

MERJENJE RAZDALJ DO RAZSUTE KOPICE MELOTTE 71 PREK TREH METOD

PODROČJE: ASTRONOMIJA IN FIZIKA

Avtorici: Irena Nedeljković, Neja Pisk
Mentor: dipl. ing. Vladimir Anžel
Somentor: dr. Jure Japelj

Zahvala

Iskreno se zahvaljujeva svojima mentorjema, dipl. ing. Vladimirju Anželu in dr. Juretu Japlju. Slednjemu se še posebej zahvaljujeva, ker nama je bil ves čas najinega raziskovanja na voljo za strokovno pomoč. Veliko nazu je naučil, stalno je spremjal najino delo in nama omogočil opazovanje s teleskopom projekta GoChile.

Zahvaljujeva se tudi dr. Ireni Krapš Vodopivec, ki je lektorirala najino raziskovalno nalogu in prof. Danijeli Fabčič za pregled povzetka v angleščini.

Kazalo vsebine

Zahvala	2
Kazalo vsebine	2
Kazalo slik	3
Povzetek	4
1. Uvod	6
2. Teoretični del.....	7
2.1. Definiranje dolžine v vesolju	7
2.2. Zvezdne kopice	7
2.3. Merjenje razdalj v vesolju.....	8
2.3.1. Paralaksa.....	8
2.3.2. Spremenljive zvezde	9
2.3.3. HR-diagram.....	10
2.4. Magnitude	12
3. Eksperimentalni del	14
3.1. Opazovanje	14
3.2. Fotometrija zvezd kopice	15
3.3. Fotometrija zvezd tipa Delta Ščita.....	22
4. Rezultati in razprava.....	27
4.1. Razdalja iz HR-diagrama	27
4.2. Razdalja iz paralakse.....	28
4.3. Razdalja s pomočjo zvezd Delta Ščita.....	28
4.4. Primerjava razdalj.....	29
5. Zaključek	31
6. Viri in literatura	33

Kazalo slik

Slika 1: Plejade (pridobljeno: <https://lindicastrophotography.wordpress.com/2018/12/28/pleiades/>) 8

Slika 2: Paralaksa (pridobljeno: http://www.andros.si/vesolje/slovar.html)	9
Slika 3 Povezava med spektralnim tipom zvezd, njihovo temperaturo ter bravo (pridobljeno: http://www2.arnes.si/~gljsentvid10/hrtex.html)	11
Slika 4: HR-diagram (pridobljeno: http://www2.arnes.si/~gljsentvid10/hrtex.html).....	11
Slika 5: Program Voyager med opazovanjem.....	14
Slika 6: Slika razsute kopice Melotte 71	15
Slika 7: Najin izračun mag G v odvisnosti od mag G iz kataloga	
Slika 8: Najin izračun mag B v odvisnosti od mag B iz kataloga	16
Slika 9: Najin izračun mag R v odvisnosti od mag R iz kataloga	16
Slika 10: HR-diagram z vsemi zvezdami na sliki.....	17
Slika 11: Približan graf gibanja zvezd na sliki	18
Slika 12: Gibanje zvezd po tem, ko sva jih omejili na manjši odsek	18
Slika 13: HR-diagram po prvem izločanju.....	19
Slika 14: Paralaksa še neizločenih zvezd.....	19
Slika 15: Zvezde v omejenem območju	20
Slika 16: HR-diagram po koncu izločanja.....	20
Slika 17: HR-diagram vseh zvezd v R filtru.....	21
Slika 18: HR-diagram zvezd v R filtru, po prvem izločanju	21
Slika 19: Končni HR-diagram zvezd v R filtru	22
Slika 20: Spremenljive zvezde V1, V2, V3 in V4	23
Slika 21: AstroimageJ.....	24
Slika 22: Svetlobna krivulja V1.....	25
Slika 23: Svetlobna krivulja V3.....	25
Slika 24: Svetlobna krivulja V4.....	26

Kazalo tabel

Tabela 1: Vrednosti period in njihovih napak.....	26
Tabela 2: Vrednosti magnitud in njihovih napak.....	28
Tabela 3: Vrednosti razdalj in njihovih napak	29
Tabela 4: Primerjava razdalj	29
Tabela 5: Primerjava razdalj z ekstinkcijo zemljevida 2D	30

Povzetek

V astronomiji obstaja veliko različnih načinov merjenja razdalj do objektov v vesolju. Razsutim kopicam, v katerih se nahaja več deset ali sto zvezd enake starosti, razdaljo lahko izmerimo prek študija barve in navideznega sija (ozziroma HR-diagrama). Čeprav je metoda manj natančna od nekaterih drugih bolj specializiranih metod, je njena prednost v tem, da jo lahko uporabimo za prav vse kopice. V nalogi sva žeeli preveriti natančnost merjenja razdalje prek HR-diagrama na primeru razsute kopice Melotte 71. Kopico sva dve noči opazovali s teleskopom GoT1 slovenskega projekta GoChile, ki stoji na observatoriju El Sauce v Čilu. Z dolgo osvetlitvijo sva dobili posnetek, na katerem so prisotne tudi relativno temne zvezde kopice, zaporedje krajsih posnetkov pa sva uporabili za iskanje zvezd s periodičnim spremenjanjem sija. Oddaljenost kopice sva izmerili na tri načine: prek HR-diagrama, s pomočjo treh spremenljivih zvezd tipa Delta Ščita (prek uporabe znane relacije med periodom in izsevom), ki so v tej kopici, in s pomočjo paralakse zvezd v kopici, izmerjene s satelitom Gaia. V vseh primerih najdeva podobno oddaljenost, ki se pri računanju s pomočjo paralakse in zvezd tipa Delta Ščita giblje okoli razdalje 2,2 kpc, pri računanju s pomočjo HR-diagrama pa okoli 4 kpc in 2,6 kpc. Opredelili sva zanesljivost merjenja s pomočjo HR-diagrama v primerjavi z drugima dvema metodama. Ugotovili sva, da so rezultati precej odvisni od nekaterih privzetih vrednosti iz katalogov (kot je medzvezdna ekstinkcija in podatki filtrov).

Ključne besede: merjenje razdalj, razsuta kopica, HR-diagram, paralaksa, spremenljive zvezde

Abstract

There are many different methods for measuring distances between space objects in astronomy. The distance to open clusters which contain about ten to hundred stars of the same age can be measured by studying the spectral color in luminosity of these stars. This method is called the HR-diagram. Nevertheless, the HR-diagram is not as accurate as other even more specialized methods, it can be used for all existing clusters.

The intention for our research was to test the accuracy of the HR-diagram on the example of Melotte 71. For two night we observed the cluster with the GoChile telescope located in El Sauce Observatory in Chile. We used sequences with longer exposure periods to acquire darker stars of the cluster and sequences with shorter exposure periods for variable stars.

We measured the distance to the cluster in three ways: by the HR-diagram, by observing three Delta Scuti variables in Melotte 71 (using the known relation between the period and the luminosity) and with the cluster star's parallax, measured by the Gaia satellite. In all methods we found similar distance which varies around 2,2 kpc with Delta Scuti method and around 4 kpc and 2,6 kpc with the HR-diagram.

By comparing the HR-diagram with the other two methods, we determined its reliability and discovered that the results are quite dependent on some default values from catalogue such as the value of interstellar extinction.

Key words: measuring distances, open cluster, HR-diagram, parallax, variable stars

1. Uvod

Grki so bili prvi, ki so izmerili razdaljo do Sonca in Lune. Njihovi rezultati so se potrdili šele v 17. stoletju, ko se je astronomija začela hitreje razvijati. V 19. stoletju so izračunali prvo razdaljo s pomočjo paralakse, kar je bilo prvo merjenje razdalj do katerekoli druge zvezde kot Sonce. Kmalu za tem so odkrili različne barvne spektre in sestavili HR-diagram, kar jim je pomagalo priti do novih možnosti izračuna razdalj. Nazadnje pa so odkrili še zvezde, ki spremnjajo svojo svetlost. Le tem so izmerili periodo spremnjanja navideznega sija in s temi podatki izračunali razdaljo. Danes v astronomiji obstaja tudi veliko drugih načinov merjenja razdalj, kot npr. radijsko merjenje, merjenje s pomočjo supernov, itd.

Midve sva kot tri tehnike merjenja uporabili merjenje s pomočjo paralakse, merjenje s pomočjo HR-diagrama, kjer sva uporabili različne filtre ter merjenje s pomočjo spremenljivih zvezd. Kot najino nalogo sva si zadali, da dokaževo zanesljivost HR-diagrama pri merjenju razdalj do razsutih kopic. Natančnost metode sva primerjali z drugima dvema metodama.

V teoretičnem delu bova predstavili kopice in njihove podvrste, različne enote za razdalje v astronomiji in metode za merjenje razdalj v vesolju.

V eksperimentalnem delu bova opisali najino opazovanje, obdelavo slik ter postopek obdelave podatkov s programi TopCat, AstroImageJ in drugimi.

V rezultatih in razpravi bova predstavili najine izračune ter jih primerjali med sabo.

Na koncu pa bova v zaključku opisali še zaključno misel o svoji nalogi.

2. Teoretični del

Razdalje v astronomiji so zelo pomembne [1]. Brez znane razdalje ne moremo izmeriti izseva objekta, velikosti kopice na nebu, itd. Šele prek znanih razdalj smo izvedeli, da je Osončje del Galaksije in da so v vesolju tudi druge galaksije.

2.1. Definiranje dolžine v vesolju

V astronomiji dolžine definiramo z različnimi enotami: v parsekih, astronomskih enotah ali svetlobnih letih.

Astronomska enota predstavlja povprečno razdaljo med Soncem in Zemljo in je definirana kot 149 597 870,7 km. Uporablja se predvsem za označevanje razdalj v našem Osončju.

Parsek je razdalja, pri kateri polmer Zemljine orbite predstavlja kot ene ločne sekunde. Je obratna vrednost paralakse v kotnih sekundah. En parsek je enak razdalji $3,09 \times 10^{13}$ km ali 3,26 svetlobnih let.

Svetlobno leto je razdalja, ki jo svetloba v vakuumu prepotuje v enem letu. 1 svetlobno leto je enako 63 241 astronomskih enot.

2.2. Zvezdne kopice

Čeprav se nam ob pogledu v nebo zdi, da vsaka zvezda leži sama zase, se zvezde v resnici združujejo skupaj v kopice. Kopice delimo na dve vrsti, starejše so kroglaste kopice, v katerih so zelo stare združbe zvezd in je v njih skoraj toliko zvezd kot v manjši galaksi, druge pa so razsute kopice, v katerih so mlajše zvezde.

