

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

CCD POZOROVANIA PREMENNÝCH HVIEZD NA AGO MODRA

Bakalárska práca

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

**CCD POZOROVANIA PREMENNÝCH HVIEZD NA AGO
MODRA**

Bakalárska práca

Študijný program:	4.1.1. fyzika
Pracovisko (katedra/ústav):	Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie
Vedúci bakalárskej práce:	RNDr. Juraj Tóth, PhD.
Konzultant bakalárskej práce:	Mgr. Jozef Világi, PhD.

Bratislava 2017

Emil Puha



ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Emil Puha
Študijný program: fyzika (Jednoodborové štúdium, bakalársky I. st., denná forma)
Študijný odbor: fyzika
Typ záverečnej práce: bakalárska
Jazyk záverečnej práce: slovenský
Sekundárny jazyk: anglický

Názov: CCD pozorovania premenných hviezd na AGO Modra
CCD observations of variable stars at AGO Modra

Cieľ: Úlohou práce bude získať údaje o možných známych premenných hviezdach, prípadne aj nových objavoch v CCD archíve na AGO Modra. V prípade, že bude možné odhadnúť ich periódu, študent/-ka vyberie vhodných hviezdnych kandidátov na cielené dlhodobjšie pozorovanie pomocou študentského 28cm ďalekohľadu. Interpretácia napozorovaných dát sa môže uskutočniť v spolupráci s odborníkmi v oblasti premenných hviezd.

Anotácia: Počas CCD pozorovaní malých telies Slnecnej sústavy hlavným 60cm ďalekohľadom na AGO FMFI UK v Modre sa od roku 1994 zhromaždil pomerne veľký archív dát, ktoré neboli systematicky spracované na zistenie premennosti hviezd v zornom poli. Posledných desať rokov sa pozorovania zameriavajú na fotometriu asteroidov, ktoré sa sledujú v tom istom zornom poli, prípadne v blízkom okolí niekoľko hodín. Všetky snímky majú aj svoje kalibračné snímky na presnú fotometriu, čo umožňuje ich využitie aj na fotometriu hviezd.

Úlohou práce bude získať údaje o možných známych premenných hviezdach, prípadne aj nových objavoch v CCD archíve na AGO Modra. V prípade, že bude možné odhadnúť ich periódu, študent/-ka vyberie vhodných hviezdnych kandidátov na cielené dlhodobjšie pozorovanie pomocou študentského 28cm ďalekohľadu. Interpretácia napozorovaných dát sa môže uskutočniť v spolupráci s odborníkmi v oblasti premenných hviezd.

Práca je vhodná pre záujemcov o astronómiu a astrofyziku, rozšíri znalosti o premenných hviezdach. Práca vyžaduje základné znalosti práce s PC, základy programovania a spracovanie dát, ovládanie študentského ďalekohľadu. Znalosť angličtiny je potrebná na úrovni čítania odborných článkov.

Vedúci: RNDr. Juraj Tóth, PhD.
Konzultant: Mgr. Jozef Világi, PhD.
Katedra: FMFI.KAFZM - Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie
Vedúci katedry: prof. RNDr. Peter Moczo, DrSc.
Dátum zadania: 22.06.2015

Dátum schválenia: 22.06.2015

prof. RNDr. Jozef Masarik, DrSc.
garant študijného programu



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

.....
šstudent

.....
vedúci práce

Čestné vyhlásenie

Čestne vyhlasujem, že som bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením vedúceho a konzultanta práce a s použitým uvedenou literatúrou.

Emil Puha

Pod'akovanie

Chem sa pod'akovať svojmu vedúcemu práce RNDr. Jurajovi Tóthovi, PhD. a konzultantovi práce Mgr. Jozefovi Világimu, PhD. za cenné rady, odbornú pomoc a konzultácie, ktoré mi poskytli pri vypracovaní bakalárskej práce.

Abstrakt

PUHA, Emil: *CCD pozorovania premenných hviezd na AGO Modra* [Bakalárska práca], Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie; vedúci práce: RNDr. Juraj Tóth, PhD., konzultant: Mgr. Jozef Világi, PhD., Bratislava, 2017.

Premenné hviezdy patria z fyzikálneho hľadiska medzi dôležité vesmírne objekty. Ich systematickým pozorovaním dokážeme určiť ich fyzikálne parametre, vďaka ktorým získavame prehľad o ich správaní a životnom cykle. Tieto informácie sú kľúčové k pochopeniu fyziky hviezd, teda aj nášho Slnka. Vďaka chemickým prvkom vzniknutým v útrobach hviezd a žiareniu sa na našej planéte dokázal vytvoriť život, ktorého existencia je veľmi citlivo závislá na energii Slnka. Práve preto je dôležité spoznávať životné cykly hviezd, aby sme boli schopní predpovedať a predvídať zmeny v cykle Slnka aj hviezd v našom vesmírnom okolí. Cieľom tejto bakalárskej práce je spracovať CCD pozorovania nočnej oblohy, ktoré sa nazbierali v Astronomickom a geofyzikálnom observatóriu Univerzity Komenského v Modre počas posledných rokov, získať údaje o známych aj možných nových premenných hviezdach, určiť ich základné vlastnosti a periódy.

Kľúčové slová: premenné hviezdy, fotometria, CCD, kalibrácia, svetelné krivky, AGO Modra

Abstract

PUHA, Emil: *CCD observations of variable stars at AGO Modra* [Bachelor thesis], Comenius University in Bratislava, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Department of Astronomy, Physics of Earth and Meteorology; supervisor: RNDr. Juraj Tóth, PhD., consultant: Mgr. Jozef Világi, PhD., Bratislava, 2017.

Variable stars are space objects with substantial physical importance. With their systematic observation we could determine their physical characteristics to acquire information of their behaviour and life cycle. These are key data to understand the physics of stars, therefore of our Sun. Thanks to chemical elements formed inside stars and their radiation could life form on our planet, existence of which is sensibly dependent on the energy of Sun. Therefore it is very important to learn about star's life cycles to forecast and predict the changes in Sun's and nearby star's behaviour. The aim of this thesis is to process CCD observations of the night sky, collected in Astronomical and Geophysical Observatory of Comenius University in Modra during recent years, acquire data about known and possible new variable stars and determine their fundamental properties and periods.

Keywords: variable stars, photometry, CCD, calibration, light curves, AGO Modra

Predhovor

Aj keď väčšina hviezd nepatrí medzi premenné, jasnosť každej hviezdy sa počas jej životného cyklu menila. Periódy známych premenných hviezd sú kratšie alebo porovnateľné s dĺžkou ľudského života, práve preto bolo možné zmeny v ich jasnosti pozorovať. Nástup astrofotografie koncom 19. storočia znamenal v astronómickom pozorovaní prevrat. Vďaka dlhým expozíciám a vyššej svetelnej citlivosti fotoaparátov bolo možné pozorovať dovtedy nepoznané hviezdy, galaxie a hmloviny s vyššími magnitúdami. Od tohto obdobia sa datuje aj systematické pozorovanie a kategorizovanie premenných hviezd. Zo zmien ich jasností je možné určiť ich periódy, hmotnosti, rozmery, tvary, teploty ale aj okolo nich orbitujúce exoplanéty. Zo získaných informácií sa dozvieme veľa o živote hviezd, ale vieme vďaka nim určovať aj vzdialenosti galaxií, predpovedať budúcnosť nášho Slnka či odhadnúť vek vesmíru.

Obsah

ÚVOD.....	11
Časť I.	13
1. PREMENNÉ HVIEZDY	13
1.1. Katalógy premenných hviezd	14
2. FOTOMETRIA.....	16
2.1. Hviezdne veľkosti.....	17
2.2. Farebné systémy	17
3. CCD FOTOMETRIA	19
3.1. Kalibrácia CCD snímok	20
3.1.1. Bias a Dark korekcia.....	20
3.1.2. Flat korekcia	21
3.1.3. Kalibračné snímky a ich aplikácia	11
4. SOFTVÉROVÉ POZADIE	12
4.1. <i>IRAF</i>	13
4.2. <i>Muniwin</i>	13
4.2.1. Apertúrová fotometria.....	14
4.2.2. Postup fotometrie v programe <i>Muniwin</i>	15
4.3. Katalóg hviezd.....	16
4.3.1. <i>Cartes du Ciel</i>	16
5. AGO MODRA.....	18
5.1. Ďalekohľad	18
5.2. CCD kamera	19
Časť II.	21
1. SPRACOVANIE DÁT	21
1.1. Výsledky.....	23

2. DISKUSIA.....	40
2.1. Určenie premennosti.....	40
2.2. Identifikácia nájdených premenných.....	41
2.3. Zhrnutie	46
ZÁVER	48
BIBLIOGRAFIA	49

ÚVOD

V roku 1596 použil amatérsky astronóm David Fabricius hviezdu Omikron Ceti ako referenčnú hviezdu pri určovaní polohy planéty Merkúr. Pri neskoršom pozorovaní sa jej jasnosť zvýšila o celú magnitúdu a o pár mesiacov zmizla. Fabricius ju pokladal za novu, až kým ju znovu spozoroval v roku 1609.

Omikron Ceti, dnes známa ako Mira, bola prvou hviezdou, ktorá dostala označenie *premenná*. Označenie dostala preto, lebo periodicky menila svoju jasnosť, čím prispela k vyvráteniu Aristotelovej filozofie, podľa ktorej boli hviezdne sféry nemenné. Do roku 1896 bolo objavených dokopy 251 podobných premenných hviezd typu Mira Ceti. Periódy premenných hviezd tohto typu sú minimálne 100-dňové a ich jasnosti sa menia minimálne o 2,5 magnitúdy. Vďaka týmto vlastnostiam ich dokázali astronómovia systematicky pozorovať už od 17. storočia. Vizuálne pozorovania dosiahli svoj strop koncom 19. storočia, keď sa však do hry zapojil ďalší hráč: fotoaparát.

Vďaka fotografiám s dlhou expozíciou bolo možné pozorovať aj dovtedy nepozorovateľné objekty s vyššími magnitúdami. Platne s fotografiami hviezdnej oblohy prispeli začiatkom 20. storočia k nárastu objavov premenných hviezd, ktorých počet vzrástol z niekoľkých stoviek až na tisíce. Pozorovania premenných cefeíd boli dôležitým míľnikom pri určovaní vzdialeností vesmírnych objektov a tiež prispeli k objavu Hubblovho zákona, ktorý hovorí o všeobecnej expanzii vesmíru.

Moderné fotoaparáty používajú už namiesto fotografických platní polovodičovú súčiastku s nábojovou väzbou - CCD. Snímky tým získavame hneď v digitálnej podobe, vďaka čomu ich dokážeme spracovať a získať potrebné informácie počítačovým softvérom. Táto práca spracováva práve CCD pozorovania premenných hviezd. Práve preto sa v úvodných kapitolách vysvetlí základný princíp týchto polovodičových súčiastok. Keďže pre získanie presných a použiteľných snímok je potrebné získať čistý a presný obraz, v práci sa budeme venovať aj metódam ich kalibrácie, pri ktorých sú zo snímok odstránené rôzne elektronické šumy a iné nepresnosti.

Získané kalibrované snímky použijeme na analýzu, pri ktorej budeme na snímkach hľadať premenné hviezdy, respektíve ich počet. Cieľom práce je nájsť na snímkach premenné hviezdy a určiť percento premennosti hviezd v daných častiach hviezdnej oblohy

a taktiež nadobudnúť základné znalosti o postupe spracovania astronomických dát z CCD pozorovaní.

Začiatok práce je venovaný zhrnutiu základných znalostí o premenných hviezdach a ich typoch. Priblížime si tiež základy fotometrie, odboru, ktorý skúma pôsobenie a zmeny jasnosti svetelných zdrojov. Práve vďaka fotometrickým metódam dokážeme určovať premennosť hviezd a tiež získať informácie o ich charaktere a správaní.

Časť I.

1. PREMENNÉ HVIEZDY

Premenné hviezdy sú také hviezdy, ktorých jasnosť sa v čase mení. Táto zmena môže byť spôsobená fyzikálnymi procesmi vo vnútri, na povrchu, alebo v okolí týchto hviezd. Zároveň sa táto fyzikálna zmena môže na hviezdach prejavovať rôznymi spôsobmi. Môže sa meniť ich veľkosť, tvar, povrchová teplota. Výrazné zmeny svietivosti môžu spôsobovať aj masívne erupcie, či prechody exoplanét v ich okolí.

Časová škála týchto zmien je tiež veľmi široká. Periódy zmien jasnosti môžu trvať od niekoľkých hodín, cez dni a mesiace aj mnoho rokov.

Premenné hviezdy sa delia na dve základné skupiny: fyzické a geometrické. Je však ťažké premenné hviezdy zaradiť jednoznačne do jednej z týchto skupín, pretože nie je zriedkavé, že určitá hviezda prejavuje známky fyzickej aj geometrickej premennosti.

Medzi fyzikálne premenné patria

- Eruptívne premenné hviezdy, ktorých jasnosť sa mení kvôli vymršťovaniu materiálu vo vonkajších vrstvách atmosféry.
- Pulzujúce premenné hviezdy, ktorých jasnosť sa mení kvôli pulzácii povrchových vrstiev atmosféry spôsobenej chemickými procesmi vo vnútri hviezdy.
- Rotujúce premenné hviezdy, ktoré majú elipsoidálny tvar alebo nehomogenity na povrchu, kvôli ktorým sa mení jasnosť pri rotácii hviezdy.
- Kataklyzmatické premenné hviezdy, u ktorých dochádza k termonukleárnym vzplanutiam na povrchu - novy alebo vo vnútri hviezdy - supernovy.

Medzi geometrické premenné patria

- Zákrytové premenné hviezdy, ktorých jasnosť sa mení kvôli zákrytom ich zložiek. Patria sem sústavy viacerých hviezd ako napríklad dvojhviezdy.

Študovanie premenných hviezd je dôležité, pretože môžeme pozorovať rôzne fázy života jednotlivých hviezd, zmeny v ich správaní a určiť fyzikálne procesy, ktoré tieto zmeny spôsobujú. Vďaka týmto poznatkom môžeme vytvárať modely hviezd, študovať a predpovedať fyzikálne procesy, ktoré sa v nich alebo okolo nich odohrávajú. Sú to vlastne veľké vesmírne laboratória, z ktorých získavame informácie fotometrickými metódami.

1.1. Katalógy premenných hviezd

Nárástom objavov nových premenných hviezd bolo potrebné vytvoriť ich názvoslovie a katalogizáciu. Názov premennej hviezdy sa udáva kombináciou písmen a latinského názvu súhvezdia, napríklad RR Lyrae. Kombinácia písmen začína od AA po AZ, od BB do BZ až do kombinácie od QQ po QP. Ak sa v danom súhvezdí využilo všetkých 334 možných kombinácií, premenné sú ďalej číslované podľa poradia ich objavenia počnúc V335.

V súčasnosti je dostupných mnoho katalógov premenných hviezd, z ktorých treba vyzdvihnúť *General Catalogue of Variable Stars (GCVS)*, ktorý ako jediný zahŕňa všetky známe premenné hviezdy. Tento katalóg obsahuje aj index názvov premenných hviezd, katalóg predpokladaných premenných, katalóg mimogalaktických premenných a katalóg supernov. Katalóg obsahuje približne 52 000 premenných hviezd z našej Galaxie, približne 12 000 premenných hviezd mimo našej Galaxie (z toho 1000 supernov), ako aj zoznam približne 15 000 predpokladaných premenných hviezd.

Katalóg premenných hviezd sa vytvoril aj z meraní astrometrickej družice *Hipparcos*. Pomocou družice sa namerali údaje o 118 000 hviezdach, z ktorých 11 600 patrí medzi premenné, pričom 8200 z nich nebolo dovtedy katalogizovaných.

Nástupcom *Hipparcosu* sa stala vesmírna družica *GAIA*. Jej cieľom je vytvoriť dosiaľ najpodrobnejšiu 3D mapu Galaxie. Prvé dáta z pozorovaní družice boli publikované v septembri 2016. Obsahujú pozície a jasnosti viac ako miliardy hviezd, ako aj pozície, paralaxy a rýchlosti viac ako 2 miliónov hviezd. Je to doposiaľ najrozsiahlejší hviezdny katalóg, pričom jeho kompletná verzia bude publikovaná v roku 2022.

Ďalšou družicou, ktorá prispela k štúdiu premenných hviezd, bola družica *Kepler*. Družica *Kepler* je vesmírny ďalekohľad, ktorého cieľom je objavovať planéty mimo Slna sústavy – exoplanéty. Pri hľadaní exoplanét je dôležité pozorovať malé zmeny jasností hviezd. Dôsledkom toho sa počas prvých mesiacov pozorovaní namerali aj údaje o približne 7 500 premenných hviezdach. Údaje o nich, ako aj ich svetelné krivky boli publikované v roku 2011.

Užitočným katalógom je *The International Variable Star Index (VSX)* vytvorený pre potreby American Association of Variable Star Observers (AAVSO). VSX katalóg je online médium, ktoré ponúka širokú databázu premenných hviezd. Obsahuje predovšetkým celý GCVS katalóg, konkrétne hlavné zoznamy premenných hviezd, zoznamy predpokladaných

premenných hviezd, ako aj všetky referencie zo všetkých vydaní *GCVS*. Ďalej je jeho súčasťou katalóg premenných hviezd z projektu *Northern Sky Variability Survey (NSVS)*, premenné hviezdy z tretieho projektu *All Sky Automated Survey (ASAS-3)*, všetky novoobjavené premenné hviezdy publikované v *Information Bulletin on Variable Stars (IBVS)*, premenné typu Mira a zákrytové premenné hviezdy nájdené a publikované pri projekte *Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE-II)* a jasné kontaktné dvojhviezdy z dát projektu *Robotic Optical Transient Search Experiment (ROTSE-I)*. Všetky údaje a katalógy vo *VSX* sú pravidelne aktualizované. Cieľom tohto *VSX* je zoskupiť všetky dostupné databázy premenných hviezd do jedného voľne dostupného online katalógu. V súčasnosti zahŕňa tento katalóg do 400 000 objektov.

