti ovo istraživanje na više zvijezda, opažanja dodatno unaprijediti snimanjem kroz filtere različitih valnih duljina, te provesti opažanja tijekom drugih godišnjih doba kako bih ispitao eventualne razlike u vidljivosti i kvaliteti snimki. Također, bilo bi zanimljivo usporediti opažanja iz urbanih i ruralnih područja kako bi se dodatno proučio utjecaj svjetlosnog onečišćenja.

Ovo iskustvo dodatno me potaknulo na daljnje učenje o astronomiji i dalo mi motivaciju za buduća istraživanja svemira.

7. LITERATURA

[1] Vujnović, V. (1994). *Astronomija 2: Osnove astronomije i planetski sustav* (3. dopunjeno izdanje). Zagreb: Školska knjiga.

[2] Spektralna klasa i temperatura zvijezda URL <https://stellarium-web.org/> (Pristupljeno 2025-04-06)

[3] Zračenje crnog tijela URL https://hr.wikipedia.org/wiki/Zra%C4%8Denje_crnog_tijela (Pristupljeno 2025-04-07)

[4] Astronomski filteri URL https://hr.wikipedia.org/wiki/Astronomski_filter (Pristupljeno 2025-04-07)