V razsutih kopicah najdemo zvezde enakih starosti, ki so nastale iz istega oblaka prahu in plina. Tako je kemijska sestava zvezd v razsutih kopicah enaka, mase so pa zelo različne, kar se zgodi zaradi neenakomerne porazdelitve snovi v začetnem oblaku. Nastanejo v galaktični ravnini in niso gravitacijsko močne, zato je njihova življenjska doba kratka in kmalu razpadajo. Te kopice so zelo nesimetrične in so lahko velike od 5 do kar 75 svetlobnih let. Na spodnji sliki je prikazana najbolj znana razsuta kopica Plejade. [1]



Slika 1: Plejade (pridobljeno: <https://lindicastrophotography.wordpress.com/2018/12/28/pleiades/>)

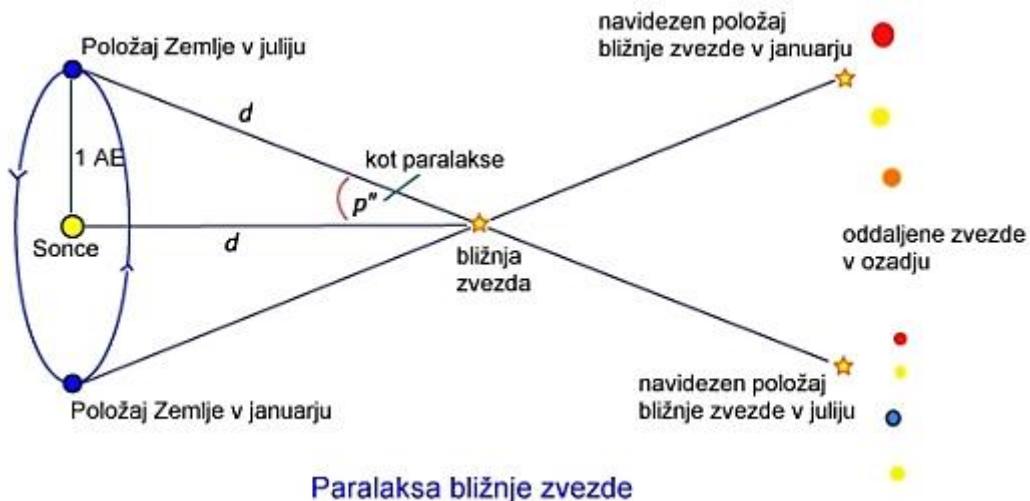
2.3. Merjenje razdalj v vesolju

Razdalje v astronomiji merimo na različne načine. V tej nalogi sva razdalje do razsute kopice merili s pomočjo paralakse, spremenljivih zvezd in HR-diagrama. V nadaljevanju bova podrobno predstavili vse tri metode.

2.3.1. Paralaksa

Paralaksa je razlika kotov v smeri opazovanega telesa iz dveh ločenih točk opazovanja. Uporablja se za ugotavljanje oddaljenosti zvezde od Zemlje (geocentrična paralaksa) ali pa od Sonca (heliocentrična paralaksa). Položaja opazovalca in položaj opazovanega predmeta tvorita trikotnik, kot prikazano na sliki 2. Če vemo, kako oddaljena sta položaja opazovalca in vemo smer predmeta iz vsake točke, lahko izmerimo oddaljenost nebesnega telesa. Bližje kot je telo, večji bo kot med prvim in drugim mestom telesa na nebu. Ta način merjenja razdalj se

uporablja predvsem za računanje oddaljenosti bližnjih zvezd oz. zvezd v naši galaksiji, saj je Zemljina orbita premajhna za računanje bolj oddaljenih teles [2].



Slika 2: Paralaksa (pridobljeno: <http://www.andros.si/vesolje/slovar.html>)

2.3.2. Spremenljive zvezde

Spremenljivke so zvezde, ki se jim spreminja sij. So orjakinje in svetijo tudi 1000-krat močneje kot naše Sonce. Glede na dolžine periode jih delimo na [3]:

- Ultrakratko periodične (manj kot en dan)
- Kratko periodične (1 – 25 dni)
- Srednje periodične (25 – 50 dni)
- Dolgo periodične (več kot 50 dni)

Glede na fizikalni mehanizem, ki povzroči spremembo sija, jih delimo na več različnih skupin, ki dobijo ime po vzorčni skupini. Tako poznamo:

- Ekstrinzične:
 - Prekrivalna ozvezdfa (tipa Algola)
 - Vrteče spremenljivke (BY Zmaja)
- Intrinzične:
 - Neperiodične:
 - Supernove
 - Nove
 - Bliščnice (zvezde UV Kita)

- Spremenljivke tipa T Bika (mlade zvezde pred fazo glavne veje)
- R Severne krone (oblaki ogljika zatemnijo zvezdo, dokler jih ne odpihne stran)
- Periodične:
 - Kefeide (poznamo več tipov)
 - Spremenljive zvezde tipa RR Lire (mehanizem tak kot pri kefeidah)
 - Spremenljive zvezde tipa Mire (rdeče orjakinje proti koncu življenjske dobe)

Kefeide

Kefeide so zvezde s periodičnim spremenjanjem izseva. Leta 1784 je Edward Pigott prvi zaznal spremenjanje sija zvezde Eta Orla. Ta zvezda je postala prva predstavnica razreda klasičnih kefeid. Nekaj mesecev kasneje pa je John Goodricke odkril spremenljivost delte Kefeja, ki je dala ime celotni skupini. Henrietta Swan Leavitt je leta 1908 odkrila zvezo med periodom spremenjanja sija in izsevom zvezde, leta 1912 pa to odkritje objavila skupaj z dodatnimi dokazi. Sedaj ločimo različne tipe kefeid, za vse velja prej omenjena zveza, umeritev pa je drugačna. Delimo jih na:

- Spremenljivke tipa delta Kefeja (klasične kefeide)
- Spremenljivke tipa W Device (kefeide tipa II)
- Spremenljivke tipa BL Herkula (kefeide tipa II)
- Spremenljivke tipa RV Bika (kefeide tipa II)
- Spremenljivke tipa Delta Ščita (pritlikave kefeide)

Kefeide so zelo uporabne kot standardne svetilke pri merjenju razdalji v vesolju. Z njimi lahko merimo medgalaktične razdalje ter razdalje znotraj naše galaksije.

Spremenljivke tipa Delta Ščita so zvezde, katerih masa ustreza od 1,0 do 2,5 sončnim masam in njihova perioda je v razponu od 0,03 do 0,3 dneva. Delimo jih lahko na dve podvrsti, tiste z manjšimi spremembami v magnitudi, pod 0,1 in tiste z večjimi spremembami, nad 0,1 magnitude. Prav te zvezde z večjimi spremembami se večinoma uporablja za merjenje razdalj, saj imajo natančno definirano razmerje med obdobjem in svetilnostjo. [3]

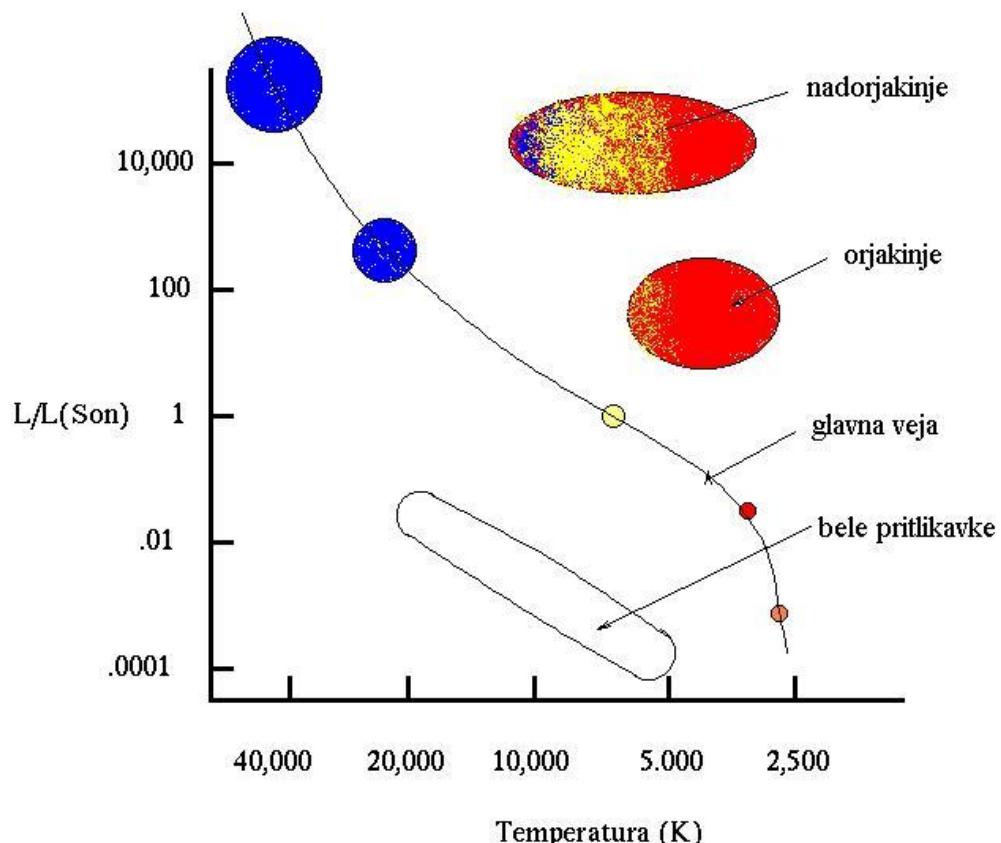
2.3.3. HR-diagram

Hertzsprung-Russelov diagram ali HR-diagram se uporablja za predstavitev raznolikosti zvezdnih vrst in razumevanje medsebojnih odnosov med različnimi skupinami zvezd. Graf predstavlja svetlost zvezde v primerjavi s spektralnim tipom ali temperaturo zvezdne površine (glej slika 3). Različne oblike obstajajo zaradi različnih metod preučevanja zvezd.

Spektralni tip	Temperatura v Kelvin	Barva	Kemijska sestava (spekter)
O	50000	modra	ioniziran helij, helij (δ Ori-Mintaka)
B	25000	modro bela	ioniziran helij, helij, ioniziran kisik (Spika, Rigel)
A	20000	bela	vodik (Sirij, Vega)
F	14600	belo rumena	nekaj vodiča, ioniziran kalcij (Prokijon)
G	6000	rumena	kovine (železo), ioniziran kalcij (Sonce, Kapela)
K	5100	oranžna	nevtralne kovine, molekule (Arktur, Aldebaran)
M	3600	rdeča	izrazit titanov oksid, nekaj kalcija, molekule (Antares, Betelgeza)

Slika 3 Povezava med spektralnim tipom zvezd, njihovo temperaturo ter bravo (pridobljeno: <http://www2.arnes.si/~gljsentvid10/hrtex.html>)

HR-diagram na splošno deli zvezde v štiri različne skupine: nadorjakinje, orjakinje, zvezde glavne veje ter bele pritlikavke, kot prikazano na sliki 4.



Slika 4: HR-diagram (pridobljeno: <http://www2.arnes.si/~gljsentvid10/hrtex.html>)

Zvezde glavne veje:

Glavna veja obsega zvezde vseh spektralnih tipov, od hladnejših (tip M) do najbolj vročih (tip O) in poteka od zgornjega levega kota do spodnjega desnega kota. To pove, da imajo vse te zvezde nekaj skupnega. Na podlagi Sonca in nekaterih drugih zvezd so ugotovili, da jih povezuje pretvorba vodika v helij. Ta pretvorba se namreč dogaja znotraj vseh zvezd na glavni veji.

Orjakinje:

Na glavni veji najdemo zvezde, ki spadajo pod spektralni tip G. Pod tem spektrom pa najdemo tudi zelo svetlejše zvezde. To so orjakinje. Te zvezde so hladnejše in bolj rdeče kot ostale.

Nadorjakinje:

Zvezde, katerih velikost lahko primerjamo z 310-kratno velikostjo Sonca, njihov spekter pa ostane znotraj G, imenujemo nadorjakinje.

Bele pritlikavke:

To so zvezde, ki so zelo majhne, a zelo goste. Zaradi njihove velikosti in barve, te zvezde proizvedejo več modre barve kot rdeče, jih vidimo kot bele zvezde ter posledično imenujemo bele pritlikavke.

Z meritvijo spektralnega tipa zvezde lahko prek HR-diagrama določimo njen izsev – absolutno magnitudo. S primerjavo absolutne magnitude in dejanske svetlosti (navidezne magnitude) zvezde lahko sklepamo njeno oddaljenost. Za pravilno umeritev HR-diagrama moramo poznati odvisnost med absolutno magnitudo in spektralnim tipom za nekaj referenčnih zvezd. Absolutno magnitudo lahko izmerimo le bližnjim zvezdam, katerim lahko določimo paralakso, saj se lahko njihova navidezna magnituda glede na razdaljo pretvori v absolutno magnitudo. Za raziskovanje bolj oddaljenih zvezd, ki lahko niso tako svetle, moramo uporabiti kopico ali megleco zvezd. Tam namreč najdemo več zvezd, od močnejših do šibkejših, ki se nam razporedijo po glavni veji. Tiste zvezde, ki so bolj skupaj, imajo enako absolutno magnitudo. Tako njihovo absolutno magnitudo primerjamo z navidezno magnitudo in pridemo do razdalje do kopice. Z znano razdaljo pa se lahko izračuna tudi absolutne magnitude drugih zvezd na tem diagramu. To pove, da HR-diagram ni le uporaben za prikaz zvezd, ampak lahko z njim tudi pridobimo informacije o drugih zvezdah [4].