2. FOTOMETRIA

Základnou informáciou, ktorú získavame z kozmických objektov je množstvo energie vo forme elektromagnetického žiarenia, ktorú daný objekt vyžiaril. Fyzikálna veličina, ktorá udáva množstvo energie elektromagnetického žiarenia, ktoré prejde jednotkou plochy za jednotku času do všetkých smerov sa nazýva svetelný tok žiarenia F :

$$F [Jm^{-2}s^{-1}]. \quad (2.1)$$

Závisí od frekvencie, vlnovej dĺžky žiarenia a vzdialenosti r od zdroja žiarenia

$$F_f [Jm^{-2}] \quad (2.2)$$

$$F_\lambda [Jm^{-3}s^{-1}] \quad (2.3)$$

$$F(r) \sim \frac{1}{r^2} \quad (2.4)$$

Kľúčom k úspešnému astronomickému pozorovaniu je získanie elektromagnetického žiarenia kozmického telesa s čo najpresnejším určením svetelného toku a rozlíšenia vlnovej dĺžky. Metóda, ktorá určuje svetelný tok kozmických objektov sa nazýva fotometria. Je to metóda merania svetelného toku pri rôznych vlnových dĺžkach. Pri fotometrii na malých intervaloch spektra získame spektrálny obraz skúmaného objektu, a tým aj informáciu o jeho atomárnom zložení. Štúdium týchto iregularít sa nazýva spektroskopia, a vďaka nej dokážeme určiť zloženie objektu, ako aj analyzovať jeho pohyb a rotáciu. Kombinácia fotometrie a spektrometrie sa nazýva spektrofotometria. Pri nej sa v podstate fotometria urobí na viacerých vlnových dĺžkach a získa sa informácia nielen o svetelnom toku žiarenia, ale aj o jeho spektrálnom rozložení. Aj keď spektrofotometria nám dáva komplexnejšiu informáciu o fyzikálnych vlastnostiach hviezd, pri pozorovaní premenných hviezd nám postačí fotometria.

Pri pozorovaní objektov vo viditeľnom spektre elektromagnetického žiarenia je princípom získať pomocou ďalekohľadu dostatočné množstvo svetla na svetlocitlivý detektor. A práve fotometrickou metódou dokážeme pozorovať hviezdy s oveľa nižšou jasnosťou, než by sme dokázali pozorovať spektrofotometrickou metódou.

Cieľom fotometrie je získať svetelnú krivku objektu, ktorý je dôležitým diagramom pre skúmanie vlastností objektu, pretože z nej získavame informáciu o časovej zmene jasnosti.

Pri CCD fotometrii je svetlocitlivým detektorom CCD čip, ktorý je vlastne mriežkou svetlocitlivých detektorov. Dokáže súčasne snímať a zaznamenávať fotóny prichádzajúce zo všetkých častí zorného poľa. Hlavnými výhodami CCD fotometrie oproti vizuálnej je minimalizácia vplyvu ľudských faktorov a maximalizácia presnosti pozorovania.

2.1. Hviezdne veľkosti

Hviezdna veľkosť je termín, ktorý charakterizuje jasnosť hviezd alebo iných kozmických objektov. Zdanlivá hviezdna veľkosť m vyjadruje jasnosť hviezdy na logaritmickú mierku. Jej jednotkou je magnitúda. Ak sú dané svetelné toky dvoch hviezd F_1 a F_2 , potom rozdiel ich hviezdnych veľkostí m_1, m_2 je určený Pogsonovou rovnicou

$$m_2 - m_1 = 2,5 \log\left(\frac{F_1}{F_2}\right). \quad (2.5)$$

Pri pozorovaní voľným okom sa premennosť hviezdy prejavuje zmenou jej vizuálnej hviezdnej veľkosti, ktorá zodpovedá celkovej intenzite svetla v rozsahu vlnových dĺžok, na ktoré je citlivé ľudské oko. Existujú však aj rôzne iné hviezdne veľkosti, ktoré delíme podľa metódy ich merania:

- Fotografická, zodpovedajúca citlivosti fotografických dosiek používaných pri astronomických pozorovaniach.
- Fotovizuálna. Na stanovenie tejto hviezdnej veľkosti sa používa fotografická doska, ktorej citlivosť je najbližšia citlivosti ľudského oka.
- Fotoelektrická. Na jej stanovenie sa používajú fotočlánky alebo fotonásobiče, citlivé na rôznych častiach spektra.
- Rádiometrická. Na jej stanovenie sa používa termočlánok alebo rádiometer.
- Bolometrická, ktorá sa vzťahuje na celkovú energiu v celom rozsahu spektra hviezdy.

V astronómii sa používa aj absolútna hviezdna veľkosť, ktorú získavame prepočítaním zdanlivej hviezdnej veľkosti do vzdialenosti 10 parsekov, čo zodpovedá paralaxe 1".

2.2. Farebné systémy

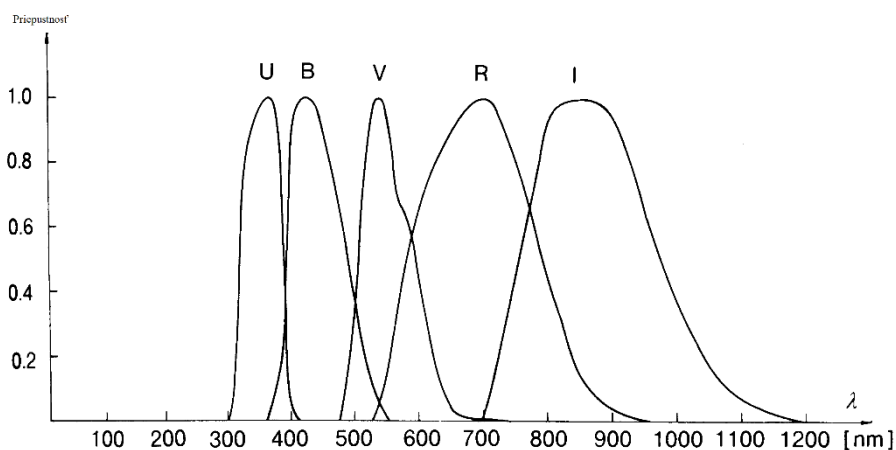
Ak chceme z fotometrických pozorovaní získať komplexnejšiu informáciu o fyzikálnych vlastnostiach hviezd, potrebujeme merať svetelný tok v rôznych spektrálnych pásmach. Farebné filtre majú rôzne spektrálne šírky a rôzne maximá priepustnosti. Najrozšírenejším

je štandardný medzinárodný UBV systém, využívajúci filtre U (ultrafialový), B (modrý) a V (viditeľný). Filter V je navrhnutý na základe citlivosti ľudského oka, filter B na základe citlivosti fotografickej platne a filter U má maximum v ultrafialovej oblasti. Snímky použité v tejto práci boli vytvorené použitím C (čistý) filtra, čo je vlastne len sklenená platňa z číreho skla s priepustnosťou v celej šírke viditeľnej časti spektra.

Po nástupe CCD detektorov, ktoré majú najvyššiu citlivosť v červenej a infračervenej časti spektra, bol tento systém rozšírený na UBVRI, kde filter R pokrýva červenú a filter I infračervenú časť elektromagnetického spektra.

Filter	$\lambda_0[nm]$	$\lambda_m[nm]$
U	360	40
B	440	100
V	550	80
R	700	210
I	900	220

Tabuľka 1: Spektrálne šírky $\lambda_0[nm]$ a maximá $\lambda_m[nm]$ systému UBVRI



Obrázok 1: Priepustnosti UBVRI filtrov

3. CCD FOTOMETRIA

CCD (Charge-coupled Devide) je polovodičová elektronická súčiastka, ktorá slúži na prenos a zosilnenie elektrického náboja. Bola pôvodne vyvinutá v roku 1969 z účelu vytvorenia počítačovej pamäte. Analógový signál na súčiastke vytváral elektrický náboj, ktorý sa na nej ukladal. Prišlo sa na to, že jej jednotlivé časti je možné nabiť elektrickým nábojom pomocou fotoelektrického javu a tým vytvoriť obraz. CCD čoskoro nahradilo klasické fotografické emulzie a stalo sa najrozšírenejším svetlocitlivým čipom v moderných fotoaparátoch.

CCD funguje na princípe fotoelektrického javu. Energia pohltených fotónov excituje elektróny polovodiča, vďaka čomu by mal medzi elektródami vznikáť elektrický prúd. Medzi svetlocitlivým polovodičom a elektródou je však umiestnený izolant, ktorý prúd elektrónov zastaví. Anóda však elektróny priťahuje, preto sa tie začnú pri izolante hromadiť. Na jednotlivé časti (pixeli) polovodiča zároveň dopadajú rôzne množstvá fotónov v závislosti od intenzity svetla. Elektrický náboj sa vyčíta jednotlivo pre každý pixel na okrajoch čipu, kam sa posúva zmenou napätia na elektródach. Náboje sa potom zosilňujú a vhodným softvérom sa z nich vytvorí obraz.

Pri práci s CCD fotoaparátom treba brať ohľad aj na niektoré negatíva CCD čipu. Z fyzikálneho hľadiska vytvára izolant kvantovú potenciálnu jamu. Pri dlhších expozíciách, ktoré sú v astronómii bežné, preto treba brať ohľad aj na obmedzenú kapacitu spomínanej potenciálnej jamy. Ak je pixel vystavený nadmernému množstvu fotónov, môže dôjsť k saturácii, pri ktorej sa prekročí kapacita potenciálnej jamy a elektróny „pretekajú“ do susedných pixlov. Snímka sa tým pádom znehodnocuje, preto treba dbať na vhodnú voľbu dĺžky expozície.

Činnosť CCD čipu sa deje na atomárnej úrovni, ktorá je veľmi citlivá aj na teplotu systému. Ak má systém nenulovú teplotu, elektróny sa na polovodiči budú presúvať aj kvôli tepelnému pohybu, čím vzniká na výslednej snímke tepelný šum. Dôležité je preto CCD aparáturu neustále chladiť.

3.1. Kalibrácia CCD snímok

K získaniu vedecky hodnotných astronomických fotografií, je potrebné každú snímku podrobiť kalibrácii, pretože snímky sú zaťažené chybami. Vznikajú v dôsledku nerovnomerného rozdelenia elektrického náboja a jednotlivých pixeloch čipu. Na kvalitu snímky má nepriaznivý vplyv aj teplota zariadenia, kvôli ktorej vzniká temný prúd uvoľnených elektrónov. Chyby vznikajú aj nerovnomerným osvetlením, prechodom svetla cez optickú sústavu, ako aj dôsledkom vinetácie, čo je stmavnutie obrazu na rohoch alebo okrajoch snímky vplyvom optickej sústavy. Aby sa tieto chyby zredukovali, musia sa na každej pracovnej snímke vykonať nasledovné korekcie:

- Bias: Náboje sú v CCD kamere uvedené do pohybu pomocou zmeny potenciálu, preto je potrebné, aby aj čítacia elektronika disponovala piedestálom¹, a tým sa zamedzilo tomu, aby sa z polovodiča vyčítali negatívne hodnoty elektrického náboja.
- Dark: V pixeloch vznikajú náboje aj vtedy, keď na ne nedopadá svetlo. Spôsobené je to tým, že systém nemá nulovú teplotu a vzniká v ňom teplotná fluktácia, ktorá uvoľňuje elektróny. Preto sa CCD kamery neustále chladia termoelektrickými chladičmi, kvapalným dusíkom alebo héliom. No aj pri najlepšom chladení vzniká v elektronike temný prúd, ktorého hodnota rastie lineárne v závislosti od dĺžky expozície.
- Flat: Je spôsobený tým, že citlivosť jednotlivých pixelov nie je homogénna, ale môže sa líšiť, kvôli čomu produkujú pri rovnakej intenzite dopadajúceho svetla rôzny elektrický náboj. K chybe prispieva aj vinetácia a prípadné nečistoty na objektíve, alebo inej optickej časti kamery. Výsledkom je, že pri homogénnom osvetlení vzniká na pixeloch rozlišný náboj.

3.1.1. Bias a Dark korekcia

Keďže tieto dve chyby sú aditívneho charakteru, ich korekcia nie je príliš náročnou úlohou. Cieľom je vytvoriť master bias, respektíve master dark snímky, ktorých odčítaním od snímok pozorovaní sa chyby bias a dark redukovú.

Master bias redukuje elektronický šum jednotlivých súčiastok a akýkoľvek iný šum spôsobený elektronikou. Bias snímky sa vytvárajú nulovými expozíciami, čo je vlastne

¹ Kompenzačný náboj elektroniky, vďaka ktorému sa z čipu nevyčítajú záporné hodnoty náboja.

najkratšia možná expozícia systému, pri ktorej sa na CCD čip nedostane svetlo. Po vytvorení dostatočného množstva bias snímok ich treba všetky spriemerovať. Získaná snímka sa nazýva master bias.

Master dark redukuje teplotný šum elektrónov v polovodiči. Master dark vlastne určuje „tmavý prúd“ týchto teplotne excitovaných elektrónov. Dark snímky sa vytvárajú zakrytím objektívu, čím do vnútra kamery nepreniká žiadne svetlo. Následne sa vytvorí snímka s rovnakou expozíciou ako snímky pracovných fotografií. Touto dlhou expozíciou je možné obmedziť aj chyby spôsobené pretekaním pixelov pri prekročení saturácie². Dark snímky sa potom spriemerujú a získavame master dark snímku.

Tieto dve korekcie sa dajú matematicky zhrnúť nasledovne:

$$I'(x, y) = I(x, y) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B_i(x, y) , \quad (3.1.)$$

$$I'(x, y) = I(x, y) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i(x, y) , \quad (3.2.)$$

kde $I(x, y)$, $I'(x, y)$ je intenzita nespracovanej, respektíve spracovanej snímky v bode (x, y) , $B(x, y)$, $D(x, y)$ sú intenzity bias, respektíve dark snímok.

V praxi je však výhodnejšie určiť medián snímok, ktorý delí štatický súbor na dve rovnako početné časti alebo orezaný aritmetický priemer, ktorý sa získava odstránením rovnakého množstva najvyšších a najnižších hodnôt štatistického súboru a následným spočítaním aritmetického priemeru.

3.1.2. Flat korekcia

Cieľom vytvorenia master flat snímky je vytvorenie korekcie, ktorá kompenzuje nerovnomernú svetelnú citlivosť pixelov CCD čipu. Flat korekciu je potrebné vykonať kvôli samotnej nehomogenite jednotlivých pixelov, prítomnosťou nečistôt na optickej sústave, jej nesprávnemu nastaveniu, vinetácii a difrakcii, ktorá vzniká pri prechode svetla optickou sústavou ďalekohľadu. K vytvoreniu flat snímok je potrebné CCD čip osvetliť rovnomerným svetelným zdrojom.

Ako rovnomerný svetelný zdroj sa najčastejšie použije samotná obloha. Snímky je potrebné urobiť za šera, podvečer, keď Slnko už kleslo pod 5°-7° pod horizont alebo ráno,

² Ak na jeden pixel dopadá príliš veľké množstvo fotónov, pixel sa presýti a na ňom vytvorené náboje pretekajú do okolitých pixelov.

predtým než Slnko dosiahne úroveň 5° - 7° pod horizontom. Snímky sa majú robiť expozíciou 3 až 30 sekúnd, pričom CCD kamera je namierená do bodu s opačným azimutom ako Slnko, vzdialeného 20° od zenitu. V tomto bode vzniká za daných podmienok ideálne osvetlenie oblohy. Flat snímky by sa touto metódou nemali snímať, keď je na oblohe oblačnosť, príliš veľa hviezd v zornom poli, alebo intenzívne mesačné svetlo. Alternatívne sa na vytvorenie snímok môže použiť homogénne osvetlené biele plátno zavesené vo vnútri kupoly observatória.

Na vytvorených snímkach je najskôr potrebné urobiť bias a dark kalibráciu:

$$F'(x, y) = F(x, y) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B_i(x, y) \quad , \quad (3.3)$$

$$F'(x, y) = F(x, y) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i(x, y) \quad , \quad (3.4)$$

kde $F(x, y)$ je intenzita flat snímky v bode (x, y) . Takto získanú snímku je treba ešte normovať, pretože intenzita svetla sa pri stmievaní stále mení:

$$F''(x, y) = \sum_{i=1}^N c_i F'_i(x, y) \quad , \quad (3.5)$$

kde c_i sú normalizačné konštanty, ktoré sa volia tak, aby mali $F'_i(x, y)$ rovnaké stredné nasýtenie. Týmto zistíme pomer citlivosti jednotlivých pixelov oproti priemernej citlivosti čipu. Získavame vlastne závislosť jasnosti od polohy pixelu na čipe.