2.4. Magnitude

Magnituda predstavlja svetlost zvezde ali drugega nebesnega telesa. Manjša, kot je magnituda, svetlejši objekt predstavlja. Na začetku so zvezde delili v šest razredov glede na magnitudo, leta 1850 pa je Norman Robert Pogson predlagal nov sistem za merjenje magnitud. Ena magnituda naj bi predstavljala 2,512-kratno svetlost (pet magnitud predstavlja 100-kratno svetlost). To pomeni, da je zvezda z magnitudo 4, 2,512-krat svetlejša kot tista z magnitudo 5. Danes v astronomiji uporabljammo absolutno in navidezno magnitudo.

Navidezna magnituda (m) predstavlja navidezni sij opazovane zvezde. Definirana je kot razmerje med gostoto svetlobnega toka z zvezde j in gostoto svetlobnega toka j_0 referenčne zvezde. Tako lahko magnitudo zvezde izmerimo tako, da primerjamo navidezno magnitudo s prej izmerjenimi magnitudami referenčnih zvezd. Navidezno magnitudo podamo kot:

$$m = m_0 - 2,5 \log j/j_0,$$

kjer m_0 predstavlja navidezno magnitudo referenčne zvezde.

Absolutna magnituda (M) predstavlja svetlost zvezde, opazovane z oddaljenosti 10 parsekov. S pomočjo absolutne magnitude lahko med seboj primerjamo zvezde, česar pri navidezni magnitudi ne moremo, saj ne vemo razlike med tem, kar vidimo, in pravo svetlostjo zvezde.

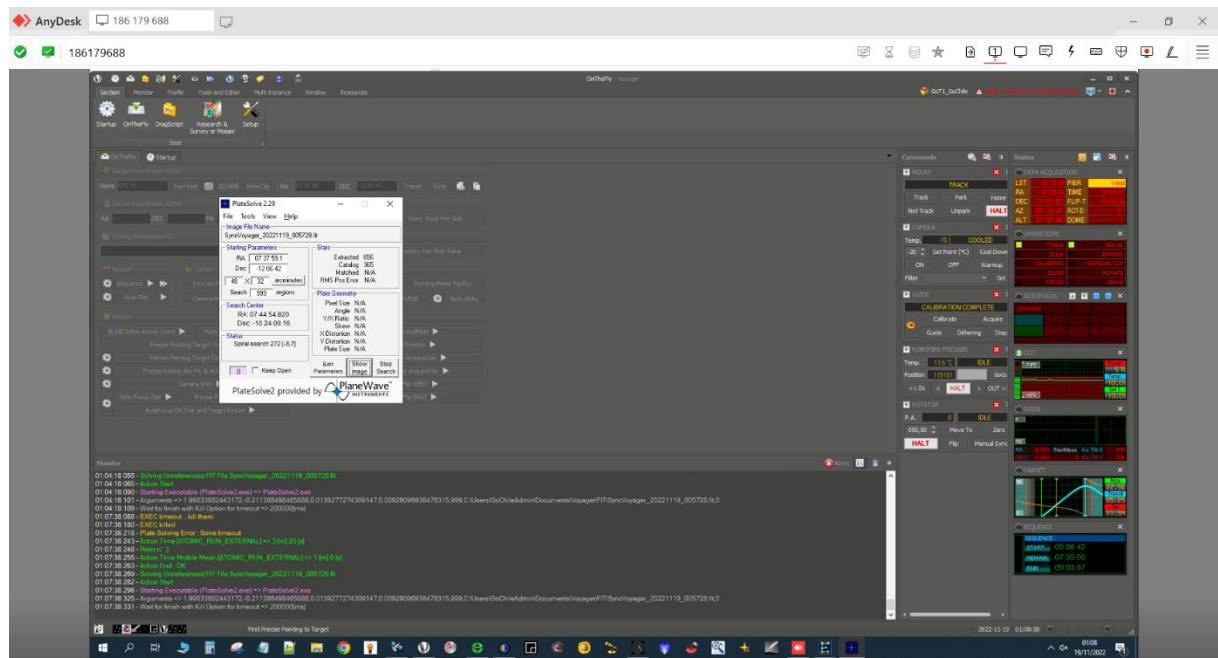
Povezava med absolutno in navidezno magnitudo, kjer M predstavlja absolutno magnitudo, m navidezno magnitudo in d razdaljo v parsekih:

$$M = m - 5 \times \log 10(d) + 5$$

3. Eksperimentalni del

3.1. Opazovanje

Opazovanje je bilo izvedeno s 400 milimetrskim zrcalnim teleskopom GoT1, namenjenim za opazovanje temnejših objektov ter raziskovanju meglic, galaksij in zvezd. Teleskop se nahaja v Čilu na observatoriju El Sauce na koordinatah 30.4725 S, 70.7631 W in nadmorski višini 1560 metrov. Postavljen je bil v okviru izobraževalnega, nekomercialnega projekta GoChile[14], pod vodstvom Univerze v Novi Gorici in astronomske revije Spika. Teleskop se upravlja na daljavo preko računalnika Vega, opazovanje pa se izvaja s pomočjo programa Voyager, ki je prikazan na sliki 5.



Slika 5: Program Voyager med opazovanjem

Pred opazovanjem sva si na spletni strani *Object Visibility* [5] ogledali, kdaj je objekt viden na nebu. Razsuta kopica Melotte 71 se nahaja v smeri ozvezdja Krma na koordinatah $\alpha = 07^{\circ}37'31''$ in $\delta = -12^{\circ}03'54''$. Najina naloga je sestavljena iz dveh delov, za kar sva morali izvesti dve ločeni opazovanji. Za izris HR-diagrama sva kopico opazovali v širokopasovnih filtrih LRGB. V vsakem filtru sva posneli 25 fotografij s posamezno osvetlitvijo 30 s. Opazovanje sva izvedli 23. 11. 2022 med 3:30 in 7:30 po srednjeevropskem času. Za študij zvezd tipa Delta Ščita sva isto polje opazovali 18. 12. 2022 med 3:30 in 9:00 uro. Tokrat sva opazovali zgolj v filtru G. Naredili sva 250 fotografij s posamezno osvetlitvijo 60 s.

Po koncu vsakega opazovanja sva posneli še kalibracijske posnetke (t.i. *dark*, *bias* in *flat* posnetke).

Fotografije temnega polja ali dark posnetke se posname zaradi kamere, ki je občutljiva na prehajanje atomov v vzbujeno stanje. Tako je potrebno posneti fotografije temnega polja, z enako ekspozicijo kot posnete slike ter v filtru, ki ne prenaša nobene svetlobe.

Fotografije pristranskega polja ali bias posnetke se uporabi se odstranitev šuma, ki se zgodi zaradi električnega toka, ki teče skozi senzor za snemanje fotografij.

Fotografije ravnega polja ali flat posnetki pa so potrebni za odstranitev šuma, ki nastane zaradi prahu in umazanje na kameri. Ti posnetki pa morajo biti narejeni, ko je bilo nebo enakomerno osvetljeno, torej zjutraj ali zvečer.

Vse posnete slike sva kalibrirali s pomočjo programa AstroPixelProcessor, da sva odpravili šum na posnetih slikah, nato pa sva jih prenesli na svoj računalnik za nadaljnjo obdelavo.

3.2. Fotometrija zvezd kopice

Za fotometrijo kopice sva najprej pregledali vse slike in najboljše izmed njih v programu DeepSkyStacker zložili skupaj, tako da sva dobili eno sliko z dolgo osvetlitvijo za vsak filter LRGB. Te slike sva na koncu uporabili tudi za končno fotografijo, prikazano spodaj, na sliki 6. S programom ASTAP sva vsaki sliki poiskali astrometrično rešitev, ki zvezde na sliki poveže z znanimi vnosi zvezd v zvezdnih katalogih. Slike so bile nato pripravljene za naslednji korak: merjenje navideznega sija zvezd.



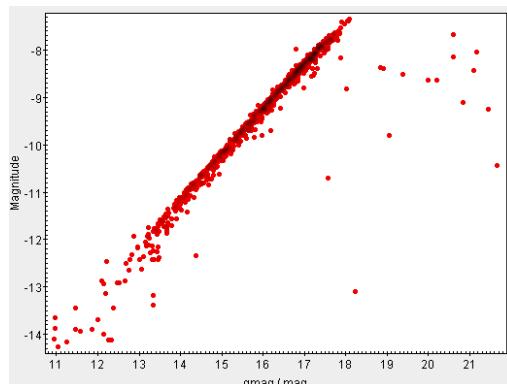
Slika 6: Slika razsute kopice Melotte 71

Slike z astrometrično rešitvijo sva odprli v programu Aperture Photometry Tool oz. APT. Nastavili sva velikost okrogle aperture za merjenje signala zvezd. Ker je na polju veliko zvezd, ozadja nisva merili s posameznimi aperturami, ampak sva izmerili povprečno vrednost signala

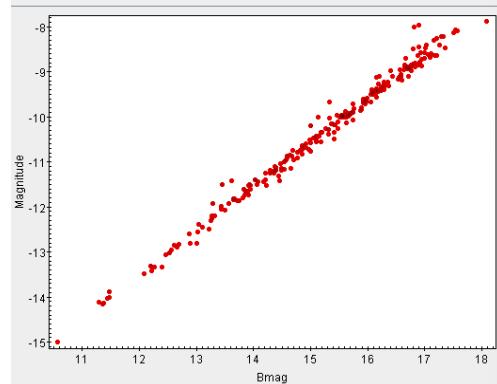
ozadja in predpostavili, da se ta na polju ne spreminja. Da bi program pravilno izračunal napake, sva mu morali podati še vrednost pretvorbe med elektroni in izpisanim signalom (t.i. gain, vrednost je 0.247).

Navidezni sij sva želeli izmeriti vsem zvezdam. Z APT-jem sva najprej poiskali vse zvezde na sliki, kjer je program za sliko v filtru B našel 3400 zvezd, v filtru G pa 3817 zvezd, nato pa sva avtomatično vsem zvezdam izmerili instrumentalno magnitudo in njeno napako. Končni rezultat je bila tabela vseh zvezd, njihovih položajev in instrumentalnih magnitud. Postopek sva ponovili za vsak filter posebej.

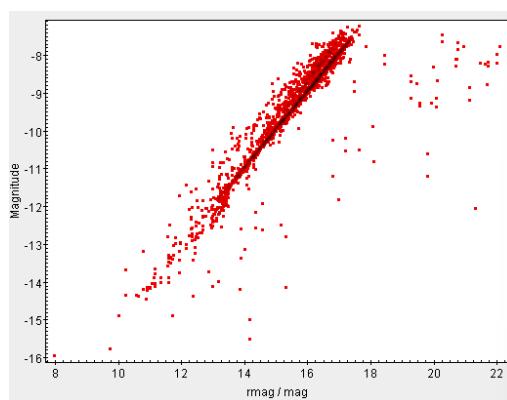
V naslednjem koraku sva morali poiskati zero point (ZP), da sva pretvorili instrumentalne magnitude v navidezne. Najino tabelo zvezd sva primerjali z zvezdnim katalogom, ki vsebuje informacije o magnitudah zvezd na sliki. To sva naredili s programom TopCat. Meritve zvezd slike, posnete s filtrom B, sva primerjali s katalogom APASS DR9 [6], tiste v G in R filtru pa s katalogom PanSTARRS – DR1 [7]. Program primerja položaje zvezd iz naše tabele in tistih v katalogih in jih poveže. Rezultat je nova tabela z združenimi informacijami. Za vsak filter sva narisali graf, kjer sva na os x vnesli vrednosti magnitud iz kataloga, na os y pa vrednosti svojih izmerjenih instrumentalnih magnitud (Sliki 7-9).



Slika 7: Njen izračun mag G v odvisnosti od mag G iz kataloga



Slika 8: Njen izračun mag B v odvisnosti od mag B iz kataloga



Slika 9: Njen izračun mag R v odvisnosti od mag R iz kataloga

Linearna vrednost med zvezdami pomeni, da lahko z eno samo vrednostjo pretvoriva med obema vrednostma. To je željeni ZP. Za izračun ZP sva v tabeli naredili nov stolpec podatkov, kjer sva izračunali razliko med magnitudo zvezd v spletnem katalogu in njenem. Srednja vrednost razlik magnitud je ZP njenine slike. Vrednosti vse tri filtre sta:

ZP(B): 25,56

ZP(G): 25,32

ZP(R): 25,07

Instrumentalnim magnitudam sva prišteli izmerjene ZP in dobili navidezne magnitude.

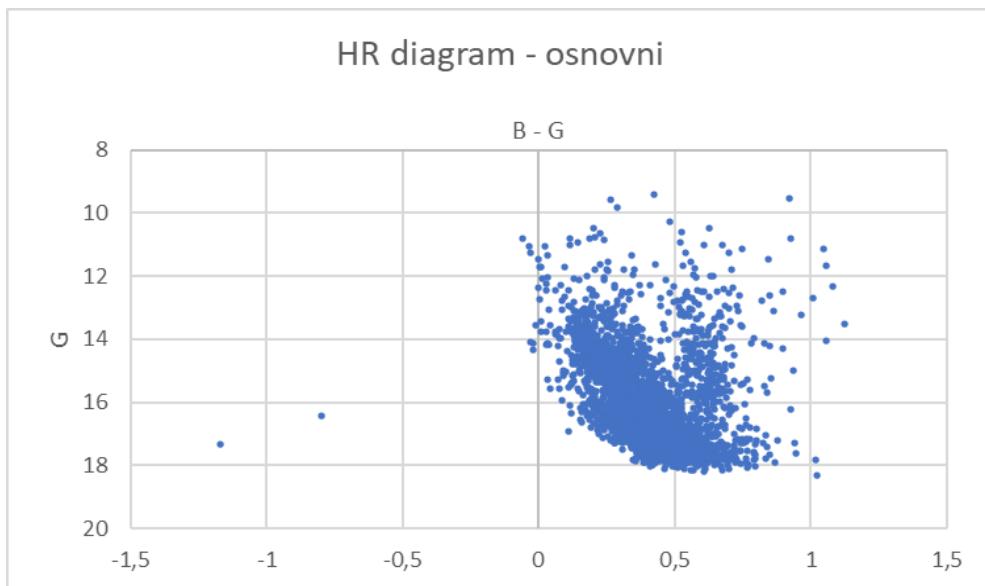
Upoštevati sva morali še en popravek. Zaradi medvezdnega prahu med nami in kopico se del svetlobe zvezd izgubi. Temu pravimo ekstinkcija. Poiskali sva meritve ekstinkcije za najino smer neba [8]. Vrednosti ekstinkcije (v enotah magnitude) v filtrih B, G in R so:

A_B: 0,44

A_G: 0,40

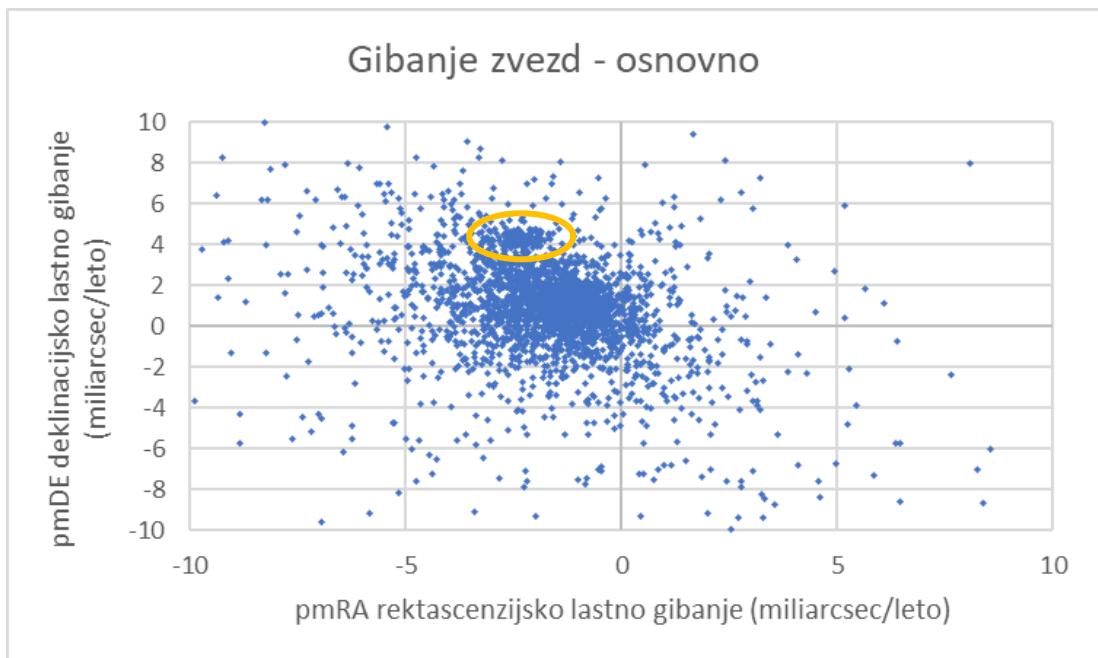
A_R: 0,28

Ekstinkcijo sva odšteli od navideznih magnitud. Sedaj sva lahko narisali HR-diagram. Na sliki 10 je HR-diagram v G filtru za vseh 3214 zvezd v tabeli. Na osi x je nanešena razlika B in G magnitud, na osi y pa magnituda G. Takoj opazimo, da na diagramu ni vidne izrazite glavne veje. Razlog je v tem, da so v najini tabeli zvezde, ki so del kopice, in zvezde, ki v kopico ne spadajo. Najina naslednja naloga je bila, da med vsemi zvezdami poiščeva le zvezde kopice. Pomagali sva si s katalogom satelita Gaia [9]. Ta katalog vsebuje natančne položaje, paralakse in hitrosti gibanja okoli dveh milijard zvezd, med njimi tudi zvezd kopice Melotte 71.



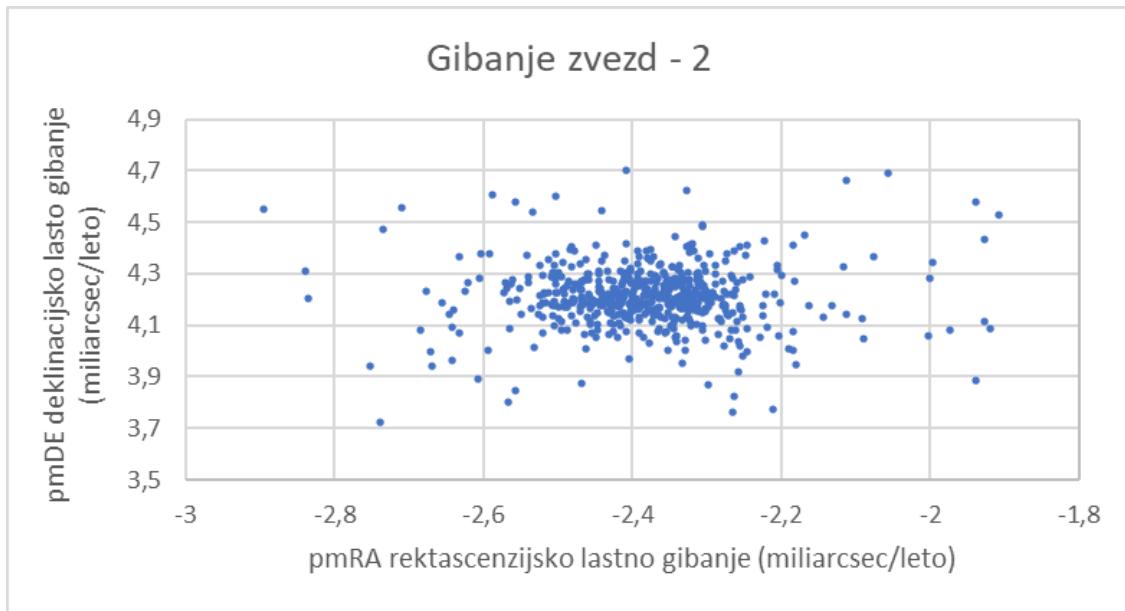
Slika 10: HR-diagram z vsemi zvezdami na sliki

V prvem koraku izločanja zvezd, ki ne spadajo v najino kopico, sva v programu Excel odprli dokument z vrednostmi najine tabele in podatki satelita Gaia ter naredili graf, kjer sva primerjali lastno gibanje zvezd (slika 11). Vrednosti so podane v enotah mili kotne sekunde na leto.

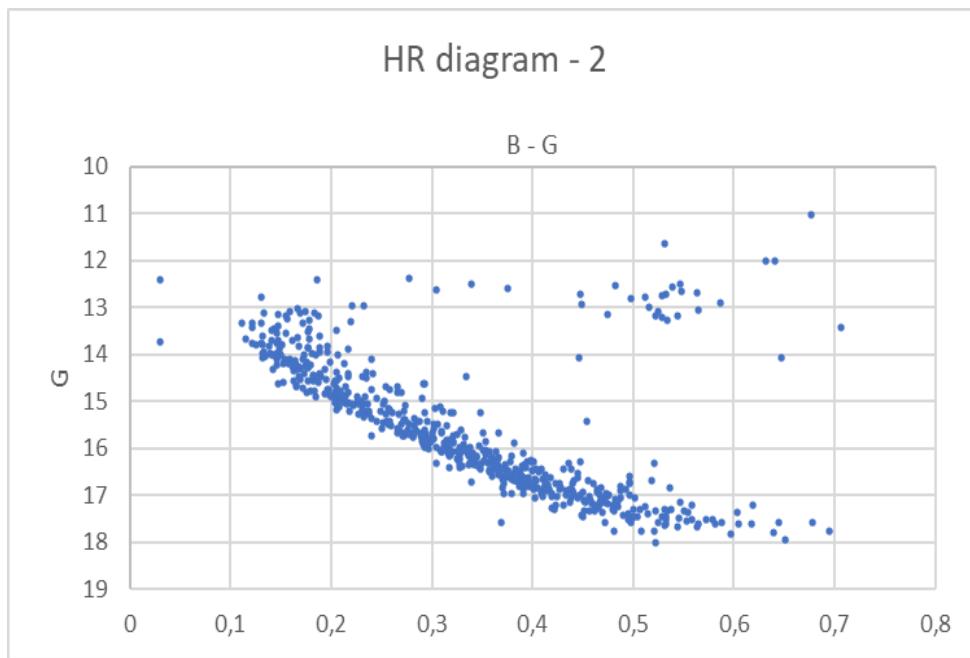


Slika 11: Približan graf gibanja zvezd na sliki

V manjši točki na tem grafu je bila vidna zgostitev zvezd. To nam pa je povedalo, da je na tistem delu več zvezd skupaj in nakazalo, da se tam nahajajo zvezde najine meglice. Tako sva vrednost omejili $-2,9 < \text{pmRA} < -1,9$ ter $3,7 < \text{pmDE} < 4,7$ (slika 12). Potem sva narisali nov HR-diagram s 598 zvezdami v tem odseku (slika 13).