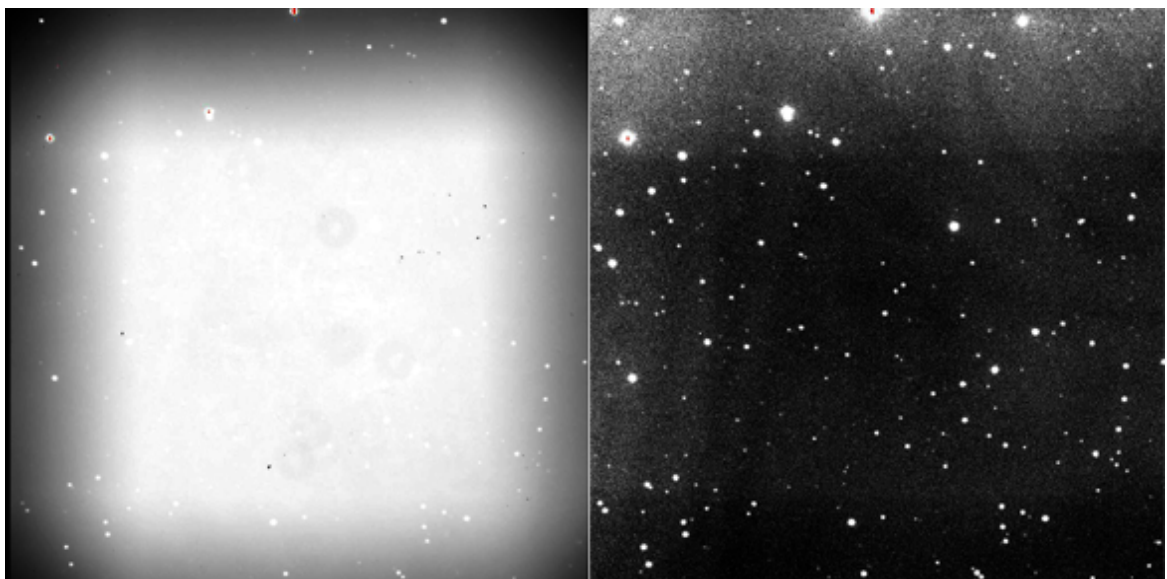
Po kalibrácii pracovných snímok pomocou master bias, master dark a master flat snímok získavame snímky so zlepšením pomerom signálu a šumu. Tým dostávame kalibrované snímky, pripravené na fotometriu.

3.1.3. Kalibračné snímky a ich aplikácia

Po vytvorení master bias, dark a flat snímok sa tie aplikujú na pracovné snímky z pozorovaní. Nové master bias a master dark snímky by sa mali urobiť po každom zásahu do elektroniky aparatury, keďže sa zmení elektronický a tepelný šum sústavy. Master flat snímky by sa mali aktualizovať približne každé dva týždne, respektíve po každom zásahu do optickej sústavy, čím sa zaručí odstránenie chýb spôsobených nečistotami na optickej sústave.



Obrázok 2: Master bias, dark a flat snímky (zdroj: AGO Modra)



Obrázok 3: Pracovná snímka, pred a po kalibrácii (zdroj: AGO Modra)

Pruhy na kalibrovannej snímke na obrázku (3) sú spôsobené interferenciou na obraze, ktorá vzniká na CCD čipoch osvetlených odzadu, aký je aj na AGO Modra. Interferenčné pruhy sa odstraňujú použitím farebného filtra R, ktorý prepúšťa len červenú časť spektra, pričom udržiava koeficient absorpcie na skoro nulovej úrovni, vďaka čomu sa interferenčné pruhy na snímke nevytvoria.

4. SOFTVÉROVÉ POZADIE

Výhodou CCD fotomerie oproti vizuálnej a fotoelektrickej fotometrii je to, že v porovnaní s vizuálnou a fotoelektrickou fotometriou je možné pozorovať nie jeden, ale celé pole objektov súčasne. Tým pádom dokážeme pozorovať premennú aj porovnávaciú³ hviezdu súčasne. Bez použitia farebných filtrov dopadá na CCD čip celkový svetelný tok objektov, sčítaný cez všetky vlnové dĺžky. Týmto spôsobom dokážeme získať zábery aj o hviezdach s menšou jasnosťou, respektíve o zmenách ich jasnosti s dobrým časovým rozlíšením.

Zosilnené elektrické náboje z CCD čipu sa ďalej spracovávajú vo výstupnom digitálnom formáte FITS. FITS (Flexible Image Transport System) je štandardným digitálnym formátom zálohovania a spracovania vedeckých obrazov, fotografií. Zároveň je najpoužívanejším digitálnym formátom v astronómii. Okrem grafickej informácie obsahuje FITS súbor aj údaje o fotometrii a kalibrácii snímky. Je štandardným vedeckým digitálnym formátom od roku 1984, pričom jeho súčasná verzia 3.0 je kompatibilná so všetkými jej predchádzajúcimi verziami. Každý FITS súbor obsahuje textovú ASCII hlavičku, pomocou ktorej je možné dekodovať aj snímky neznámeho pôvodu. Hlavička obsahuje informácie ako veľkosť, pôvod, súradnice, binárny dátový formát, komentáre alebo históriu dát. Často sa používa aj na zálohovanie negrafických dát ako sú spektrá, štrukturované dáta alebo databázy. FITS dáta sú najčastejšie uložené vo dvojici hlavička - dátový blok. Hlavičky môžu obsahovať viacero súradnicových systémov. Základným je kartézsky súradný systém, ktorý definuje polohu každého pixelu na obraze, no obsahuje aj svetový súradný systém a je možné ho doplniť o viacero nelineárnych súradných systémov reprezentujúcich rôzne skreslenia obrazu.

Podpora FITS súborov je v mnohých programovacích jazykoch používaných na vedecké účely ako *C/C++*, *Java*, *MATLAB*, *Mathematica*, *Python*. Bežné grafické zobrazovacie programy často nedokážu formát FITS rozoznať, na ich prezeranie sa používajú programy ako *FITS Liberator* či *PLOT MAP*.

Snímky vo formáte FITS budú v tejto práci spracované v programe *IRAF*.

³ Hviezdy so známou a stálou hviezdnom veľkosťou, používané na určenie hviezdnych veľkostí premenných hviezd.

4.1. *IRAF*

IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) je softvér s voľne dostupnou licenciou vyvinutý observatóriom National Optical Astronomy Observatory, určený k redukcii a spracovaniu astronomických snímok. Primárne ide o snímky z CCD kamier. Program je funkčný na všetkých operačných systémoch typu LINUX a disponuje mnohými prídavkovými softvérovými balíkmi. Program *IRAF* v sebe zahŕňa množstvo astronomických rutín.

Pri tejto práci bol softvér *IRAF* použitý ku kalibrácii surových pracovných snímok.

Pomocou softvéru *IRAF* boli vytvorené master bias, dark a flat snímky priemerovaním kalibračných snímok na základe matematických metód opísaných v kapitole (3.1). Program tieto metódy obsahuje, nutné je ale dbať na správne nastavenia kalibrácie.

Treba poznamenať, že master bias a dark snímky musia byť vytvorené zo snímok nafotených pri rovnakej teplote chladenia čipu, akú majú aj snímky pracovné. Len takéto master snímky budú vhodné na kalibráciu chýb.

Po vytvorení master snímok sa tie následne využijú na kalibráciu pracovných snímok, ako bolo uvedené v kapitole (3.1.2). Pri kalibrácii snímok z dlhšieho časového intervalu nesmieme zabudnúť na to, že nové master bias a dark snímky je nutné pripraviť po každom zásahu do elektroniky sústavy, respektívne master flat snímky by sa mali aktualizovať pravidelne v niekoľkotýždňových intervaloch.

Po tejto kalibrácii sú už pracovné snímky „očistené“ a pripravené na ďalšie spracovanie vo vhodnom fotometrickom softvéri.

4.2. *Muniwin*

Muniwin je program zo softvérového balíka *C-Munipack*, ktorý je softvérom na kompletne spracovanie a analýzu astronomických CCD snímok, prevažne používaný pri pozorovaní premenných hviezd. Okrem toho sa používa aj pri pozorovaní malých telies Slnecnej sústavy, či dokonca exoplanét. Prostredie a množstvo funkcií, ktoré obsahuje, sú naprogramované v jazyku C. Je možné si vybrať z textového aj grafického užívateľského prostredia. Medzi hlavné výhody softvéru patria:

- Jednoducho ovládateľné grafické užívateľské prostredie.
- Redukcia CCD snímok pomocou apertúrovej fotometrie.
- Poloautomatická detekcia nových premenných hviezd porovnaním viacerých pracovných smínkov.
- Možnosť vytvorenia kvalitných master bias, dark a flat kalibračných snímok.
- Možnosť fotometrie premenných hviezd s viacerými porovnávacími hviezdami súčasne.
- Široká knižnica príkazov k použitiu v textovom užívateľskom prostredí.
- Vytváranie a export svetelných kriviek objektov.
- Fotometria malých telies Slnečnej sústavy.

Okrem toho je softvér voľne dostupný a je vhodný na amatérske aj profesionálne použitie.

Program *Muniwin* vykonáva fotometriu premenných hviezd použitím apertúrovej fotometrie, preto sa s touto metódou najskôr oboznámime.

4.2.1. Apertúrová fotometria

Hviezdy sa nám vo všeobecnosti javia byť bodovými zdrojmi svetla. Avšak kvôli atmosferickým turbulenciám a difrakcii svetla pri vstupe do ďalekohľadu budú na CCD snímkach vytvárať nie bodový ale kruhový obraz. Rozdelenie intenzity svetla v tomto kruhu sa nazýva PSF⁴. V ideálnom prípade sa rozdelenie intenzity dá aproximovať Gaussovou dvojrozmernou funkciou, prakticky sa však PSF kvôli atmosferickým turbulenciám vždy trochu líši od ideálnej Gaussovej funkcie.

Apertúrová fotometria sa využíva, keď sa PSF funkcie jednotlivých hviezd neprekrývajú. Apertúrová fotometria je vlastne digitálnou obdobou fotoelektronickej fotometrie. Jej princípom je spočítať v danom kruhu - apertúre dopadajúce fotóny. Z tejto hodnoty treba potom odčítať intenzitu oblohy určenú v blízkosti danej hviezdy. Matematicky:

$$m = -2.5 \log \left(\frac{N_{ap} - A_{ap} S_{sky}}{t_{exp}} \right) , \quad (4.1)$$

kde m je hviezdna veľkosť, N_{ap} počet fotónov vo vnútri apertúry, A_{ap} je plocha apertúry, S_{sky} je počet dopadajúcich fotónov na jeden pixel okolitej oblohy a t_{exp} je čas expozície.

⁴ Point Spread Function

Kľúčom tejto metódy je vybrať správnu veľkosť apertúry. Ak je apertúra príliš malá, nameriame príliš málo fotónov. Ak je apertúra príliš veľká, nameriame príliš veľa šumu okolitej oblohy. Ideálnym sa ukázalo vybrať polovičnú hodnotu šírky PSF.

4.2.2. Postup fotometrie v programe *Muniwin*

Nasledujúci postup zaznamenáva jednotlivé kroky spracovania astronomických snímok v programe *Muniwin*. Vstupnými dátami programu sú astronomické fotografie vo formáte FITS, obsahujúce grafické údaje a textovú hlavičku.

- Po otvorení programu sa vytvorí nový projekt, do ktorého sa následne načítajú FITS súbory. Použité kalibrované pracovné snímky sú snímky vo formáte FITS. Je možné pridávať pozorovania z viacerých nocí, naraz sa však pridajú fotografie len rovnakej časti hviezdnej oblohy. Týmto potom môžeme porovnávať zmeny jasností jednotlivých hviezd v čase pozorovania.
- Nasleduje konvertovanie fotografií do formátu FITS. Konvertovanie je nutné na začiatku práce uskutočniť, aj keď vstupné fotografie sú už v danom formáte. Pri konvertovaní sa totiž vytvoria aj pracovné kópie snímok, s ktorými bude program ďalej pracovať a uložia sa do vopred nastaveného adresára.
- Po konvertovaní sa snímky zobrazia v zozname a priradí sa k nim aj dátum a čas ich pozorovania.
- Ďalej je možné priemerovaním vytvoriť master bias, dark a flat snímky, ktoré sa použijú na kalibráciu fotografií. Túto funkciu *Muniwinu* však nebudeme využívať, keďže budeme pracovať so snímkami už kalibrovanými v programe *IRAF*.
- Po tomto kroku je už možné pristúpiť k fotometrii snímok. Spustením funkcie *Photometry* sa na každej snímke začne rátanie hviezd a určovanie ich jasností. Na konci procesu sa pri každej snímke objaví počet nájdených hviezd.
- Následne sa vytvorí časový vývoj jasností hviezd. Program bude porovnávať jasnosti každej jednej hviezdy na všetkých snímkach. Na začiatku tohto procesu je potrebný výber ľubovoľnej referenčnej snímky, na ktorej sa vyznačí premenná hviezda (ak sa nejaká v zornom poli nachádza) a minimálne jedna porovnávací hviezda. Pri výbere týchto hviezd budeme pracovať so stelárnym katalógom *Cartes du Ciel*.
- Po vytvorení časového vývoja sa vytvorí svetelná krivka premennej hviezdy.
- Na vygenerovanom grafe sa nám objaví závislosť jasnosti hviezdy od času uvedeného v skrátenom juliánskom dátume - svetelná krivka.

- Na základe svetelnej krivky potom posúdime charakter premennej hviezdy, jej periódu a iné jej fyzikálne vlastnosti, ak to bude možné.
- Dáta sa napokon uložia vo forme tabuľky, respektíve sa exportuje graf svetelnej krivky.

4.3. Katalóg hviezd

Na to, aby sme v programe *Muniwin* dokázali určiť známe premenné a tiež referenčné hviezdy, potrebujeme vedieť, na ktorú časť hviezdnej oblohy sa pozeráme. Táto informácia je samozrejme zahrnutá v textovej hlavičke FITS súboru presnými súradnicami rektascenzie a deklinácie. Pre lepšiu orientáciu je však dobré, ak vieme v ktorom súhvezdí sa zorné pole nachádza, respektíve ak poznáme mená a jasnosti niektorých hviezd v zornom poli. Na ich určenie použijeme hviezdny katalóg. Z veľkého množstva voľne dostupných softvérov s hviezdnyimi katalógmi sme si pre túto prácu vybrali katalóg *Cartes du Ciel*.

4.3.1. *Cartes du Ciel*

Cartes du Ciel je voľne dostupný hviezdny katalóg a planetáriový softvér dostupný pre rôzne operačné systémy. Softvér mapuje skoro všetky súhvezdia a ich hranice, planéty a objekty hlbkej oblohy. K dispozícii je tiež veľké množstvo doplnkových astronomických katalógov, ktoré je možné do softvéru nainštalovať. Má k dispozícii aj teleskopické rozhranie, vďaka ktorému je možné ho prepojiť s ďalekohľadom a dá tiež použiť k projekcii v planetáriách. Jedným z cieľov *Cartes du Ciel* je vytváranie rôznych hviezdnych máp k presným pozorovaniam špecifických kozmických objektov.

Pre potreby tejto práce bol potrebný podrobnejší hviezdny katalóg s oveľa väčším množstvom hviezd nízkych jasností. *Cartes du Ciel* sme preto doplnili o katalóg *USNO-B*. *USNO-B* je katalóg celej hviezdnej oblohy, obsahuje všetky pozície hviezd, pohyby, hviezdne veľkosti v rôznych spektrálnych pásmach, a tiež objekty hlbkej oblohy. Dokopy obsahuje údaje o 1 042 618 261 kozmických objektoch, získaných z 3 643 201 733 separátnych pozorovaní. Tieto údaje boli získané z rôznych prieskumov hviezdnej oblohy za posledných päťdesiat rokov.

Katalóg obsahuje všetky doposiaľ známe kozmické objekty až do hviezdnej veľkosti $+21^{\text{m}}$, s astrometrickou presnosťou $0,2''$ a s $0,3$ magnitúdovou fotometrickou presnosťou pre päť rôznych farieb. O obsahu katalógu *USNO-B* svedčí aj jeho veľkosť 80GB.

Softvér *Cartes du Ciel* obohatený katalógom *USNO-B* bude preto spoľahlivou pomôckou k určovaniu pozícií premenných a referenčných hviezd.

5. AGO MODRA

Astronomické a geofyzikálne observatórium v Modre je vedecko–výskumným a vzdelávacím pracoviskom Katedry astronómie, fyziky Zeme a meteorológie Fakulty matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave.

Observatórium sa nachádza 12 km od Modry, v nadmorskej výške 531,1 m, pod malokarpatským vrcholom Veľká Homoľa na $17^{\circ},274$ východnej zemepisnej dĺžky a $48^{\circ},373$ severnej zemepisnej šírky.

Observatórium bolo slávnostne uvedené do prevádzky v roku 1992, pričom hlavný ďalekohľad bol sprevádzkovaný o dva roky neskôr. Od roku 1994 tu prebiehajú astronomické pozorovania, zamerané predovšetkým na fotometriu medziplanetárnej hmoty Slnecnej sústavy. Za 20 rokov prevádzky tu bolo objavených viac ako 175 asteroidov s definitívnym a 34 asteroidov s dočasným číselným označením. Vykonávajú sa tu aj astrometrické pozorovania, vďaka ktorým sa spresňujú dráhy novoobjavených telies. AGO bolo tiež prvým observatóriom na Slovensku, z ktorého bol pozorovaný tranzit exoplanéty.

V súčasnosti je na AGO v prevádzke hlavný 60 cm ďalekohľad Zeiss spolu s 20 cm slnečným ďalekohľadom, 28 cm zrkadlový ďalekohľad pre práce študentov fakulty, dva kamerové systémy na registráciu meteorov, radar na pozorovanie meteorov v spektre rádiových vĺn, magnetometer na registráciu zmien magnetického poľa Zeme, anténa na meranie Schumannových rezonancií, seizmometer, dve GPS stanice a tiež meteorologická a zrážkomerná stanica.

5.1. Ďalekohľad

Hlavným ďalekohľadom na AGO Modra je 60 cm zrkadlový Zeiss s bohatou históriou. Teleskop pôvodne objednaný v roku 1925 do observatória v Hurbanove, odkiaľ putoval do Prešova a odtiaľ do Štátneho observatória na Skalnatom plese, až sa dostal na Univerzitu Komenského v roku 1978.

Jeho hlavným výskumným cieľom je fotometria a astrometria asteroidov a medziplanetárnej hmoty, astrometria a výskum štruktúry komét a pozorovanie tranzitov exoplanét. Ďalekohľad je vybavený CCD kamerou a zachytí objekty až 21^m jasnosti.

Najdôležitejšie parametre ďalekohľadu sú:

- Priemer hlavného zrkadla 60 cm
- Ohnisková vzdialenosť ~ 3290 mm
- Svetelnosť: 5,5

Všetky astronomické snímky použité v tejto práci boli pozorované týmto ďalekohľadom použitím CCD kamery.