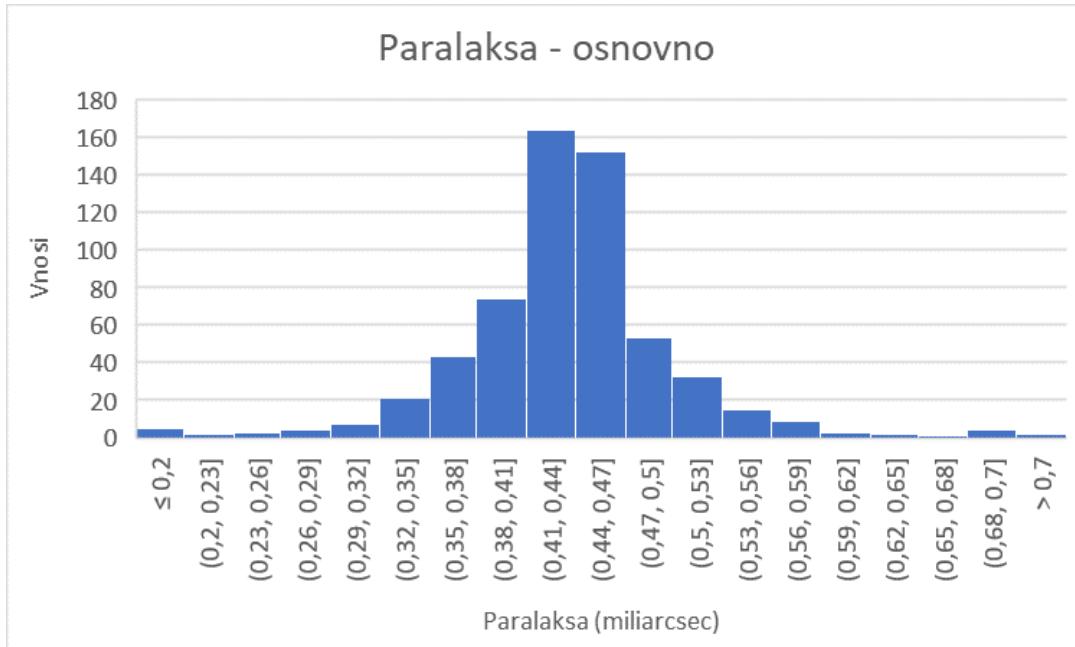


Slika 12: Gibanje zvezd po tem, ko sva jih omejili na manjši odsek



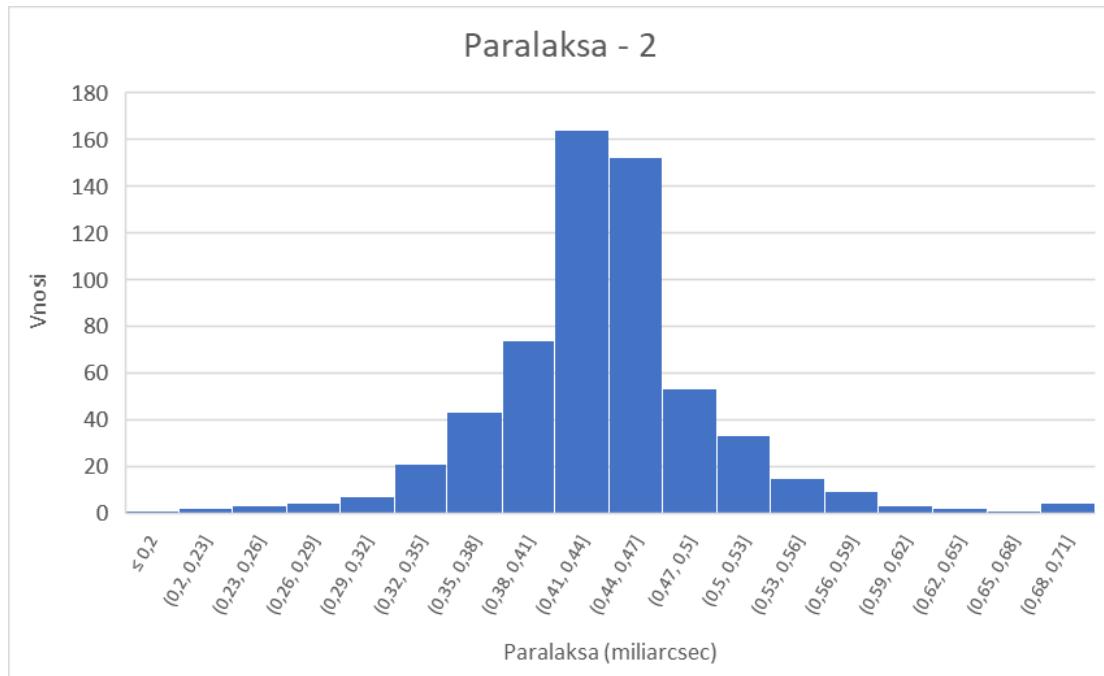
Slika 13: HR-diagram po prvem izločanju

Diagram že izgleda bolje. Temu je sledila izločitev zvezd s pomočjo paralakse, saj sva na grafu za gibanje zvezd opazovali le gibanje v RA- in DE-smereh, torej gibanje v ravnini. Še vedno bi se na grafu lahko nahajale zvezde, ki se sicer gibljejo s podobnimi hitrostmi po nebu, a so na povsem drugi razdalji kot kopica. Z zvezdami, ki so ostale po prvem izločanju, sva narisali histogram paralaks (slika 14) ter izračunali srednjo vrednost in standardno deviacijo.



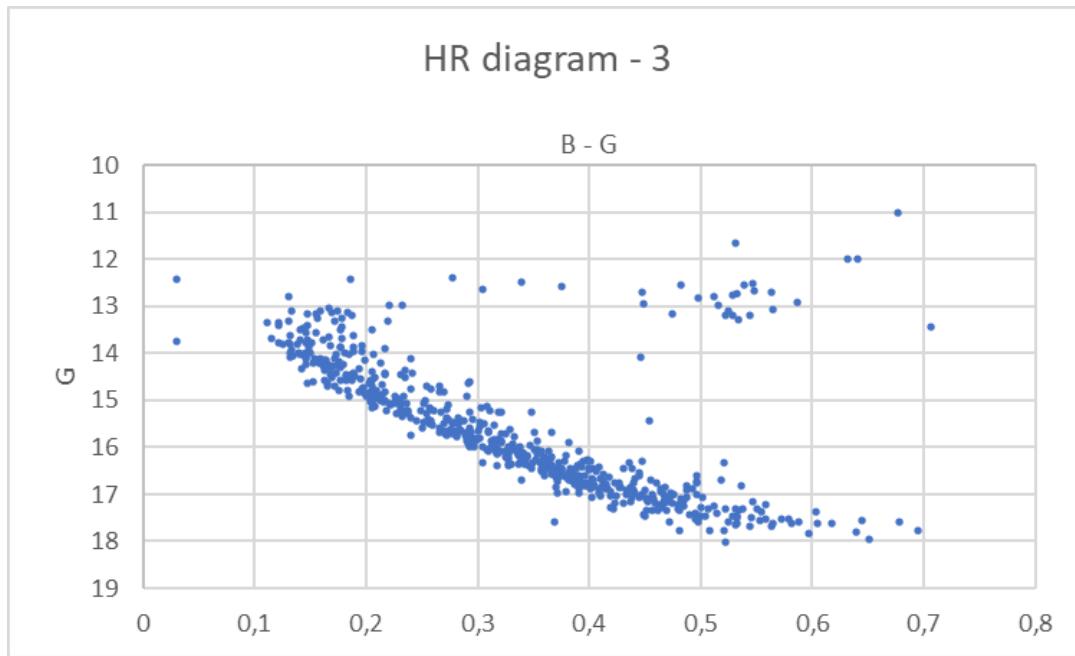
Slika 14: Paralaksa še neizločenih zvezd

Za srednjo vrednost sva dobili podatek 0,43, standardno deviacijo pa 0,12. Zvezde, ki so od srednje vrednosti odstopale za več kot trikratno vrednost standardne deviacije, sva izločili (slika 15).



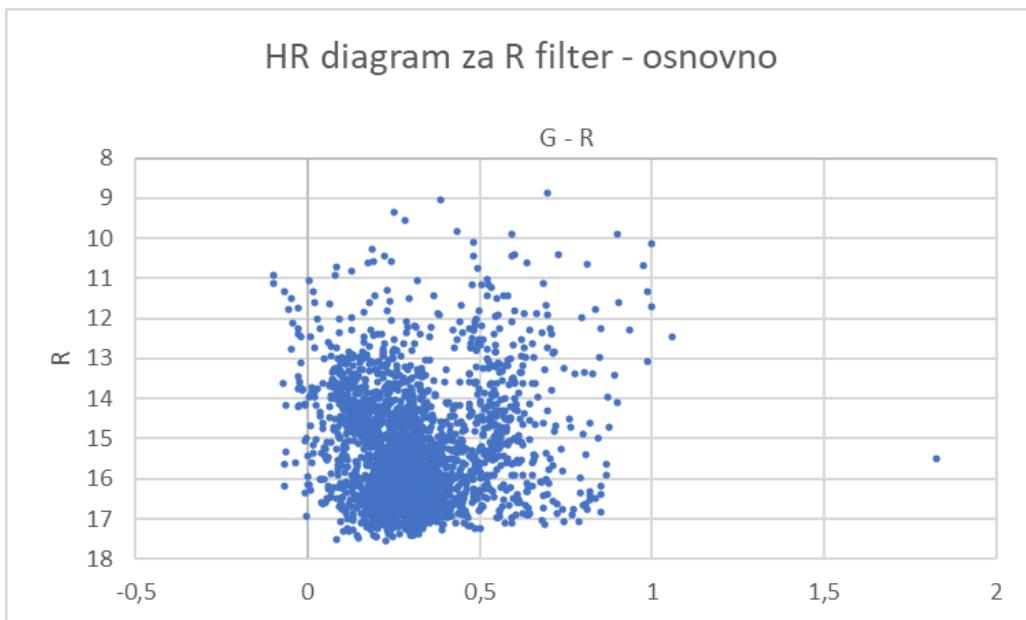
Slika 15: Zvezde v omejenem območju

Končni HR-diagram nama je prikazoval vrednosti v najinem obsegu gibanja zvezd ter paralaksi in je vseboval 395 zvezd (slika 16).



Slika 16: HR-diagram po koncu izločanja

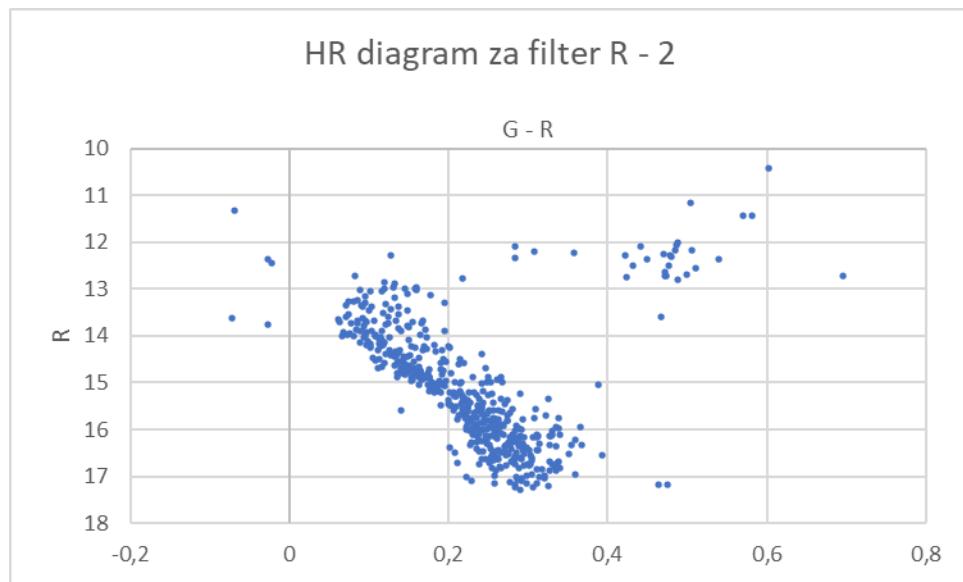
Nato sva enako ponovili za HR-diagram, kjer pa je bilo na x osi prikazana razlika R in G magnitud, na y osi pa R magnituda. Tako sva kot osnovni graf dobili HR-diagram prikazan na sliki 17.