5.2. CCD kamera

CCD kamera používaná v AGO Modra je typ AP8p Camera System spoločnosti Apogee Instruments Inc. Je nainštalovaná v primárnom ohnisku hlavného 60 cm Zeiss ďalekohľadu. Hlavné špecifikácie čipu:

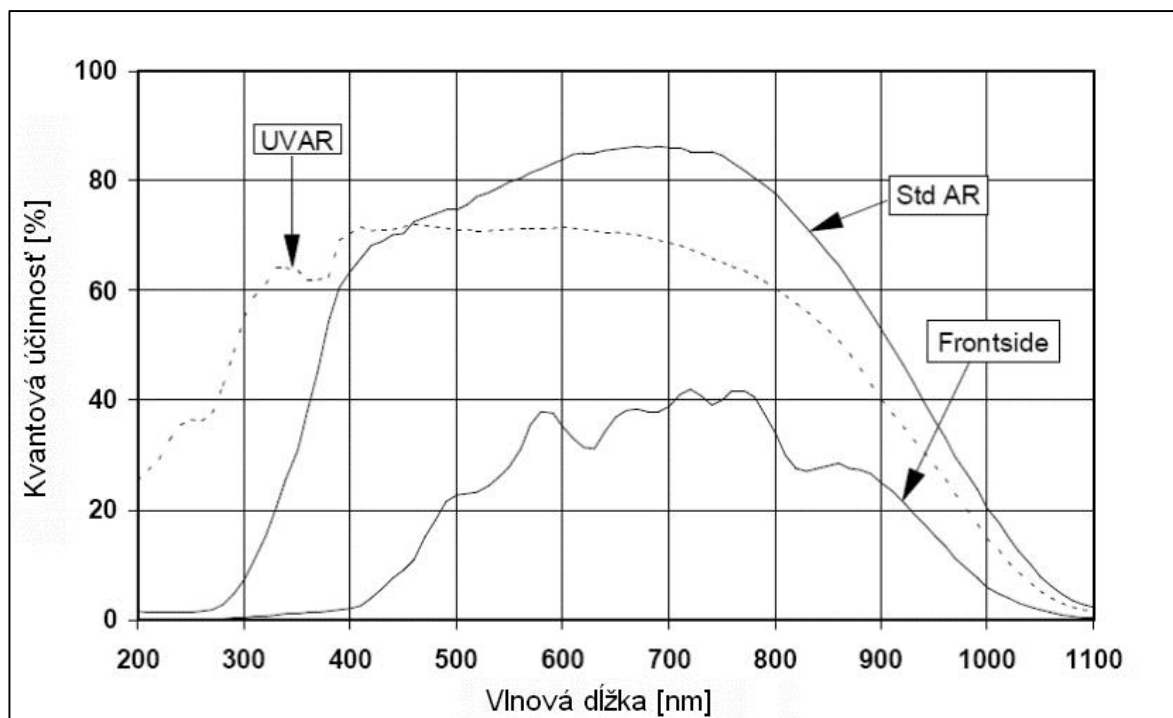
- Veľkosť poľa v pixeloch : 1024x1024
- Veľkosť pixelu : 24 (μ)
- Veľkosť čipu : 24,6 mm x 24,6 mm
- Kvantová efektivita : 62% (pri 400nm)
- Maximálna kv. efektivita : 85% (pri 650 nm)

Hlavné systémové špecifikácie:

- Počítačové rozhranie : široko-bitový obojsmerný paralelný port
- Dĺžka vyčítania dát : 34 s
- Čas expozície : od 30 ms až po 10 400 s
- Chladenie : termoelektrický vzduchový chladič

Čip kamery je osvetlený odzadu⁵, vďaka čomu dopadajúce fotóny neinteragujú s integrovaným obvodom čipu. Svetelná citlivosť takýchto čipov dosahuje až 90%. Nevýhodou kamery AP8p je však problematická elektronika. Na nasledujúcom grafe je znázornená kvantová účinnosť čipu AP8p:

⁵ Back illuminated chip



Obrázok 4: Kvantová efektivita AP8p

Na grafe je znázornená kvantová účinnosť AP8p pre typický spredu⁶ osvetlený čip (frontside), odzadu osvetlený čip s antireflexnou úpravou citlivejšou v ultrafialovej časti spektra (UV AR) a pre štandardný antireflexný odzadu osvetlený čip (Std AR), ktorý je aj v kamere na AGO Modra.

⁶ Front illuminated chip

Časť II.

1. SPRACOVANIE DÁT

V tejto práci sa spracovali snímky vytvorené počas pozorovaní na AGO Modra od januára po jún roku 2010. V tomto časovom intervale tu prebehlo 89 pozorovaní nočnej oblohy. Na spracovanie z nich bolo vybratých 57 vhodných pozorovaní, ktoré boli dostatočne dlhé a na ktorých neboli príliš presýtené hviezdy ani asteroidy.

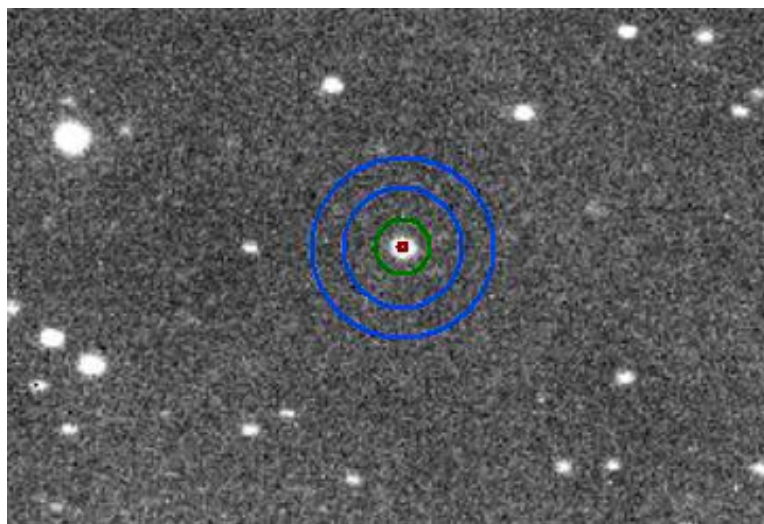
V prvom rade bola na snímkach vykonaná kalibrácia. Popri pracovných snímkach boli pri pozorovaniach vytvorené aj bias, dark a flat snímky ku kalibrácii. Z týchto snímkov sa vytvorili master snímky. Nové master flat snímky sa vytvorili každé 2 – 3 týždne, respektíve po každom zásahu do optickej sústavy. Master bias a dark snímky sa vytvárali pri každej zmene teploty chladenia. Zásahy do optickej sústavy sme určili z pozorovacích denníkov, ktoré sme mali k dispozícii. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené presné dátumy vytvorenia master bias, dark a flat snímkov:

	22.1	9.3	17.3	19.3	2.4	16.4	28.4	14.5	5.6	14.6	29.6	30.6
bias	x		x	x		x	x			x	x	
dark	x		x	x		x	x			x	x	
flat	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x

Tabuľka 2: Dátumy vytvorenia master snímkov

Tieto master snímky boli použité ku kalibrácii pracovných snímkov. Po ich kalibrácii ich bolo možné podrobiť fotometrii a hľadaniu premenných hviezd v programe *Muniwin*. Cieľom bolo dané pozorovania preskúmať a nájsť na nich premenné hviezdy. V programe *Muniwin* sme snímky spracovali na základe postupu z kapitoly (4.2). Po vykonaní fotometrie a spárovaní jednotlivých hviezd na snímkach sa v programe využila funkcia *Find variables*. Pri spúšťaní tejto funkcie je potrebné vybrať jednu alebo viacero porovnávacích hviezd. Ako porovnávacie hviezdy sa vyberajú vždy len také hviezdy, ktoré nie sú premenné.

Dôležitý je aj výber polomeru apertúry, keďže jej zvyšovaním sa zvyšuje aj presnosť fotometrie. Apertúru však nie je vhodné zväčšovať, keď sú hviezdy príliš blízko, aby sa ich apertúry neprekrývali.

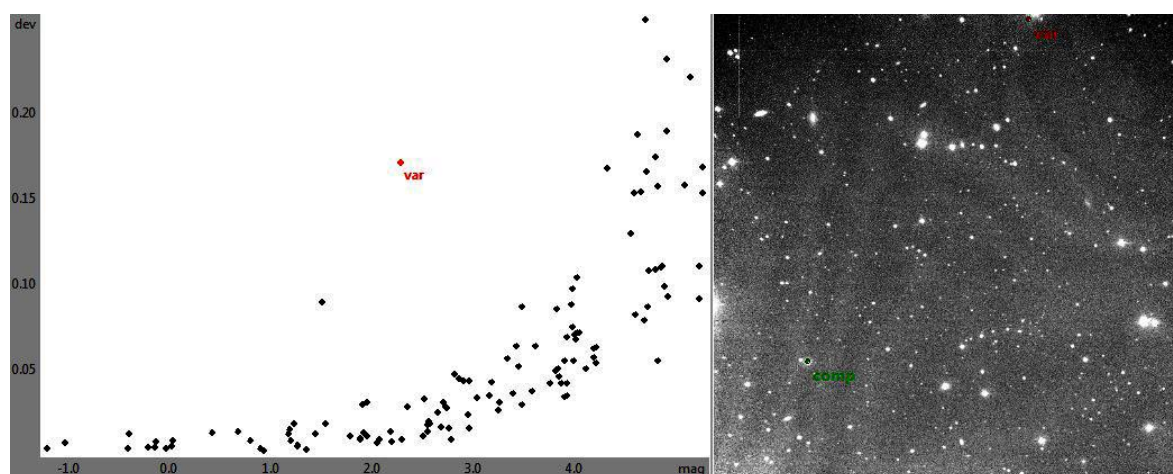


Obrázok 5: Apertúra hviezdy

Muniwin následne vytvorí závislosť smerodajnej odchýlky⁷ jasnosti hviezd od hviezdnych veľkostí ($\text{dev} - \text{mag}$)⁸. Hviezdy nižšej jasnosti majú väčšiu hodnotu štandardnej odchýlky a hviezdy vyššej jasnosti majú nízku hodnotu štandardnej odchýlky. Hviezdy, ktoré sa na väčšine snímok nenachádzajú, program automaticky nezaráta do závislosti.

Na grafe závislosti sa všetky hviezdy okrem premenných nachádzajú v okolí jednej krivky, takpovediac v hlavnej postupnosti. Práve premenné hviezdy sa však v okolí tejto krivky nenachádzajú, pretože majú vysokú hodnotu štandardnej odchýlky jasnosti.

Výberom premennej hviezdy na grafe sa nám zobrazí jej poloha na pracovnej snímke, respektíve sa vykreslí jej svetelná krivka.



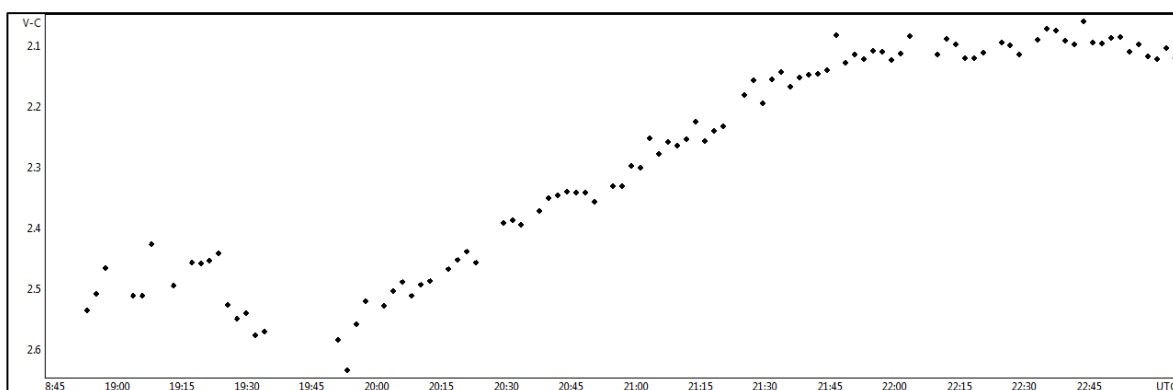
Obrázok 6: Závislosť $\text{dev} - \text{mag}$ s dvoma premennými hviezdami a poloha vyznačenej premennej na snímke

⁷ Smerodajná odchýlka je definovaná ako kladná druhá odmocnina z rozptylu (disperzie).

⁸ Deviation – magnitude

Týmto postupom sme určovali premennosť hviezd zo snímok pozorovaní. Získané údaje budú použité k štatistike o počte premenných hviezd.

Keďže každá časť oblohy sa pozorovala jednu noc, očakávame výskyt krátkoperiodických premenných hviezd, ktorých periódy sú rádovo hodinové. Ich periódy dokážeme určiť zo svetelných kriviek týchto premenných hviezd, čo je vlastne závislosť zmeny jasnosti od času. Svetelná krivka vytvorená v programe *Muniwin* zobrazuje závislosť jasnosti od času uvedeného v juliánskom alebo univerzálnom svetovom čase.



Obrázok 7: Svetelná krivka

Záverom vyhľadáme nájdené premenné hviezdy na základe ich súradníc v katalógu premenných hviezd, aby sme zistili ich meno alebo katalógové číslo.

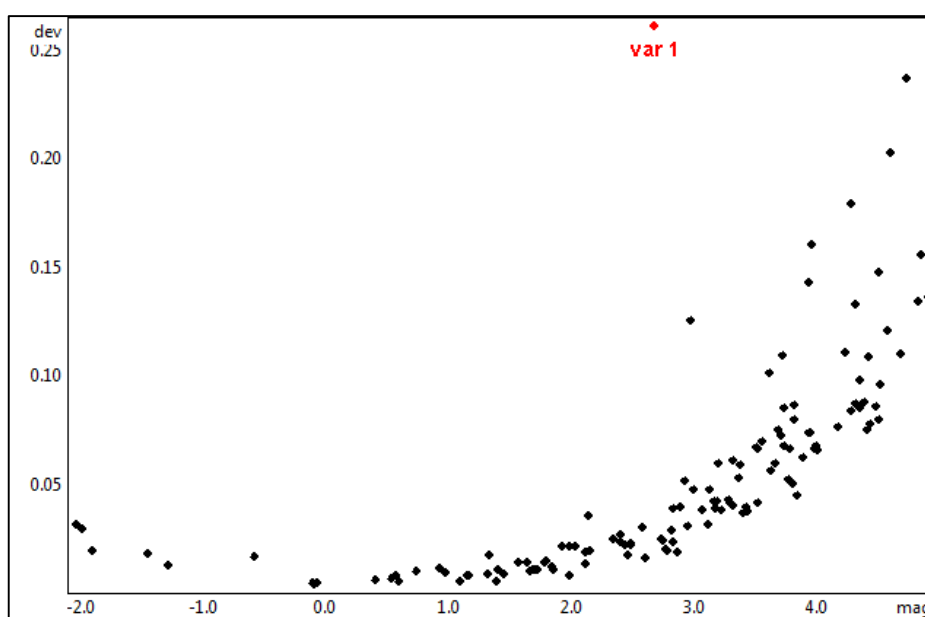
1.1. Výsledky

V tejto kapitole sú prezentované výsledky hľadania premenných hviezd. Zahrnuté sú len tie pozorovania, počas ktorých sa na snímkach zistila premennosť a našla sa jedna alebo viaceré premenné hviezdy. Uvedené sú základné informácie o snímkach ako súradnice stredu zorného poľa (SSZP), čas pozorovania, čas expozície a počet pracovných snímok. Prezentované sú sa aj dev-mag grafy, polohy premenných hviezd na snímkach a im prislúchajúce svetelné krivky. Všetky prezentované snímky boli vytvorené použitím C – filtra, čiže čistého skla s priepustnosťou v celej šírke viditeľnej časti spektra.