Slika 17: HR-diagram vseh zvezd v R filtru

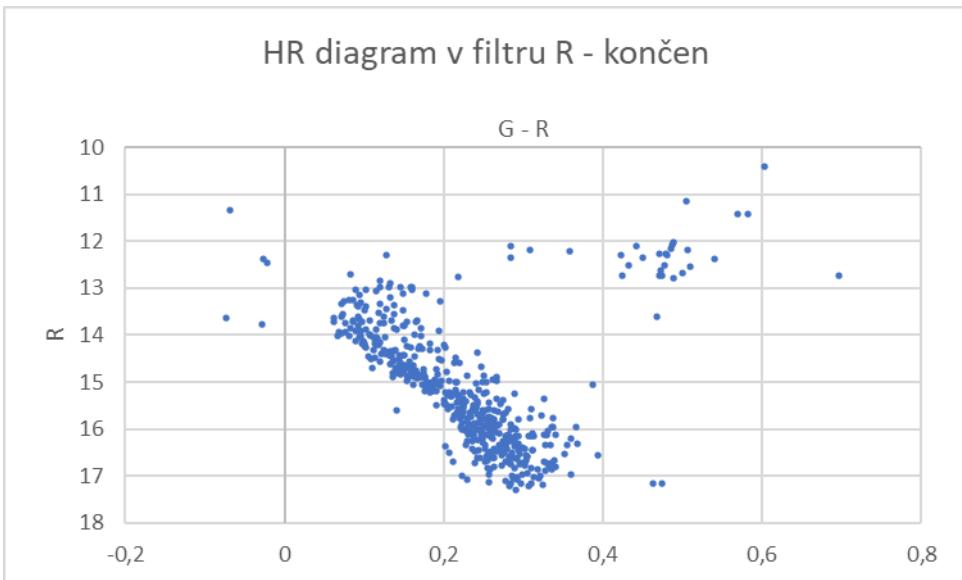
Ko sva si naredili graf gibanja zvezd za te zvezde, sva opazili, da je bil skoraj enak prejšnjemu, kar je seveda logično, saj opazujemo isti del neba, le z drugim filtrom.

Potem sva morali izločiti vse zvezde, ki niso spadale v njen del neba in dobili nov HR-diagram (slika 18).



Slika 18: HR-diagram zvezd v R filtru, po prvem izločjanju

Nato sva ponovili tudi izločanje s pomočjo paralakse. Njen končni HR-diagram (slika 19) pa lahko vidite spodaj.



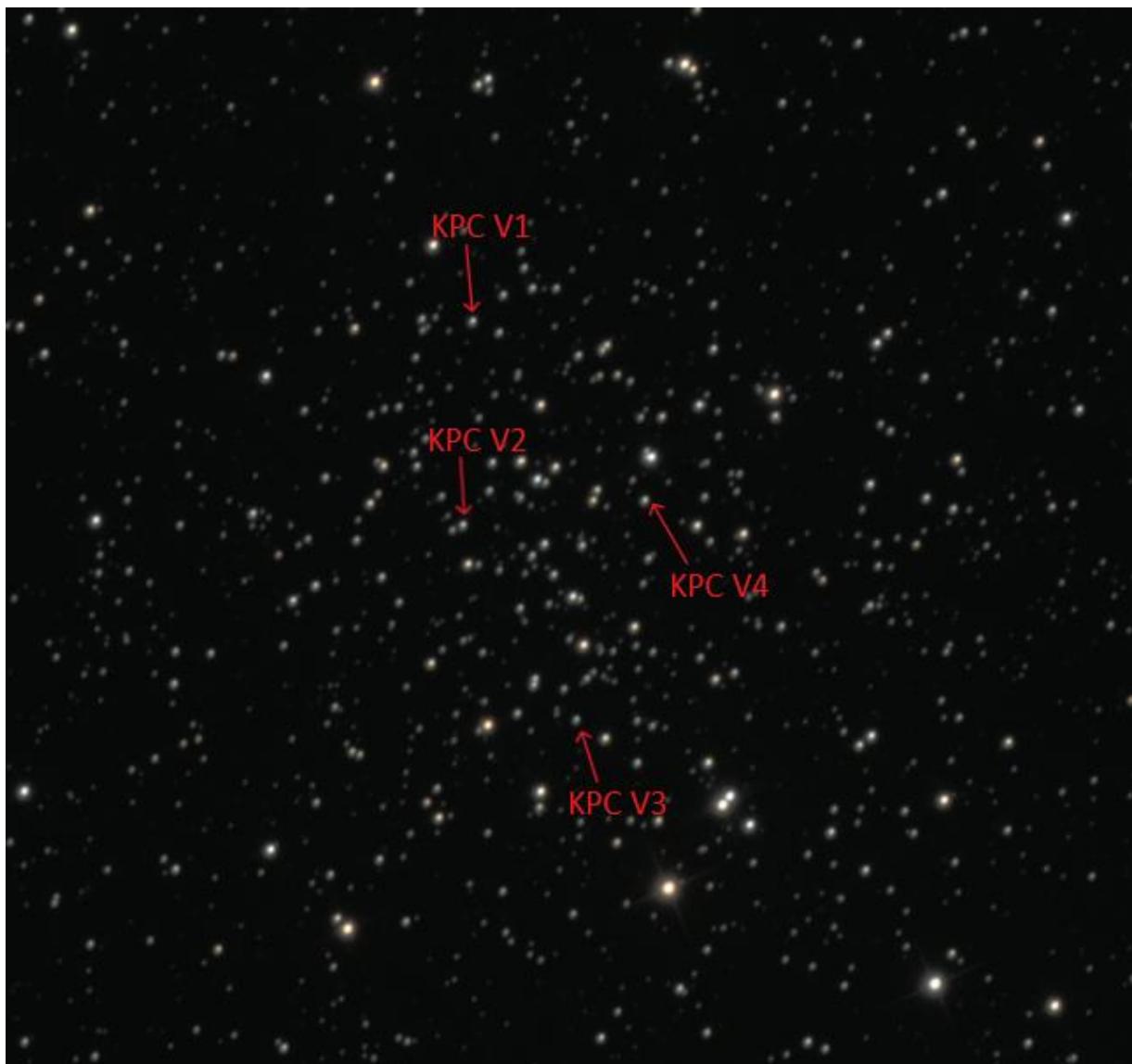
Slika 19: Končni HR diagram zvezd v R filtru

3.3. Fotometrija zvezd tipa Delta Ščita

Eden izmed načinov, ki sva jih izbrali za merjenje razdalje do kopic, je bil tudi prek opazovanja zvezd tipa Delta Ščita. Melotte 71 vsebuje vsaj štiri zvezde tega tipa [10], poimenovane KPC V1, KPC V2, KPC V3 in KPC V4. Najina naloga je bila, da izmeriva periodo spremenjanja navideznega sija vseh štirih zvezd, kar nama bo pomagalo pri meritvi razdalje.

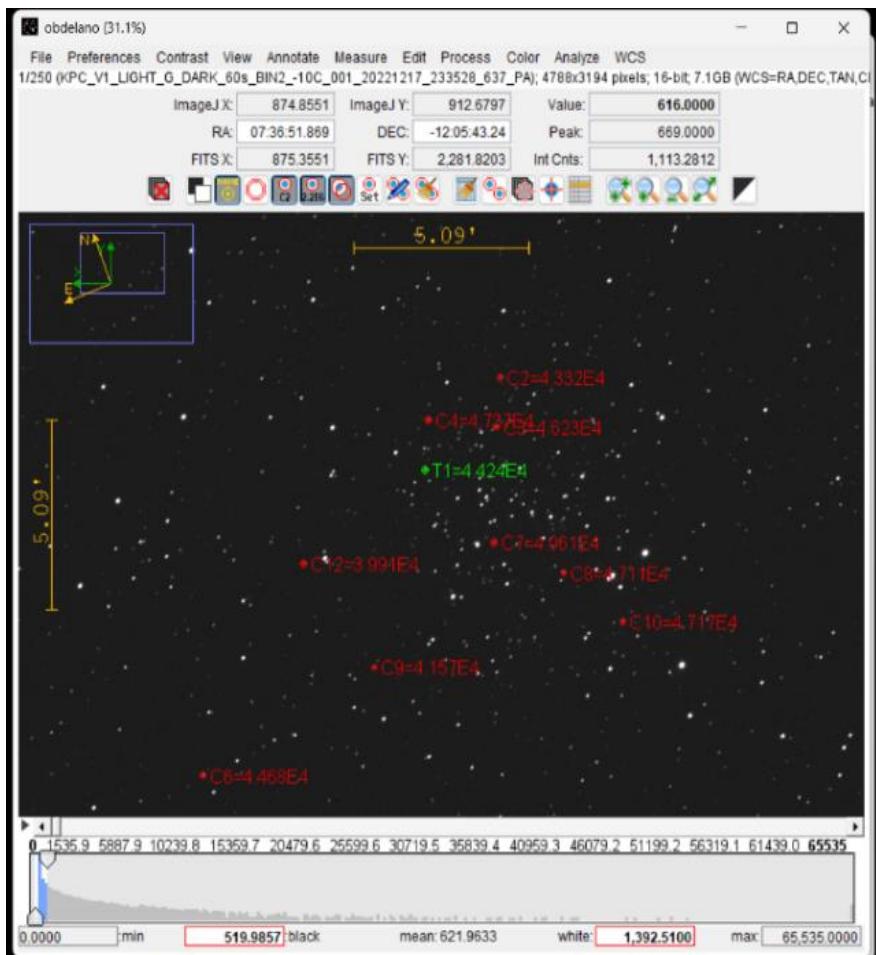
Opazovanje sva opravili v filtru G, ker je najbolj podoben klasičnem filtru V, s katerim so običajno narejena opazovanja. Relacija med periodom in izsevom za zvezde Delta Ščita, ki jo bomo uporabili za merjenje razdalje, je prav tako merjena za klasičen V filter.

Kalibriranim slikam sva najprej poiskali astrometrične rešitve s programom ASTAP. Fotometrijo oziroma meritev navideznega sija sva naredili v programu AstrolImageJ [11]. Vse slike sva naložili v program. Na prvi sliki sva poiskali zvezde KPC V1, KPC V2, KPC V3 in KPC V4, prikazane na sliki 20.