Dátum: 26.1.2010 – premenná hviezda č. 1

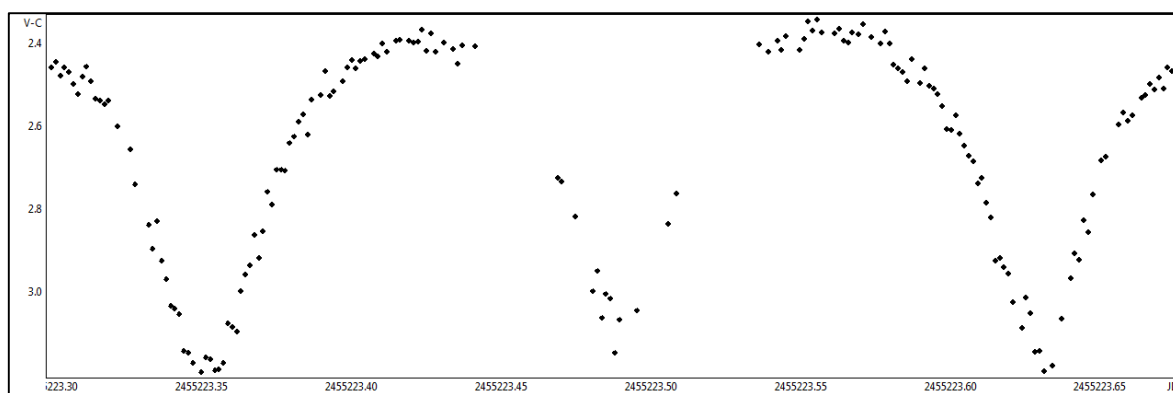
Počet snímok:	204	SSZP:	RA: 09 h 03 m 32,68 s
Čas expozície:	90 s	DE:	+ 23° 10' 32,68"
Teplota:	- 44,76 ° C		

Graf závislosti dev – mag :



Obrázok 8: Dev - mag závislosť premennej č. 1

Svetelná krivka nájdennej premennej hviezdy:



Obrázok 9: Svetelná krivka premennej č. 1

Dátum: 20.3.2010 – premenné hviezdy č. 2 a 3

Počet snímok: 101

SSZP:

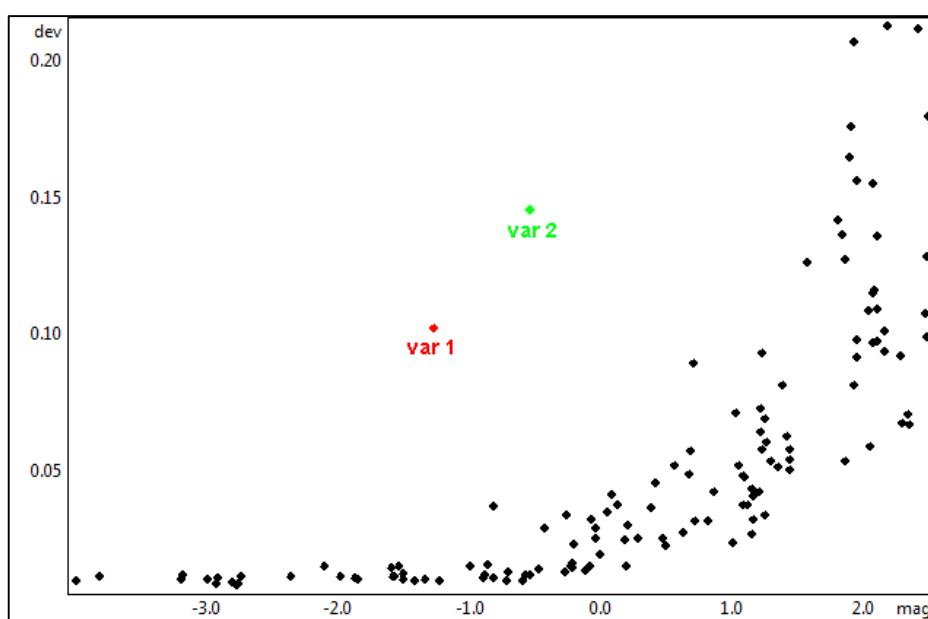
RA: 12 h 18 m 30,4 s

Čas expozície: 90 s

DE: + 28° 26' 20,9"

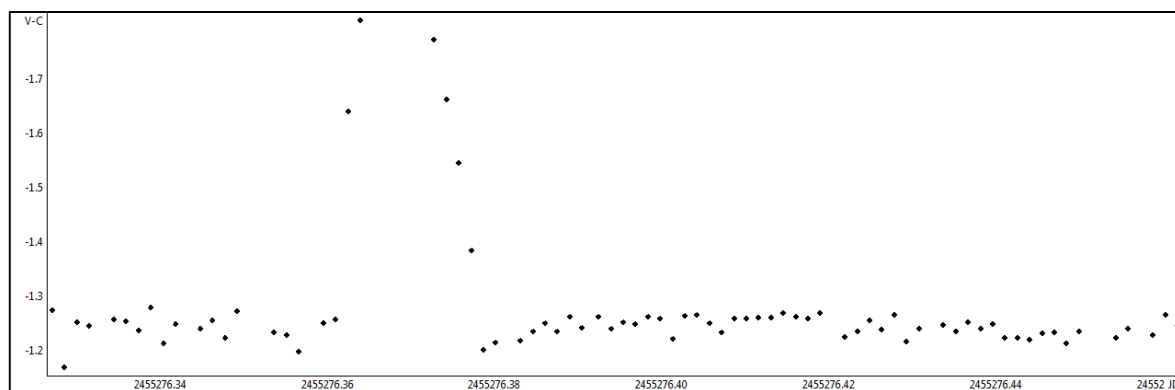
Teplota: - 34,76 ° C

Graf závislosti dev – mag :



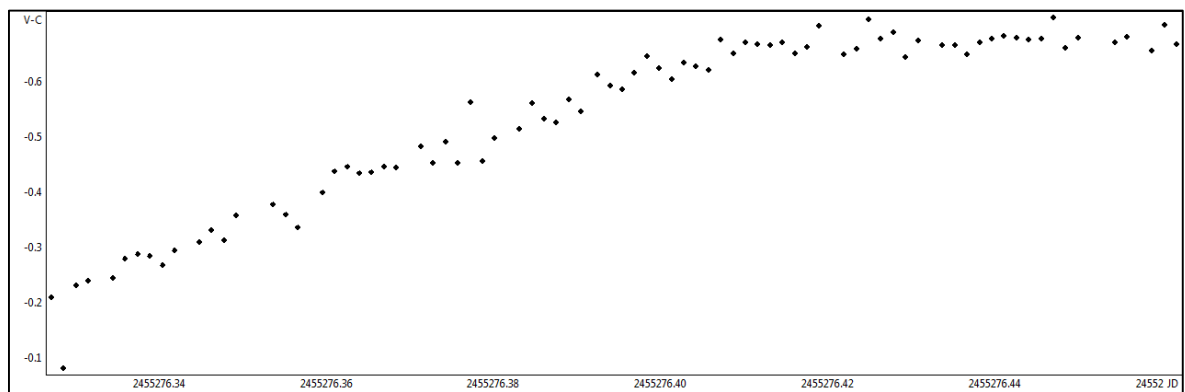
Obrázok 10: Dev - mag závislosť premenných č. 2 a 3

Svetelná krivka prvej nájdenej premennej hviezdy:



Obrázok 11: Svetelná krivka premennej č. 2

Svetelná krivka druhej nájdenej premennej hviezdy:

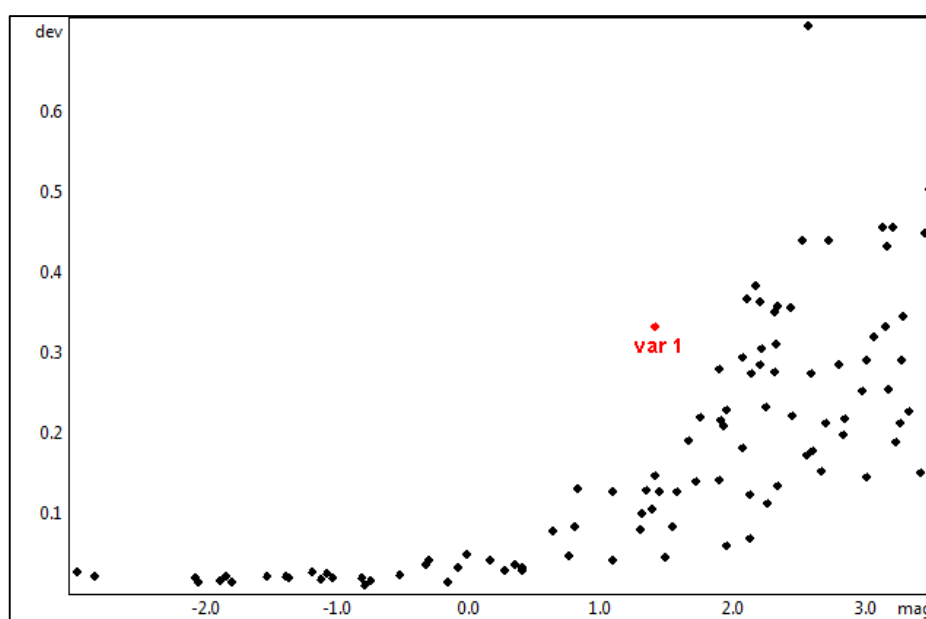


Obrázok 12: Svetelná krivka premennej č. 3

Dátum: 22.3.2010 – premenná hviezda č. 4

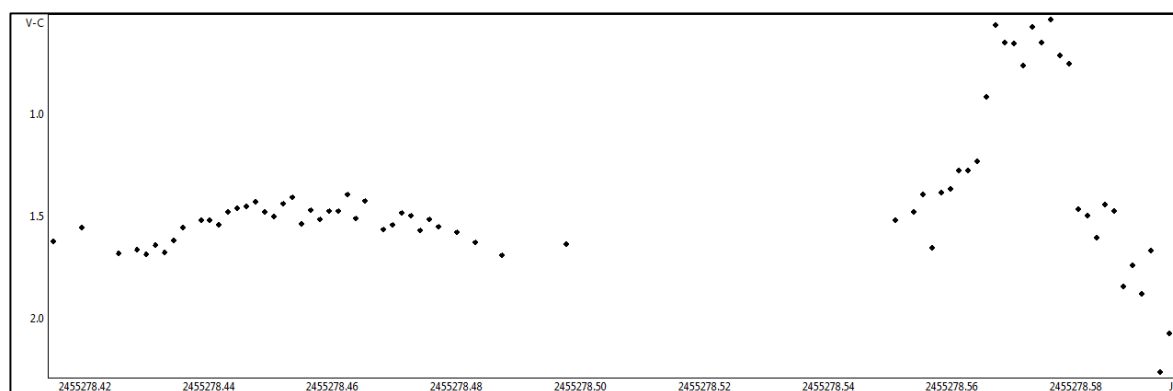
Počet snímok:	123	SSZP:	RA: 12 h 17 m 17,22 s
Čas expozície:	90 s		DE: + 4° 52' 13,7"
Teplota:	- 34,76 ° C		

Graf závislosti dev – mag :



Obrázok 13: Dev - mag závislosť premennej č. 4

Svetelná krivka nájdennej premennej hviezdy:

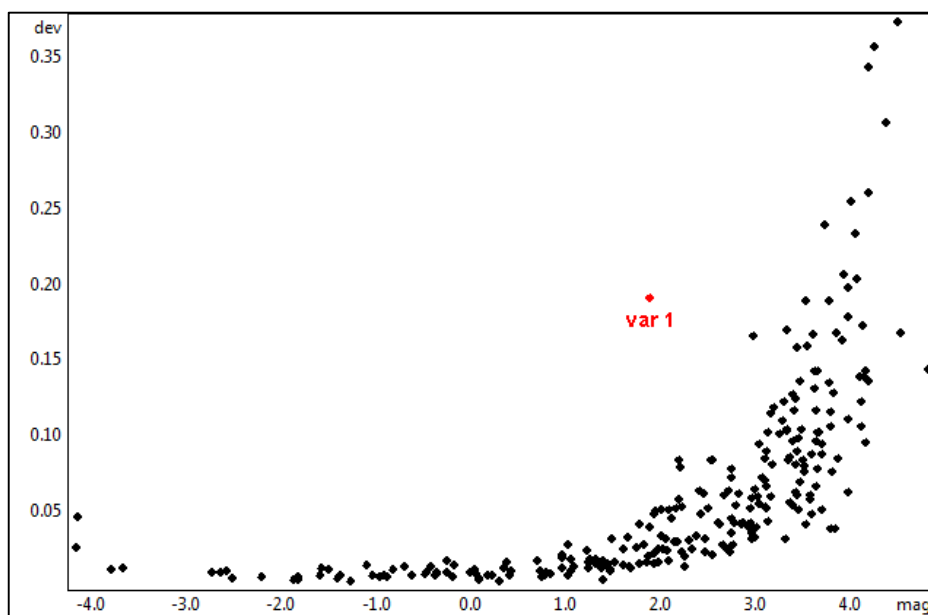


Obrázok 14: Svetelná krivka premennej č. 4

Dátum: 8.4.2010 – premenná hviezda č. 5

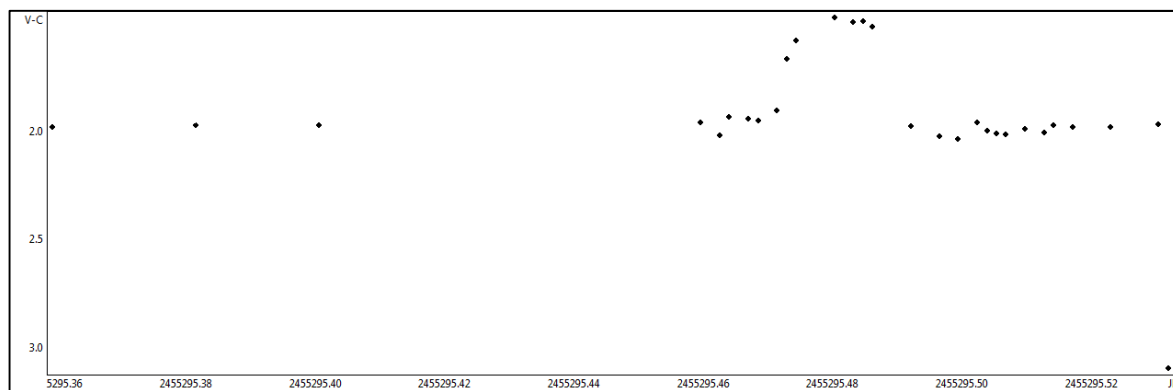
Počet snímok:	61	SSZP:	RA: 12 h 34 m 40,53 s
Čas expozície:	90 s		DE: - 2° 19' 0,6"
Teplota:	- 34,76 ° C		

Graf závislosti dev – mag :



Obrázok 15: Dev - mag závislosť premennej č. 5

Svetelná krivka nájdenej premennej hviezdy:

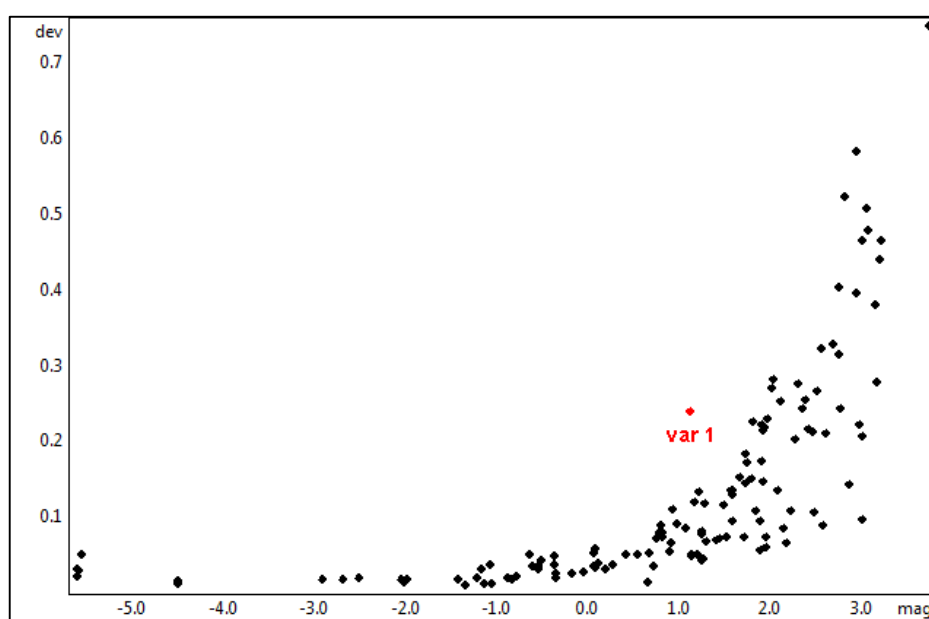


Obrázok 16: Svetelná krivka premennej č. 5

Dátum: 9.4.2010 – premenná hviezda č. 6

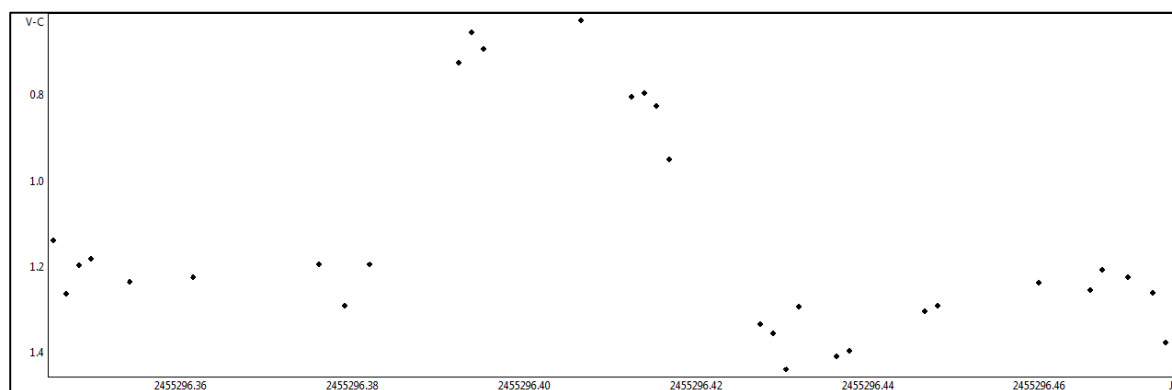
Počet snímok:	73	SSZP:	RA: 12 h 34 m 30,7 s
Čas expozície:	90 s		DE: - 1° 59' 35,4"
Teplota:	- 34,76 ° C		

Graf závislosti dev – mag :



Obrázok 17: Dev - mag závislosť premennej č. 6

Svetelná krivka nájdennej premennej hviezdy:

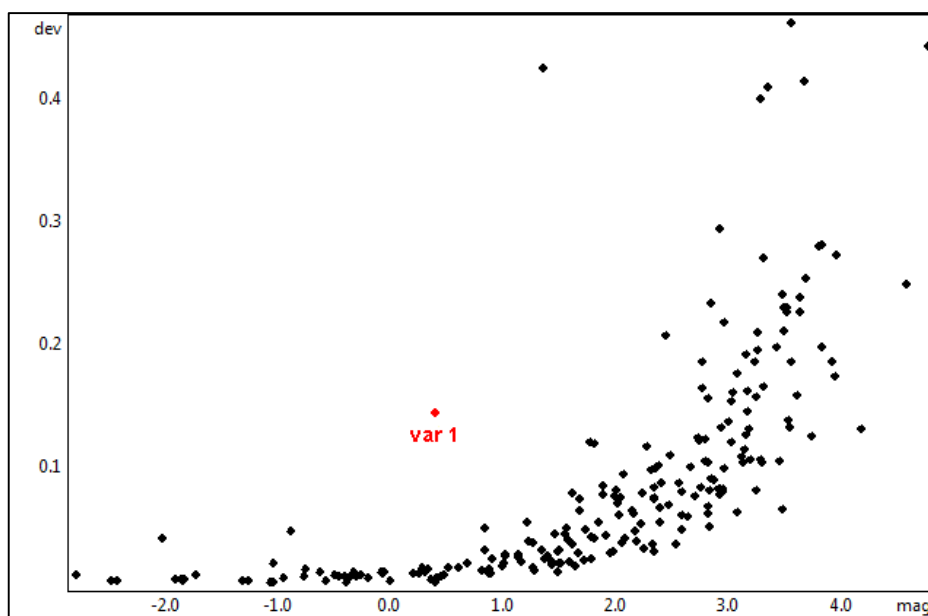


Obrázok 18: Svetelná krivka premennej č. 6

Dátum: 18.4.2010 – premenná hviezda č. 7

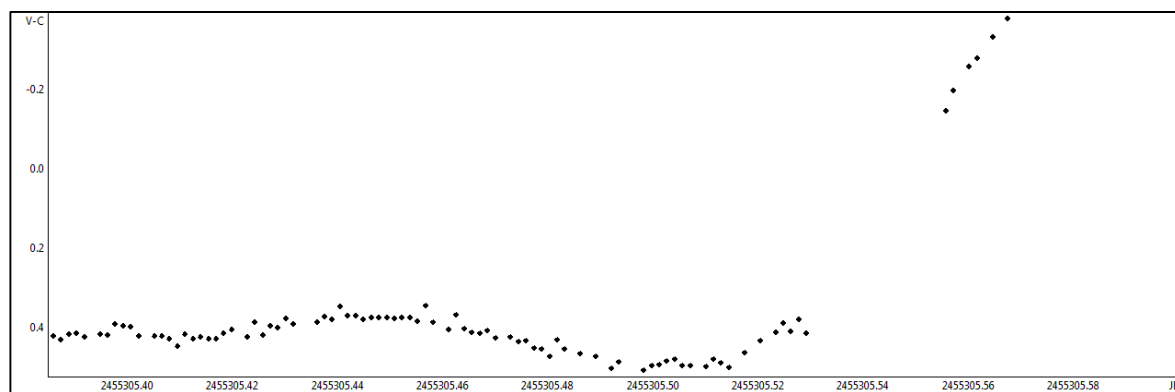
Počet snímok:	92	SSZP:	RA: 14 h 36 m 31,07 s
Čas expozície:	90 s		DE: + 2° 38' 26,6"
Teplota:	- 34,76 ° C		

Graf závislosti dev – mag :



Obrázok 19: Dev - mag závislosť premennej č. 7

Svetelná krivka nájdennej premennej hviezdy:

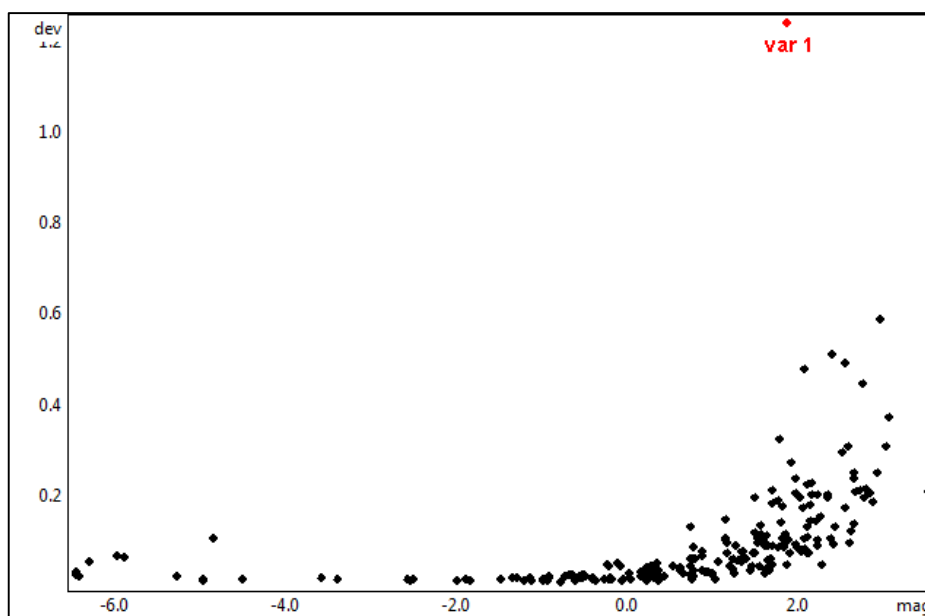


Obrázok 20: Svetelná krivka premennej č. 7

Dátum: 22.4.2010 – premenná hviezda č. 8

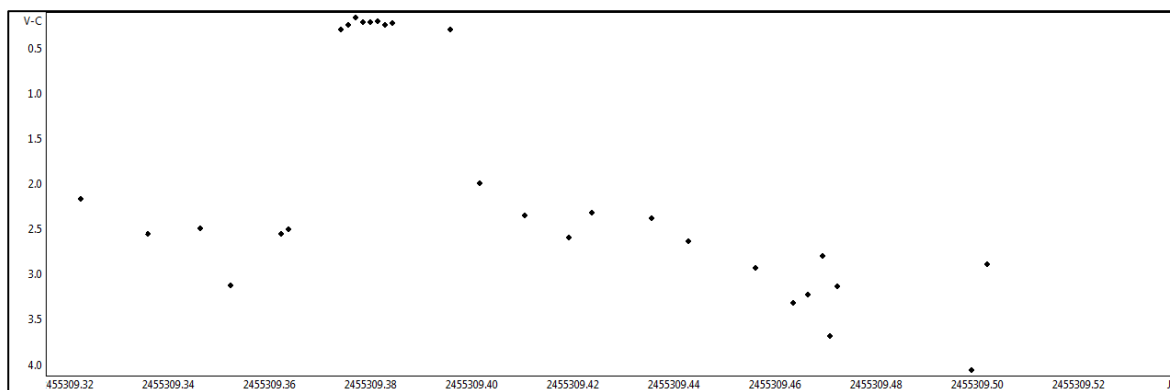
Počet snímok:	137	SSZP:	RA: 14 h 29 m 13,52 s
Čas expozície:	90 s		DE: + 19° 39' 33,1"
Teplota:	- 34,76 ° C		

Graf závislosti dev – mag :



Obrázok 21: Dev - mag závislosť premennej č. 8

Svetelná krivka nájdennej premennej hviezdy:

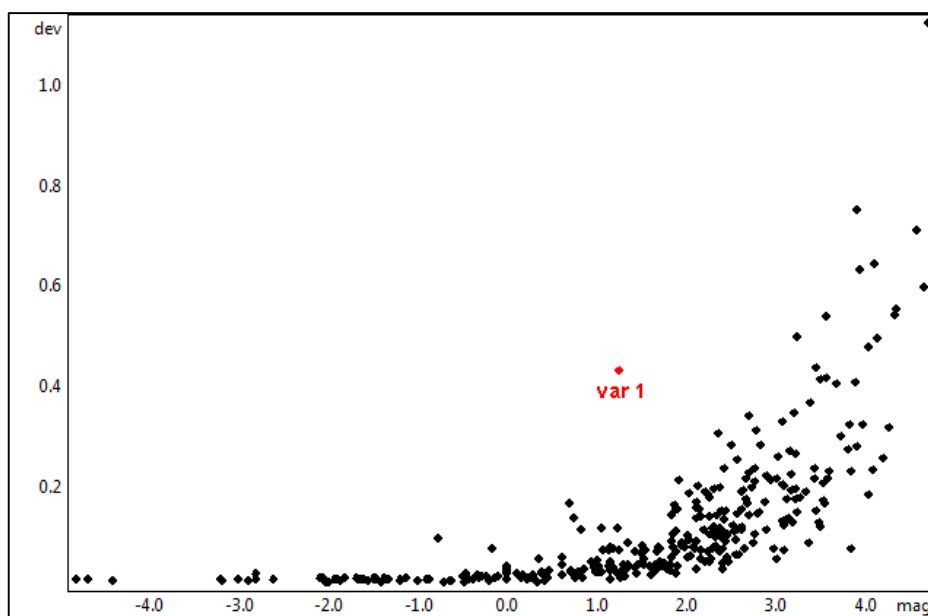


Obrázok 22: Svetelná krivka premennej č. 8

Dátum: 12.5.2010 – premenná hviezda č. 9

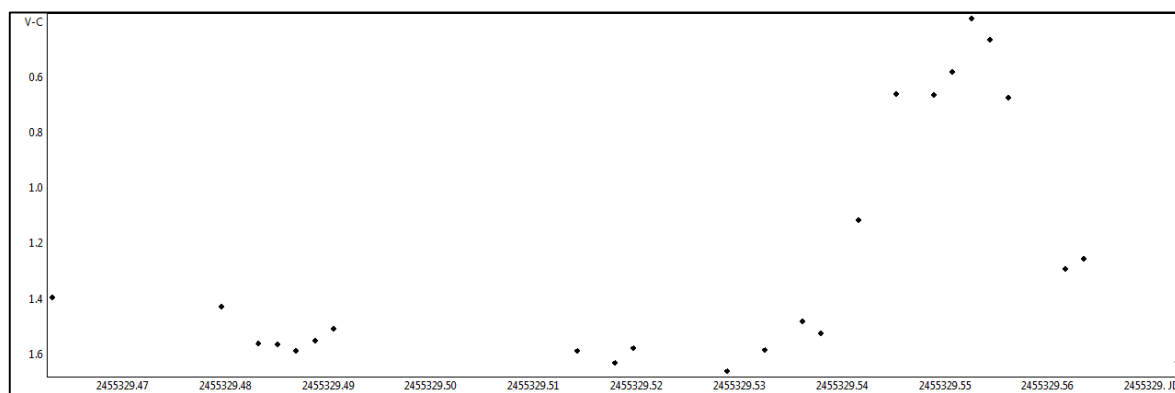
Počet snímok:	55	SSZP:	RA: 15 h 37 m 14,04 s
Čas expozície:	120 s		DE: + 18° 45' 32,4"
Teplota:	- 30 ° C		

Graf závislosti dev – mag :



Obrázok 23: Dev - mag závislosť premennej č. 9

Svetelná krivka nájdennej premennej hviezdy:

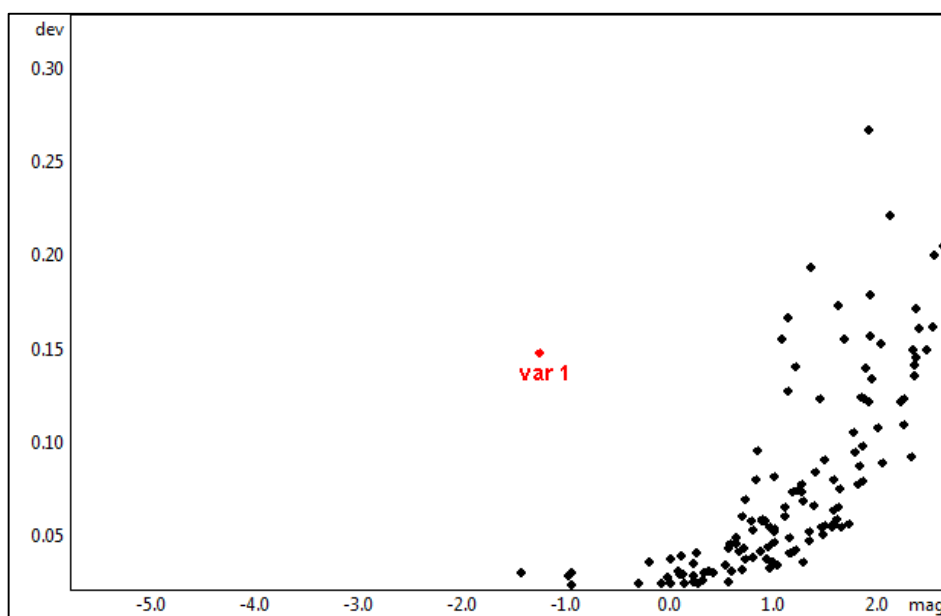


Obrázok 24: Svetelná krivka premennej č. 9

Dátum: 22.5.2010 – premenná hviezda č. 10

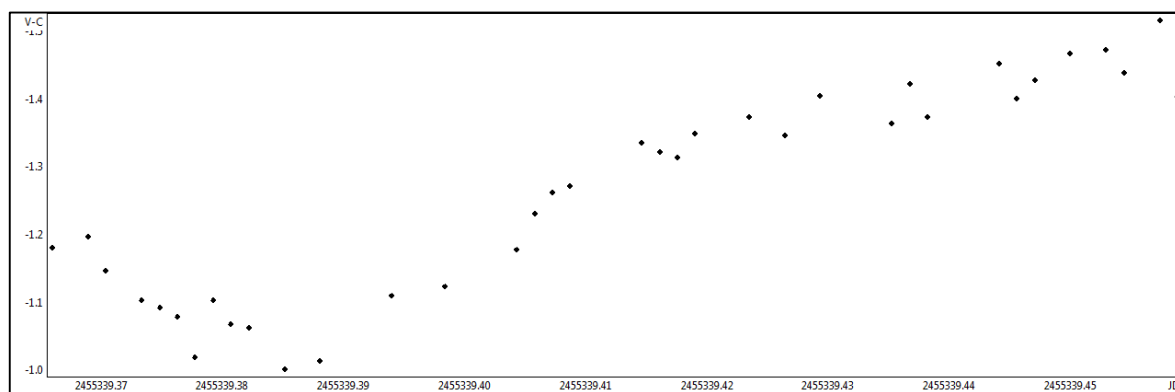
Počet snímok:	49	SSZP:	RA:	15 h 29 m 38,68 s
Čas expozície:	90 s		DE:	+ 31° 30' 29,1"
Teplota:	- 30 ° C			

Graf závislosti dev – mag :



Obrázok 25: Dev - mag závislosť premennej č. 10

Svetelná krivka nájdenej premennej hviezdy:

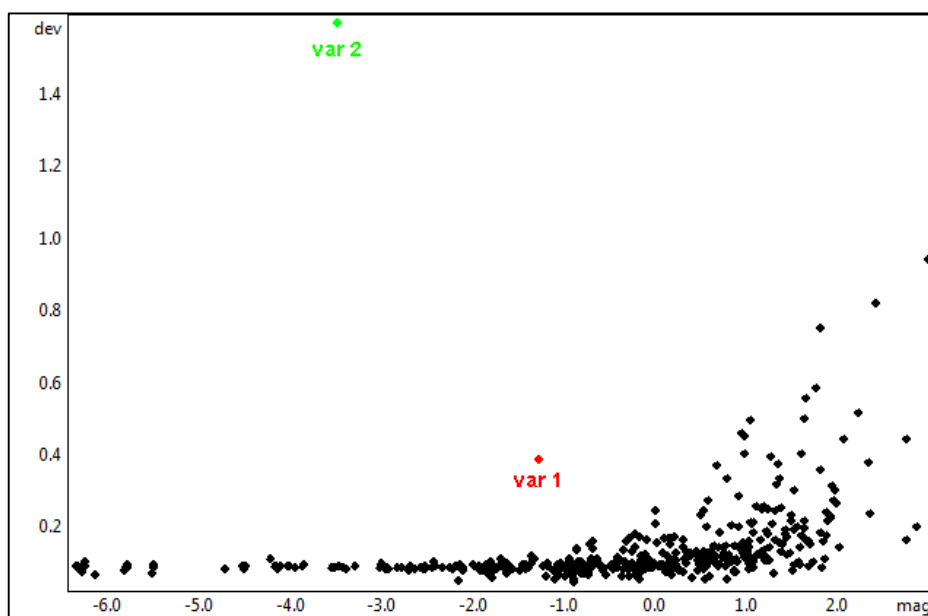


Obrázok 26: Svetelná krivka premennej č. 10

Dátum: 14.6.2010 – premenná hviezda č. 11 a 12

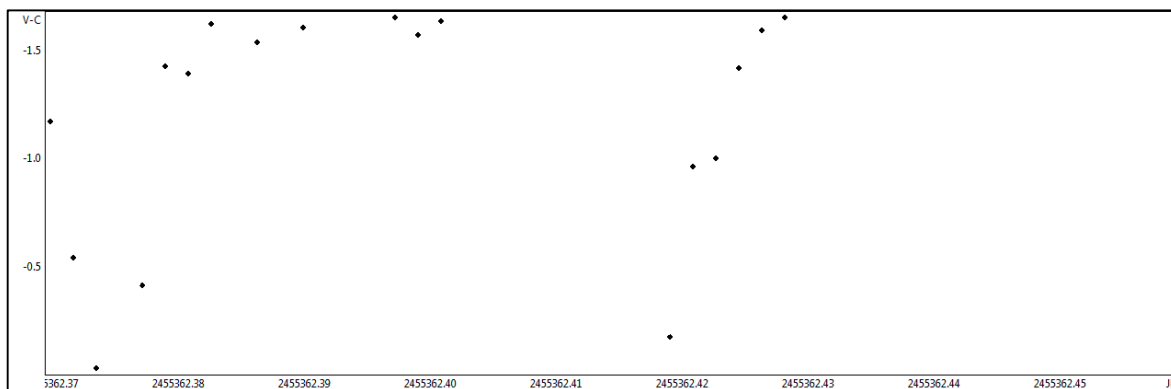
Počet snímok:	51	SSZP:	RA: 15 h 58 m 50,72 s
Čas expozície:	120 s		DE: - 5° 32' 25,2"
Teplota:	- 30 ° C		

Graf závislosti dev – mag :