Slika 20: Spremenljive zvezde V1, V2, V3 in V4

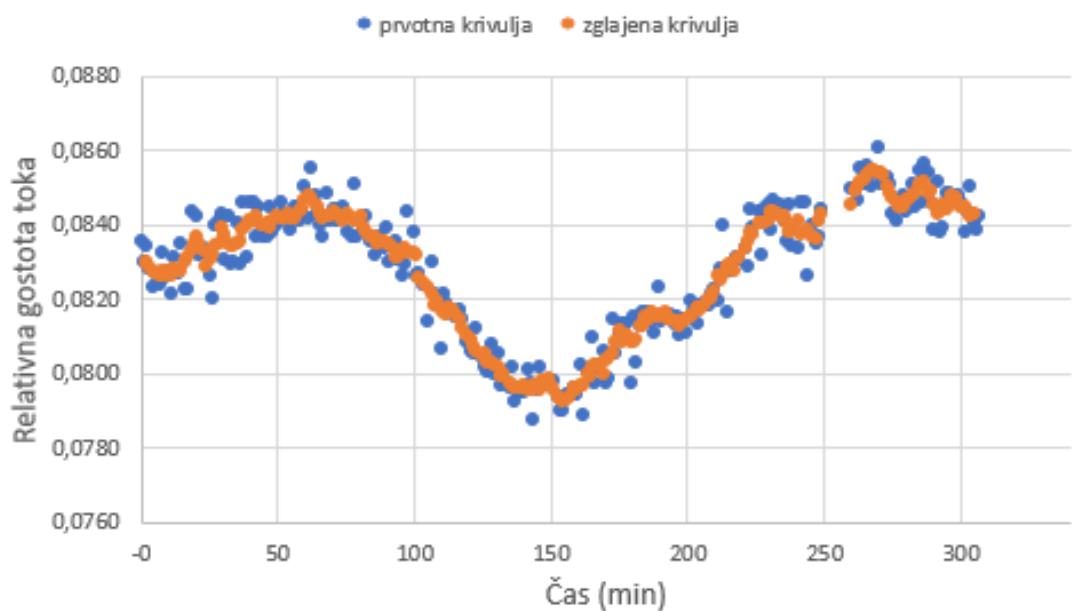
Izbrali sva še nekaj drugih zvezd v polju, ki so služile kot primerjalne zvezde. Program (prikazan na sliki 21) je na vseh slikah avtomatično izmeril navidezni sij zvezd Delta Ščita relativno na primerjalne zvezde. Postopek sva ponovili za vsako zvezdo posebej.



Slika 21: AstroimageJ

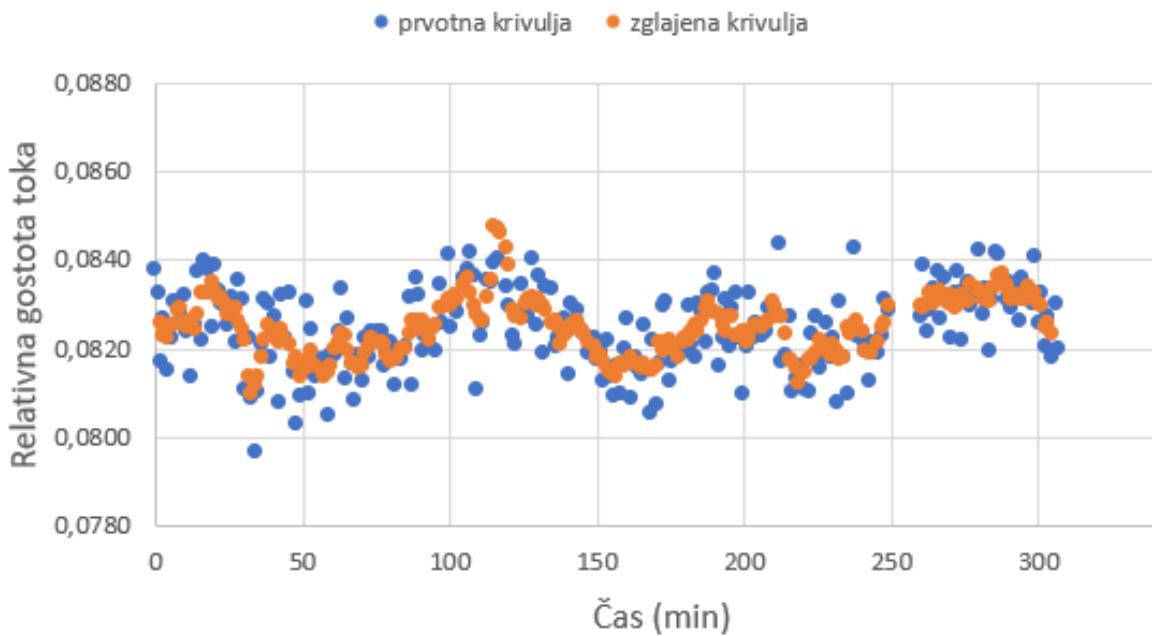
Dobili sva štiri svetlobne krivulje. S pomočjo svetlobnih krivulj je bilo možno določiti, pri katerih zvezdah je viden periodičen signal in posledično, katere zvezde lahko uporabiva za nadaljevanje raziskave. Za primerne so se izkazale svetlobne krivulje zvezd KPC V1, KPC V3 in KPC V4 (prikazane na slikah od 22 do 24), medtem ko pri KPC V2 sva opazili spremenjanje sija, a nisva mogli z gotovostjo ugotoviti, ali je signal periodičen (perioda je verjetno daljša od časa opazovanja).

Svetlobna krivulja V1



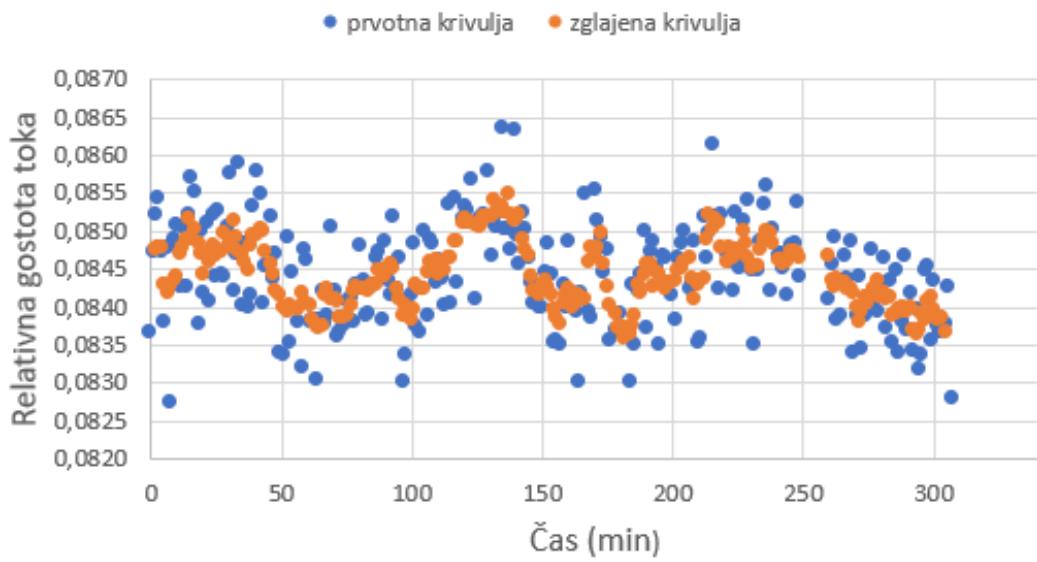
Slika 22: Svetlobna krivulja V1

Svetlobna krivulja V3



Slika 23: Svetlobna krivulja V3

Svetlobna krivulja V4



Slika 24: Svetlobna krivulja V4

V tabelah sta naju za vsako zvezdo zanimala predvsem čas in relativni navidezni sij oziroma relativna gostota toka, ki je merjena glede na primerjalne zvezde. Da bi lažje izmerili periodo, sva najprej zgradili krivulje z uporabo gibajočega povprečja treh točk, kar sva naredili v za to pripravljenem programu.

Graf sva naredili zato, da sva iz njega lahko odčitali točke za izračun periode. Točke sva odčitali iz dveh vrhov v grafu in periodo izračunali kot razliko abscis točk.

Po izmerjenih periodah sva ocenili še napako meritve položaja vrha tako, da sva izračunali povprečno vrednost časa in od tega odšteli vrednost časa za našo izbrano točko na prvem vrhu in nato še na drugem vrhu. Tako sva dobili odstopanje od povprečne vrednosti na obeh vrhovih. Nato sva korenili vsoto kvadratov dobljenih napak vrhov in na ta način izračunali končno napako merjenja.

IME ZVEZDE	PERIODA	NAPAKA
KPC V1	3,43h	0,168h =10min
KPC V3	1,7h	0,168h =10min
KPC V4	1,7h	0,54h =32min

Tabela 1: Vrednosti period in njihovih napak

4. Rezultati in razprava

Sedaj sva lahko izmerili razdalje do kopice na tri načine: prek HR-diagrama, paralaks zvezd, ki jih je izmeril satelit Gaia, in s pomočjo zvezd Delta Ščita.

4.1. Razdalja iz HR-diagrama

Tako sva imeli HR-diagram z zvezdami v svoji kopici, s katerim sva računali po enačbi:

$$M = m - 5 \times \log_{10}(d) + 5,$$

kjer M predstavlja absolutno magnitudo, m predstavlja navidezno magnitudo (v našem primeru magnitudo G) in d predstavlja razdaljo v parsekih. Na HR-diagramu sva poiskali referenčno točko, za katero poznavata barvo in absolutno magnitudo. Za referenco sva si vzeli Sonce, ki ima izmerjene absolutne magnitude [12]:

$$M_B = 5,44$$

$$M_V = 4,81$$

Barva Sonca je torej $B - V = 0,63$. Filter V je podoben našemu filtru G, zato sva privzeli, da sta kar enaka.

Na najinem diagramu sva poiskali zvezde znotraj intervala $0,58 < B - V < 0,68$ (vzeli sva samo zvezde, ki ležijo na glavni veji) ter pogledali njihove navidezne magnitude. V tem intervalu sva dobili 15 zvezd, s katerimi sva zatem izračunali razdaljo za vsako posebej in kot rezultat dobili povprečje vseh teh razdalji, kar je bilo:

$$3709 \text{ parsekov.}$$

Napako sva izračunali kot standardno deviacijo izračunanih razdalj od te vrednosti, kar je 277 pc. Končni rezultat je tako $3700 \text{ pc} \pm 300 \text{ pc}$.

Izmerjena absolutna magnituda za Sonce v R filtru pa je:

$$M_R = 4,43$$

Tako sva si vzeli zvezde znotraj intervala $0,33 < G - R < 0,42$ ter dobili 21 zvezd na glavni veji. Rezultat kot povprečje vseh teh razdalj je znašal:

$$2602 \text{ parsekov.}$$

Napaka pa je znašala 664 parsekov. Tako je bil najin končni rezultat $2602 \text{ pc} \pm 359 \text{ pc}$.

4.2. Razdalja iz paralakse

Razdaljo s pomočjo paralakse pa sva izračunali kot:

$$d \text{ [pc]} = 1/p \text{ [arcsec]},$$

kjer d predstavlja razdaljo v parsekih, p pa paralakso v arcsec. Upoštevali sva, da so vrednosti paralakse v katalogu podane v mili kotnih sekundah. Kot p sva vzeli srednjo vrednost histograma in dobili rezultat:

2341 parsekov.

Tukaj sva tudi napako računali s pomočjo standardne deviacije in dobili rezultat 420. končni rezultat je tako $2300 \text{ pc} \pm 420\text{pc}$.

4.3. Razdalja s pomočjo zvezd Delta Ščita

Najprej sva morali izračunati navidezne magnitude, ki sva jih dobili iz instrumentalnih magnitud tako, da sva jim prišteli ZP zelenega filtra $ZP(G) = 25,32 \text{ mag}$. Nato sva od njih morali odšteti še ekstinkcijo (0.4 mag v filtru G) in tako sva dobili navidezne magnitude. Potrebovali sva še absolutne magnitude, ki sva jih dobili prek enačbe [13], ki opisuje povezavo med periodo P in izsevom periodičnih zvezd:

$$M = -2.94 \log P - 1.34$$

IME ZVEZDE	INSTRUMENTALNA MAGNITUDA	NAVIDEZNA MAGNITUDA	ABSOLUTNA MAGNITUDA
KPC V1	$-11,658 \pm 0,01$	$13,262 \pm 0,05$	$1,14 \pm 0,07$
KPC V3	$-10,92 \pm 0,01$	$14 \pm 0,05$	$2,11 \pm 0,07$
KPC V4	$-11,59 \pm 0,01$	$13,33 \pm 0,05$	$2,02 \pm 0,07$

Tabela 2: Vrednosti magnitud in njihovih napak

Iz povezave med navidezno in absolutno magnitudo (referenca na enačbo, zapisane v teoretičnem delu) sva izrazili razdaljo d in jo izračunali do posamezne zvezde.