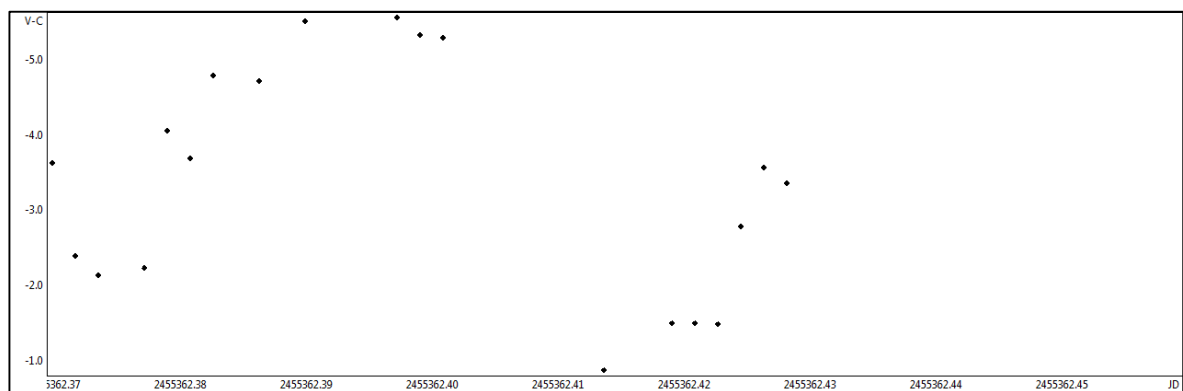
Obrázok 27: Dev - mag závislosť premennej č. 11 a 12

Svetelná krivka prvej nájdenej premennej hviezdy:



Obrázok 28: Svetelná krivka premennej č. 11

Svetelná krivka druhej nájdenej premennej hviezdy:

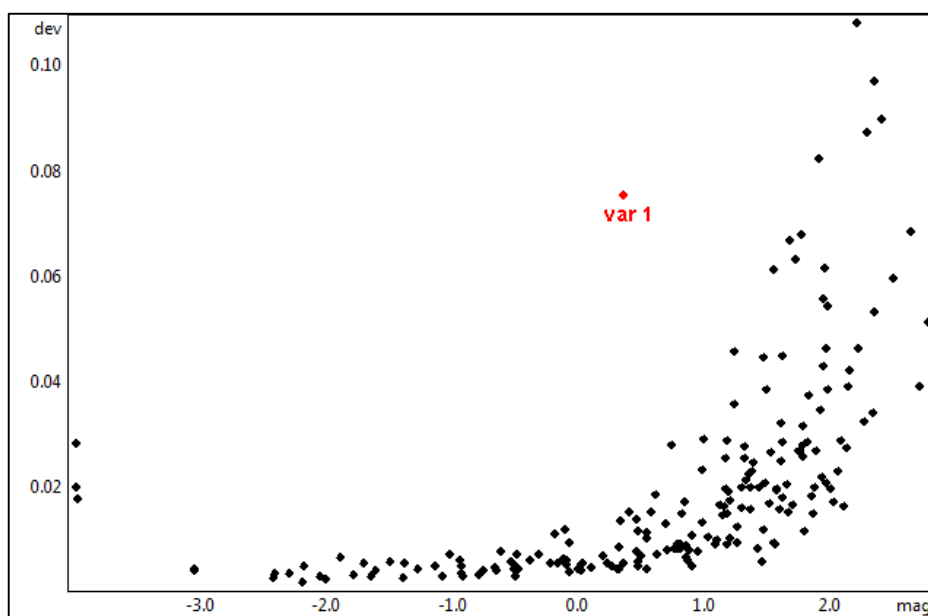


Obrázok 29: Svetelná krivka premennej č. 12

Dátum: 19.6.2010 – premenná hviezda č. 13

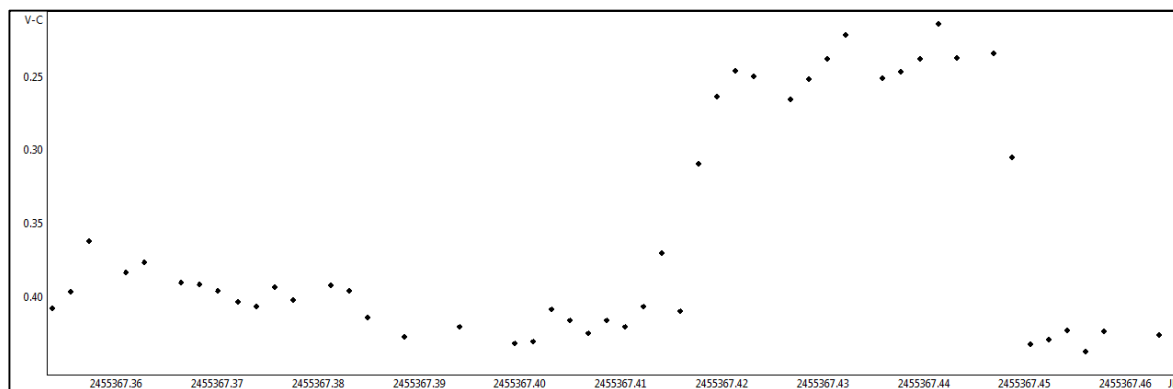
Počet snímok:	52	SSZP:	RA: 15 h 55 m 41,59 s
Čas expozície:	120 s		DE: - 5° 42' 54,1"
Teplota:	- 30 ° C		

Graf závislosti dev – mag :



Obrázok 30: Dev - mag závislosť premennej č. 13

Svetelná krivka nájdennej premennej hviezdy:

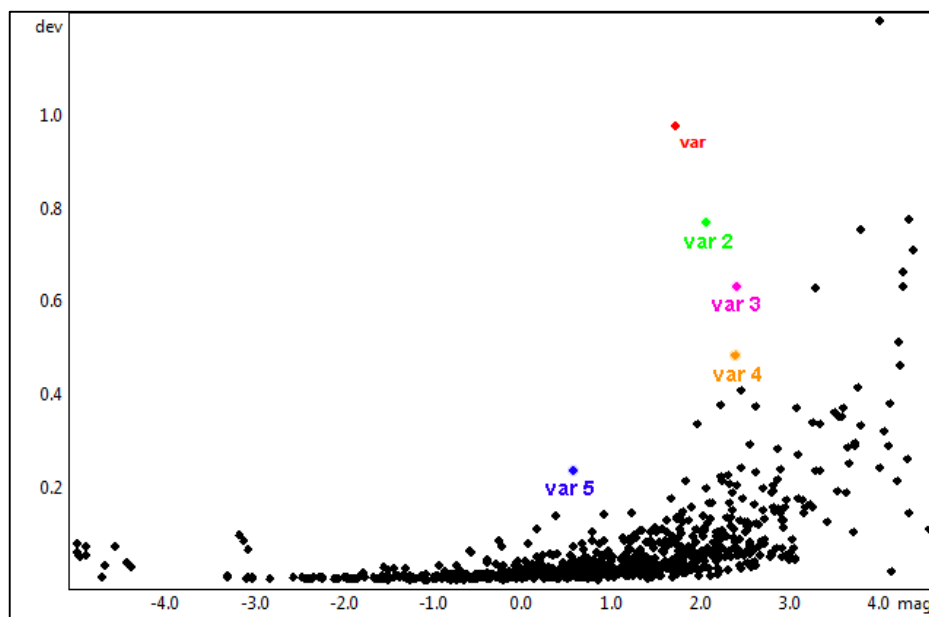


Obrázok 31: Svetelná krivka premennej č. 13

Dátum: 30.5.2010 – premenná hviezda č. 14, 15, 16, 17 a 18

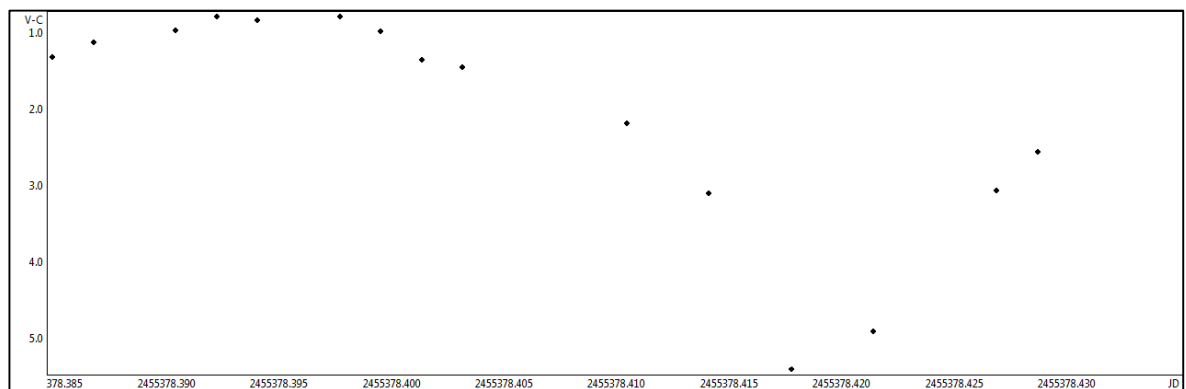
Počet snímok:	26	SSZP:	RA: 20 h 28 m 9,66 s
Čas expozície:	120 s	DE:	+ 8° 57' 2,5"
Teplota:	- 24,76 ° C		

Graf závislosti dev – mag :



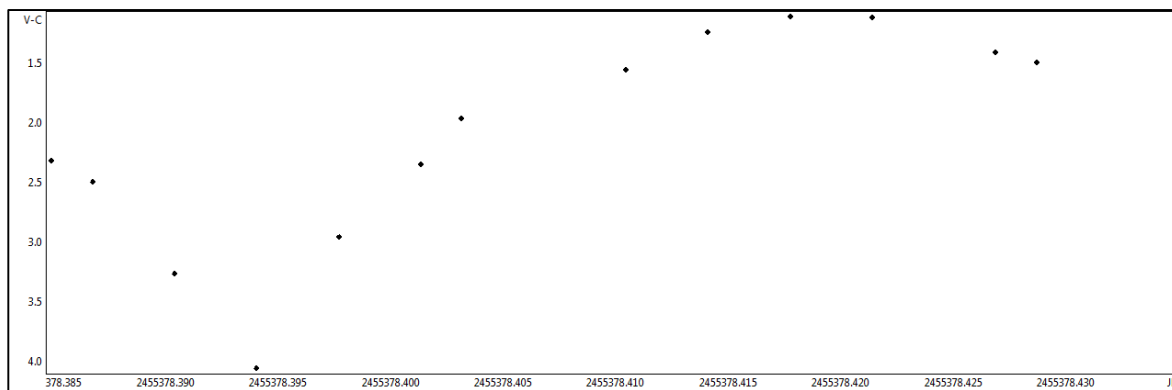
Obrázok 32: Dev - mag závislosť premenných č. 14, 15, 16, 17 a 18

Svetelná krivka prvej nájdenej premennej hviezdy:



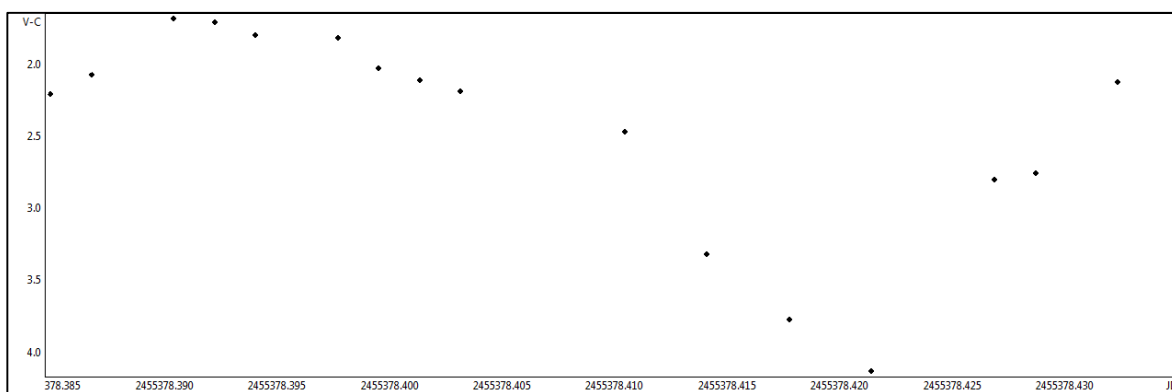
Obrázok 33: Svetelná krivka premennej č. 14

Svetelná krivka druhej nájdenej premennej hviezdy:



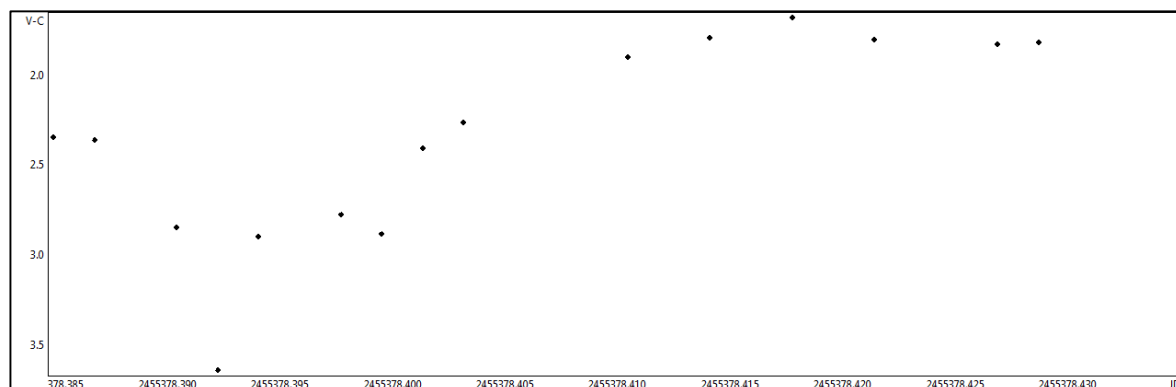
Obrázok 34: Svetelná krivka premennej č. 15

Svetelná krivka tretej nájdenej premennej hviezdy:



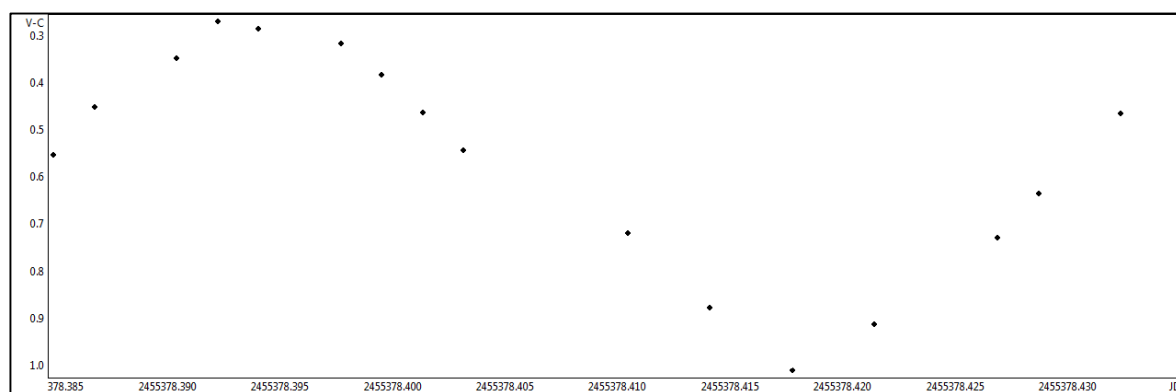
Obrázok 35: Svetelná krivka premennej č. 16

Svetelná krivka štvrtej nájdenej premennej hviezdy:



Obrázok 36: Svetelná krivka premennej č. 17

Svetelná krivka piatej nájdenej premennej hviezdy:



Obrázok 37: Svetelná krivka premennej č. 18

2. DISKUSIA

Cieľom tejto kapitoly je získané výsledky analyzovať. V jej prvej časti sa zamierame na analýzu premennosti častí hviezdnej oblohy, na ktorých boli vykonané pozorovania. Premennosťou bude podiel počtu premenných hviezd a počtu všetkých hviezd na danej snímke. V druhej časti kapitoly sa pokúsime nájsené premenné hviezdy identifikovať v katalógoch premenných hviezd, zistiť ich mená, periódy a v stručnosti opísať o aké typy premenných hviezd ide.

2.1. Určenie premennosti

V práci sme analyzovali kalibrované snímky z 57 pozorovaní hviezdnej oblohy na AGO Modra. Pomocou programu *Muniwin* sme našli spolu 18 premenných hviezd na 12-tich pozorovaniach. Štatisticky z toho vyplýva, že premenné hviezdy sme našli na 21,05 %-ách pozorovaní.

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené premennosti snímok 12-tich pozorovaní, na ktorých boli nájsené premenné hviezdy:

	Počet snímok	Počet hviezd na snímke	Počet premenných na snímke	% premenných hviezd
26.1	204	290	1	0,344
20.3	101	296	2	0,675
22.3	123	327	1	0,306
8.4	61	366	1	0,273
9.4	73	242	1	0,413
18.4	92	425	1	0,235
22.4	137	397	1	0,252
12.5	55	614	1	0,163
22.5	49	338	1	0,296
14.6	51	747	2	0,268
19.6	52	598	1	0,167
30.6	26	1442	5	0,347
priemer	85	507	1,5	0,312

Tabuľka 3: Premennosť pri jednotlivých pozorovaniach

Z tejto štatistiky vidíme, že priemerne sa na jednom pozorovaní vytvorilo 85 pracovných snímok. Na jednej snímke našiel *Muniwin* v priemere 507 hviezd, z toho v priemere 1,5 premenných. Z týchto údajov sme na snímkach určili priemernú hodnotu premennosti na 0,312 % .

2.2. Identifikácia nájdených premenných

Ďalej sme nájdené premenné hviezdy identifikovali na základe ich súradníc v katalógoch premenných hviezd. Na tento účel bol použitý online súhrnný katalóg VSX a program *Cartes du Ciel*. V katalógu sa nám podarilo identifikovať spolu 10 z 18 nájdených premenných hviezd. V tejto časti uvedieme ich mená, periód, typy a ich polohy na hviezdnej oblohe v epoche J2000.0.