Potem sva morali določiti še napako pri merjenju razdalj s pomočjo naslednje enačbe:

$$\Delta d = \frac{d}{5} \cdot \ln 10 \cdot \Delta M$$

V njej je ΔM napaka absolutne magnitude. Kvadrat napake absolutne magnitude je enak vsoti kvadratov napake navideznih magnitud, ki je $0,05 \text{ mag}$ in napake absolutnih magnitud iz relacije med periodo in izsevom, ki je enaka $0,07 \text{ mag}$. Tako dobimo, da je napaka absolutne magnitude za vse tri zvezde enaka 0.09 mag .

Tako sva dobili naslednje rezultate.

IME ZVEZDE	RAZDALJA	NAPAKA
KPC V1	2654,6pc	110pc
KPC V3	2387,8pc	99pc
KPC V4	1828pc	76pc

Tabela 3: Vrednosti razdalj in njihovih napak

Končni rezultat je tako $2700/2400/1800 \text{ pc} \pm 100\text{pc}$.

4.4. Primerjava razdalj

Po koncu eksperimentalnega dela oziroma po izračunih sva dobili rezultate vrednosti razdalj vseh treh metod, ki sva jih združili v tabelo, da sva jih lahko primerjali med sabo.

METODA		RAZDALJA	NAPAKA
HR-diagram v G filtru		3709pc	277pc
HR-diagram v R filtru		2602pc	359pc
Paralaksa		2341pc	420pc
Zvezde Delta Ščita	KPC V1	2654,6pc	110pc
	KPC V3	2387,8pc	99pc
	KPC V4	1828pc	76pc

Tabela 4: Primerjava razdalj

S tremi neodvisnimi metodami sva izmerili razdalje do Melotte 71. Izmerjene vrednosti z različnimi metodami ne sovpadajo, vendar pa so skladne do nivoja nekaj merskih napak. Takšno ujemanje vrednosti je precejšen uspeh.

Kot lahko opazimo se razdalja prek paralakse, spremenljivih zvezd ter HR-diagrama v R filtru skladajo in sovpadajo z rezultati iz kataloga [15]. Razlog za odstopajočo vrednost razdalje, izmerjene prek prvega HR-diagrama, je verjetno v umeritvi B magnitude. Katalog s to magnitudo je manj zanesljiv od kataloga, v katerem sva dobili umeritev za R in G magnitude.

Veliko težavo pa je predstavlja ekstinkcija. Različni zemljevidi ekstinkcije v smeri kopice Melotte 71 dajo različne vrednosti. Midve sva uporabili vrednosti 3D zemljevida [8], ki je bil ustvarjen pred kratkim. Če bi vzeli starejši 2D zemljevid [16], bi bila ekstinkcija dvakrat večja. V tem primeru je razdalja, izmerjena s HR-diagramom v G filtru, okoli 3000 pc, kar je bližje vrednosti, ki sva jo izmerili s pomočjo paralakse. Slednja ni odvisna od ekstinkcije in je zato boljša metoda merjenja razdalje. Razdalje s pomočjo ekstinkcije za HR-diagram v R filtru pa ni mogoče izračunati, saj na delu referenčne točke, ni nobene zvezde, ki bi sovpadala s podatki pridobljenimi z ekstinkcijo v 2D zemljevidu. Večja ekstinkcija sicer zmanjša vrednosti razdalje, izmerjene s pomočjo zvezd Delta Ščita in tako z vrednostmi ekstinkcije 2D zemljevida dobiva rezultate podane v tabeli 5. Prava vrednost ekstinkcije je verjetno bližje prvi vrednosti.

METODA		RAZDALJA	NAPAKA
HR-diagram v G filtru		2995pc	230pc
HR-diagram v R filtru		/	/
Paralaksa		2341pc	420pc
Zvezde Delta Ščita	KPC V1	2128pc	88pc
	KPC V3	1932pc	82pc
	KPC V4	1479pc	61pc

Tabela 5: Primerjava razdalj z ekstinkcijo zemljevida 2D

Pri merjenju razdalj z zvezdami tipa Delta Ščita moramo razumeti, da relacija med izsevom in periodo ni tako močna kot za klasične kefeide. V populaciji zvezd tipa Delta Ščita je prisotna kar precejšnja razsutost okoli relacije [12]. Ni torej presenetljivo, da tri zvezde dajo tako različne rezultate.

Filtri teleskopa GoChile se razlikujejo od klasičnih filtrov, s katerimi so bile izmerjene magnitude Sonca in zvezd v katalogih, s katerimi sva primerjali najine rezultate. Popravkov zaradi te razlike nisva upoštevali, kar je verjetno vplivalo na rezultate pridobljene s pomočjo HR-diagrama v G filtru.

Spoznali sva, da sva tudi s pomočjo zvezd Delta ščita KPC V1 in KPC V3 dobili podobno vrednost razdalje kot s paralakso in HR-diagramom filtra R ter sklepali, da mora biti dejanska razdalja nekje vmes med temi vrednostmi ter da je tudi ta način določanja razdalje zanesljiv.

5. Zaključek

Razdaljo do kopice Melotte 71 sva merili na tri različne načine. Želeli sva ugotoviti zanesljivost HR-diagrama v primerjavi z merjenjem prek paralakse in zvezd tipa Delta Ščita. Da bi to lahko raziskali, sva opravili več opazovanj na daljavo tako, da sva se prek računalnika povezali s slovenskim teleskopom v Čilu.

Najine slike sva najprej kalibrirali, potem pa ločeno naredili fotometrijo meglice ter fotometrijo zvezd tipa Delta Ščita. Pri računanju razdalje preko HR-diagrama so bile za nadaljnje delo ključne koordinate zvezd v kopici, ki sva jih združili s podatki satelita Gaia ter ob pomoči le teh izločili zvezde, ki niso spadale v najino kopico. To je bila prva težava. Brez podatkov satelita Gaia bi bilo zvezde, ki ne spadajo v najino kopico zelo težko izločiti. Končne podatke o paralaksi in končen HR-diagram sva nato uporabili za nadaljnje izračune oddaljenosti. Zvezdam tipa Delta Ščita pa sva naredili grafe spremnjanja sija ter iz njih pridobili potrebne podatke za dokončen izračun razdalje.

Ugotovili sva, da prek različnih metod dobiva nekoliko različne razdalje. Rezultati prek paralakse, spremenljivk in HR-diagrama v R filtru so si med sabo zelo podobni, kar podpira zanesljivost teh metod. Razdalja prek HR-diagrama v G filtru pa odstopa, kar bi lahko popravili z natančnejšimi podatki o ekstinkciji ter s podatki filtrov, ki so enaki filtrom najinega teleskopa.

Kot veliko težavo sva opazili ekstinkcijo. Ko sva izračunali razdaljo s pomočjo drugega vira o ekstinkciji sva namreč dobili zelo drugačne rezultate. Razdalja prek paralakse se ni spremenila, saj le ta ni odvisna od ekstinkcije, rezultat prek HR-diagrama v G filtru se je približal razdalji najdeni v katalogu. Prek HR-diagrama v R filtru z drugimi podatki ekstinkcije pa razdalje ni bilo mogoče izračunati, saj na tistem delu grafa ni nobene zvezde, ki bi spadala na referenčno točko. Tako s temi podatki ne moreva potrditi zanesljivosti ene ali druge ekstinkcije. Na HR-diagramu v filtru G namreč dobiva bližjo vrednost z večjo ekstinkcijo, a razdalje za HR-diagram filtra R ni mogoče izračunati. Razdalja izračunana prek zvezd tipa Delta Ščita pa se je oddaljila, kar pokaže, da tudi z uporabo drugačnih podatkov o ekstinkciji ne moremo potrditi zanesljivosti merjenja razdalj preko zvezd tipa Delta Ščita.

Čeprav je merjenje preko HR-diagrama edina metoda za merjenje razdalj do objektov, ki so zelo blizu in vse do zelo oddaljenih drugih galaksij, je za njeno uporabo in natančnost potrebno zelo veliko podatkov. Ti podatki pa morajo biti natančni in izmerjeni s teleskopi, ki uporabljajo podobno opremo kot tisti, na katerih se pridobiva slike in kasneje podatke o kopici, saj lahko v nasprotnem primeru rezultati zelo hitro odstopajo. Predvsem so tukaj pomembni uporabljeni filtri. To bi lahko pojasnili kot vzrok, zakaj je rezultat prek HR-diagrama v R filtru bolj točen, kot tisti v G filtru.

Najina naloga pokaže, kako težko je meriti razdalje do razsutih kopic. Predvsem se je izkazala nezanesljivost HR-diagrama v G filtru oziroma odstopanje razdalje izračunane prek HR-diagrama v G filtru za kar 58 % od drugih metod. Tudi razdalja zvezde KPC V4 odstopa, a ne toliko kot razdalja prek HR-diagrama. Ti rezultati nama pokažejo, da sta v najinem primeru najzanesljivejši razdalji izmerjeni prek HR-diagrama v filtru R in prek paralakse. Čeprav je HR-

diagram v njenem primeru v G filtru nezanesljiv, filter R pokaže njegovo zanesljivost. Za oddaljene kopice, katerih zvezde nimajo izmerjenih paralaks satelita Gaia (ali pa imajo paralakse veliko napako), je pomembno, da razdaljo računamo na različne načine. Ko prek različnih metod dobimo podobne vrednosti, vemo, da smo izmerili pravo razdaljo.

V merjenje razdalj kopic bi dobili še boljši vpogled, če bi na podoben način analizirali več kopic različnih starosti na različnih razdaljah. Pri tistih metodah, kjer je pomembna barva filtra, pa bi bilo potrebno dobro pogledati skladanje filtrov uporabljenih za opazovanje in tistih, od katerih se pridobi informacije. Pri ekstinkciji bi lahko uporabili različne vrednosti in ugotovili, kateri viri so bolj zanesljivi za nadaljnje računanje. Dobro bi bilo tudi uporabiti druge metode merjenja, saj sva midve uporabili le tri, obstajajo pa še druge, ki bi lahko bile zanesljivejše. Zato bi bilo za natančnejše rezultate potrebno še veliko dela.

6. Viri in literatura

[1] Guštin A., Kambič B., Vesolje. Ljubljana: Mladinska knjiga – 2008

[2] Kaj Aa. Strand, parallax, 2023

<https://www.britannica.com/science/parallax>

[3] Spremenljive zvezde

<http://astro.sentvid.org/predavanja/spremenljivke.html>

[4] Course Hero, 2023, Hertzsprung Russell Diagram

<https://www.cliffsnotes.com/study-guides/astronomy/the-hertzsprung-russell-diagram/hertzsprung-russell-diagram-the-basics>

[5] <http://catserver.ing.iac.es/staralt/>

[6] Henden in drugi, 2016

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2016yCat.2336....0H/abstract>

[7] Chambers in drugi, 2016

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2016arXiv161205560C/abstract>

[8] Green in drugi, 2019, ApJ

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019ApJ...887...93G/abstract>

[9] Gaia Collaboration, 2022

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022arXiv220800211G/abstract>

[10] Kim in drugi, 1999, A&A

<https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1999A%26A...348..795K>

[11] Collins in drugi, 2017, AJ

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2017AJ....153...77C/abstract>

[12] C. N. A. Willmer, 2018, The Astrophysical Journal

<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4365/aabfdf>

[13] Ziaali in drugi, 2019, MNRAS

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019MNRAS.486.4348Z/abstract>

[14] <https://gochile.si/>

[15] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1538-3873/ac6195>

[16] <https://ned.ipac.caltech.edu/forms/calculator.html>