- **Dátum: 26.1.2010 – premenná hviezda č. 1**

Katalógové meno: LINEAR 5649548	Súhvezdie: Rak
Periód: 0,277660 dní (6,6638 hodín)	Súradnice: RA: 09 h 03 m 18,75 s
Typ premennosti: EW	DE: + 23° 46' 17,7"

Premenná hviezda typu W Ursae Majoris. Zákrytové dvojhviezdy tohto typu majú typické periód kratšie ako 1 deň, jej hviezdy sú elipsoidálne a veľmi blízko seba, kvôli čomu nie je možné zo svetelnej krivky presne určiť čas začiatku a konca zákrytu.

- **Dátum: 20.3.2010 – premenná hviezda č. 2**

Katalógové meno: -	Súhvezdie: Vlasy Bereniky
Periód: -	Súradnice: RA: 12 h 19 m 15,98 s
Typ premennosti: -	DE: + 28° 36' 29,6"

Túto premennú hviezdu sme v katalógoch známych premenných hviezd nenašli. Po preskúmaní snímok sme zistili, že zmena jasnosti tejto hviezdy bola spôsobená prechodom asteroidu v jej blízkosti.

- **Dátum: 20.3.2010 – premenná hviezda č. 3**

Katalógové meno: CSS_J121803.3+283833	Súhvezdie: Vlasý Bereniky
Periódá: 0,405674 dní (9,7362 hodín)	Súradnice: RA: 12 h 18 m 3,35 s
Typ premennosti: RRD	DE: + 28° 55' 12,1"

Premenná hviezda typu RR Lyrae. Hviezdy tohto typu sú pulzujúce premenné s typickými periódami menšími ako 1,5 dní. Hviezdy typu RRD pulzujú v dvoch módoch.

- **Dátum: 22.3.2010 – premenná hviezda č. 4**

Katalógové meno: CSS_J125650.0+044945	Súhvezdie: Panna
Periódá: 0,405674 dní (9,7362 hodín)	Súradnice: RA: 12 h 56 m 50,01 s
Typ premennosti: RRAB	DE: + 05° 05' 58,6"

Premenná hviezda typu RR Lyrae. Hviezdy tohto typu sú pulzujúce premenné. Hviezdy typu RRAB majú asymetrické svetelné krivky a majú typické periódy 0,3 až 1,2 dní. Pulzujú v základnom móde.

- **Dátum: 8.4.2010 – premenná hviezda č. 5**

Katalógové meno: -	Súhvezdie: Panna
Periódá: -	Súradnice: RA: 12 h 34 m 32 s
Typ premennosti: -	DE: + 02° 14' 26,4"

Túto premennú hviezdu sme v katalógoch známych premenných hviezd nenašli. Po preskúmaní snímok sme zistili, že zmena jasnosti tejto hviezdy bola spôsobená prechodom riedkeho oblaku pred zorným poľom.

- **Dátum: 4.9.2010 – premenná hviezda č. 6**

Katalógové meno: BN Vir	Súhvezdie: Panna
Periódá: 0,6450506 dní (15,481216 hodín)	Súradnice: RA: 12 h 34 m 13,93 s
Typ premennosti: RRAB	DE: + 03° 13' 48,4"

Premenná hviezda typu RR Lyrae. Hviezdy tohto typu sú pulzujúce premenné. Hviezdy typu RRAB majú asymetrické svetelné krivky a majú typické periódy 0,3 až 1,2 dní. Pulzujú v základnom móde.

- **Dátum: 18.4.2010 – premenná hviezda č. 7**

Katalógové meno: V0582 Vir

Súhvezdie: Panna

Periódá: 0,6040767 dní (14,49784 hodín)

Súradnice: RA: 14 h 37 m 13,83 s

Typ premennosti: RRAB

DE: + 02° 46' 19,3"

Premenná hviezda typu RR Lyrae. Hviezdy tohto typu sú pulzujúce premenné. Hviezdy typu RRAB majú asymetrické svetelné krivky a majú typické periódy 0,3 až 1,2 dní. Pulzujú v základnom móde.

- **Dátum: 22.4.2010 – premenná hviezda č. 8**

Katalógové meno: DZ Boo

Súhvezdie: Pastier

Periódá: neurčená

Súradnice: RA: 14 h 29 m 53,88 s

Typ premennosti: SRD

DE: + 19° 35' 08,3"

Premenné hviezdy typu SRD sú polopravidelné pulzujúce premenné. Sú to obry alebo nadobry, ktoré vykazujú značnú periodicitu v zmenách jasnosti, sprevádzanú alebo niekedy prerušovanú rôznymi nepravidelnosťami. Ich typické periódy sú v rozsahu 20 až 2000 dní. Na našej svetelnej krivke je viditeľný iba fragment periódy.

- **Dátum: 12.5.2010 – premenná hviezda č. 9**

Katalógové meno: LX Ser

Súhvezdie: Had

Periódá: 0,158432 dní (3,8023798 hodín)

Súradnice: RA: 15 h 38 m 00,09 s

Typ premennosti: NL/VY+E

DE: + 18° 52' 3,3"

Premenné hviezdy typu E sú zákryté dvojhviezdy. Premenné typu NL a VY sú podobné novám. NL/VY hviezdy sú kataklizmatické binárne systémy s bielym trpaslíkom. Typické periódy sú 0,12 až 0,18 dní.

- **Dátum: 22.5.2010 – premenná hviezda č. 10**

Katalógové meno: LINEAR 14647892	Súhvezdie: Severná koruna
Periódá: 0,324203 dní (7,7809 hodín)	Súradnice: RA: 15 h 29 m 25,83 s
Typ premennosti: EW	DE: + 31° 26' 17,9"

Premenná hviezda typu W Ursae Majoris. Zákrytové dvojhviezdy tohto typu majú typické periódy kratšie ako 1 deň, jej hviezdy sú elipsoidálne a veľmi blízko seba, kvôli čomu nie je možné zo svetelnej krivke presne určiť čas začiatku a konca zákrytu.

- **Dátum: 14.6.2010 – premenná hviezda č. 11**

Katalógové meno: LINEAR 15918509	Súhvezdie: Had
Periódá: 0,27912 dní (6,699 hodín)	Súradnice: RA: 15 h 59 m 29,07 s
Typ premennosti: RRC	DE: + 05° 39' 37"

Premenná hviezda typu RR Lyrae. Hviezdy tohto typu sú pulzujúce premenné. Hviezdy typu RRAB majú skoro symetrické svetelné krivky a majú typické periódy 0,2 až 0,5 dní.

- **Dátum: 14.6.2010 – premenná hviezda č. 12**

Katalógové meno: LINEAR 15918509	Súhvezdie: Had
Periódá: 0,044295 dní (63,785 minút)	Súradnice: RA: 15 h 57 m 07,52 s
Typ premennosti: DSCT	DE: + 05° 34' 10,5"

Premenná hviezda typu δ Scuti. Hviezdy tohto typu sú pulzujúce premenné s periódami od 0,01 až 0,2 dní. Svetelné krivky týchto premenných sú veľmi rôznorodé.

- **Dátum: 19.6.2010 – premenná hviezda č. 13**

Katalógové meno: -	Súhvezdie: Had
Periódá: -	Súradnice: RA: 15 h 55 m 46,29 s
Typ premennosti: -	DE: + 05° 50' 34,8"

Túto premennú hviezdu sme v katalógoch známych premenných hviezd nenašli. Po preskúmaní snímok sme zistili, že zmena jasnosti tejto hviezdy bola spôsobená presýtením pixelu, čím sa vytvorila v okolí hviezdy saturácia.

- **Dátum: 30.6.2010 – premenná hviezda č. 14**

Katalógové meno: -	Súhvezdie:	Delfín
Periódá: -	Súradnice:	RA: 20 h 27 m 56,45 s
Typ premennosti: -		DE: + 08° 52' 55,5"

Túto premennú hviezdu sme v katalógoch známych premenných hviezd nenašli. Môže to byť novoobjavená premenná hviezda.

- **Dátum: 30.6.2010 – premenná hviezda č. 15**

Katalógové meno: -	Súhvezdie:	Delfín
Periódá: -	Súradnice:	RA: 20 h 27 m 53,38 s
Typ premennosti: -		DE: + 08° 58' 56,1"

Túto premennú hviezdu sme v katalógoch známych premenných hviezd nenašli. Môže to byť novoobjavená premenná hviezda.

- **Dátum: 30.6.2010 – premenná hviezda č. 16**

Katalógové meno: -	Súhvezdie:	Delfín
Periódá: -	Súradnice:	RA: 20 h 28 m 28,72 s
Typ premennosti: -		DE: + 08° 58' 12,4"

Túto premennú hviezdu sme v katalógoch známych premenných hviezd nenašli. Môže to byť novoobjavená premenná hviezda.

- **Dátum: 30.6.2010 – premenná hviezda č. 17**

Katalógové meno: -	Súhvezdie:	Delfín
Periódá: -	Súradnice:	RA: 20 h 27 m 53,96 s
Typ premennosti: -		DE: + 08° 58' 36,2"

Túto premennú hviezdu sme v katalógoch známych premenných hviezd nenašli. Môže to byť novoobjavená premenná hviezda.

- **Dátum: 30.6.2010 – premenná hviezda č. 18**

Katalógové meno: -

Súhvezdie: Delfín

Periódá: -

Súradnice: RA: 20 h 27 m 53,85 s

Typ premennosti: -

DE: + 08° 53' 47,00"

Túto premennú hviezdu sme v katalógoch známych premenných hviezd nenašli. Môže to byť novoobjavená premenná hviezda.

2.3. Zhrnutie

Na skúmaných snímkach sme pomocou fotometrie v programe *Muniwin* zistili premennosť pri 18-ich hviezdach. Vyhľadáním týchto hviezd v katalógu premenných hviezd a podrobnejšou analýzou snímkov sme zistili, že 10 z týchto hviezd patrí medzi katalogizované premenné a 5 hviezd medzi možné novoobjavené premenné. Ďalšie 3 hviezdy nepatria medzi premenné, zmeny v ich jasnosti boli spôsobené prechodom asteroidu, oblaku a saturáciou pixelu.

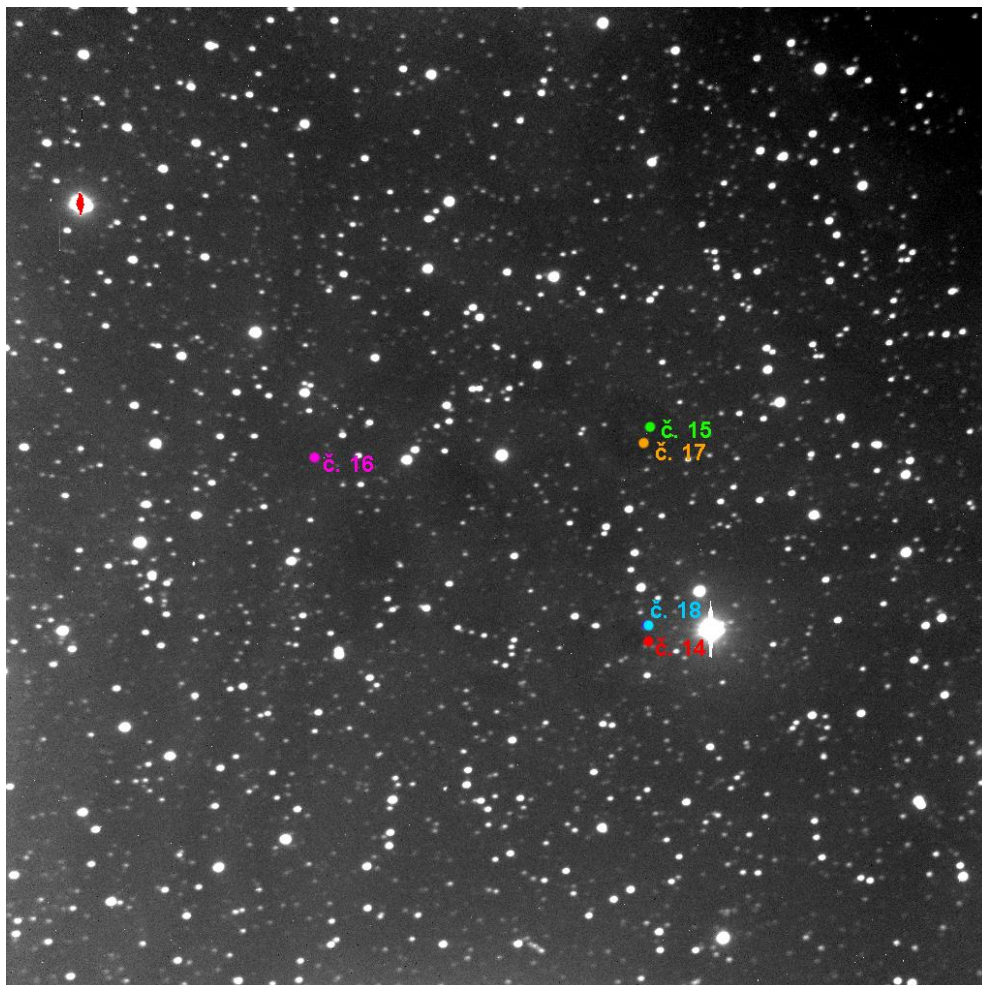
V nasledujúcej tabuľke sú uvedené hlavné typy premenných hviezd nájdených pri tejto práci a ich počet:

Typ	RR Lyrae (RR)	W Ursae Majoris (EW)	SRD	NL/VY	δ Scuti (DSCT)
Počet	4	2	1	1	1

Tabuľka 4: Typy a počty nájdených premenných

Nájdené premenné hviezdy patria medzi krátkoperiodické premenné s periódami niekoľkých hodín. Výnimkou je polopravidelná premenná DZ Boo (premenná hviezda č.8), ktorá zatiaľ nemá určenú periódu a pri našom pozorovaní sme získali len časť jej svetelnej krivky. V dôsledku toho by bola premenná DZ Boo vhodným kandidátom na dlhodobejšie pozorovanie. Ďalšími kandidátmi na dlhodobejšie pozorovanie sú predpokladané premenné hviezdy číslo 14 až číslo 18. Tieto hviezdy nie sú katalogizované premenné, preto by bolo vhodné ich v budúcnosti dlhodobejšie pozorovať a potvrdiť, respektíve vyvrátiť ich

premennosť. Ako pomocný materiál k týmto pozorovaniam pripájame snímku s vyznačenými polohami týchto hviezd, ako aj ich súradnice.



Obrázok 38: Polohy predpokladaných premenných

	RA	DE
č. 14	20 h 27 m 56,45 s	+ 08° 52' 55,5"
č. 15	20 h 27 m 53,38 s	+ 08° 58' 56,1"
č. 16	20 h 28 m 28,72 s	+ 08° 58' 12,4"
č. 17	20 h 27 m 53,96 s	+ 08° 58' 36,2"
č. 18	20 h 27 m 53,85 s	+ 08° 53' 47,00"

Tabuľka 5: Súradnice predpokladaných premenných

ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo spoznať princípy CCD fotometrie a získané vedomosti použiť na spracovanie pozorovaní z AGO Modra. CCD kamery sú dôležitým pilierom súčasných astronomických pozorovaní a poskytujú kvalitné digitálne snímky, na ktorých je možné uskutočniť fotometriu počítačovým softvérom.

Tu spracované snímky boli vytvorené na AGO Modra od januára do konca júna v roku 2010. Tieto surové astronomické snímky boli najskôr podrobené fotometrickej kalibrácii. Kalibráciu pomocou master bias, master dark a master flat snímok je potrebné vykonať, aby sa z pracovných snímok odstránili chyby vzniknuté kvantovými procesmi na čípe CCD kamery a chyby, ktoré boli dôsledkom elektroniky a optickej sústavy.

Fotometria vykonaná na týchto snímkach v programe *Muniwin* nám priniesla výsledky o premennosti daných častí hviezdnej oblohy. Celkovo sme našli známky premennosti pri 15-tich hviezdach. 10 z týchto hviezd sme dokázali pomocou ich súradníc identifikovať v katalógoch známych premenných hviezd. Ďalších 5 hviezd sme v katalógoch premenných hviezd nenašli. Na základe tvarov ich svetelných kriviek môže ísť o novoobjavené premenné hviezdy, ktoré sú vhodnými kandidátmi na ďalšie pozorovania.

Získané výsledky svedčia o veľkom potenciáli digitálnej fotometrie a astronomických CCD kamier. V tejto práci sa nám podarilo nájsť 15 premenných hviezd počas skúmaného polročného časového intervalu. Presné určenie ich fyzikálnych parametrov by si však vyžadovalo ďalší výskum aj s použitím spektroskopie. Metódy použité v tejto práci sú však spoľahlivé pri určovaní zmien v jasnostiach hviezd, teda pri hľadaní známych aj nových premenných hviezd.

BIBLIOGRAFIA

AAVSO, *The International Variable Star Index*, Version 1.1, 2017

BECK S., HENDEN A., TEMPLETON M., *The AAVSO Guide to CCD Photometry*. 2015

HOFFLEIT, DORRIT. *History of the discovery of Mira stars*. JAAVSO Volume 25, 1997.

IAUFWG, *Definition of the Flexible Image Transport System (FITS)*. 2016

MOTL D., *C – Munipack 1.1: User's manual*. Version 1.7, 2007

ROMANISHIN W., *An Introduction to Astronomical Photometry Using CCDs*. University of Oklahoma, 2006

SAMUS N.N., KAZAROVETS E.V., DURLEVICH O.V., *Catalogs of variable stars, current and future*. Proceedings of the International Astronomical Union, 2009.

SAMUS N.N., KAZAROVETS E.V., DURLEVICH O.V., KIREEVA N.N., PASTUKHOVA E.N., *General Catalogue of Variable stars: Version GCVS 5.1*, Astronomy Reports, 2017, vol. 61, No. 1.

SHAMES P., TODY D., *A User's Introduction to the IRAF Command Language*. 1986

VANÝSEK V., *Základy astronomie a astrofyziky*, Academia, 1980.