

METODOLÓGIA URČOVANIA PREMENNOSTI STELÁRNYCH OBJEKTOV A JEJ VYUŽITIE PRI OBJAVE NOVÝCH PREMENNÝCH HVIEZD NA SLOVENSKU.

Karol Petrik^{1,2}, Gabriel Szász^{2,3} a Marek Chrastina^{2,3}

¹Katedra fyziky, Pedagogická fakulta, Trnavská univerzita,
Priemyselná 4, P. O. BOX 9, 918 43 Trnava, SR
e-mail: kpetrik@astronyx.sk

²Hvezdáreň a planetárium, Sládkovičova 41, 920 01 Hlohovec, SR

³Institut teoretické fyziky a astrofyziky, Masarykova univerzita, 611 37 Brno, ČR

Abstract: The paper is devoted to the description of methodology for determination of point light source variability, as well as to data reduction and data analysis with respect to obtain basic physical characteristics of new variable stars. We characterize basic photometric behaviour of new variables discovered by our group in the fields of BX Pegasi and V Sagittae.

Key words: CCD photometry, data reduction, data analysis, discovery of variable stars

1. Úvod

Hviezdy a hviezdne sústavy sú príliš ďaleko na to, aby sme boli schopní rozlíšiť detaily na ich povrchu. Môžeme merať len celkový tok vyžiarený smerom k pozorovateľovi. Z toho dôvodu sú pre nás najzaujímavejšie objekty, pri ktorých sa tento tok žiarenia výrazne mení v závislosti od času. Tieto objekty klasifikujeme ako premenné hviezdy. Na základe súčasných modelov evolúcie hviezd usudzujeme, že každá hviezda sa v určitých obdobiach svojho života stáva premennou, preto štúdium premenných hviezd hrá dôležitú úlohu v modernej astrofyzike.

Jednou z dvoch základných metód pozorovania premenných hviezd je fotometria - meranie celkovej (integrálnej) hodnoty toku žiarenia v rámci určitého rozsahu vlnových dĺžok (spektrálneho pásma). Výsledkom je závislosť toku žiarenia od času — svetelná krivka. Fotometriou vo viacerých spektrálnych pásmach súčasne získavame približný obraz o stave spektra pozorovaného objektu v závislosti od času. Fotometrické meranie vždy potrebujeme kalibrovať referenčným zdrojom - fotometrickým štandardom. Tie boli vybrané dohodou, je ich desať a sú rovnomerne rozložené po celej oblohe.

V observačnej praxi sa využíva takmer výhradne diferenciálna fotometria. Využíva porovnávacie hviezdy, odvodené od fotometrických štandardov, nachádzajúce sa v zornom poli pozorovaného objektu. Meria sa rozdiel jasnosti medzi premennou a porovnávacou hviezdou.

Ak sú hviezdy uhlovo dostatočne blízko seba (menej ako 0,5 stupňa), je možné úplne zanedbať aj efekt atmosférickej extinkcie, pretože na jasnosť sledovaného objektu vplýva v prvom priblížení rovnako ako na jasnosť porovnávacej hviezdy. Vďaka malej uhlovej vzdialenosti medzi nimi sa takto výhodne odfiltrujú zmeny jasnosti spôsobené atmosférou.

Pri presnom spracovaní pozorovaní a žiadanej presnosti pod 0,01 mag sa však korekcii na atmosférickú extinkciu v žiadnom prípade nevyhneme [4].

V dnešnej dobe sa na observatóriách používa buď fotoelektrická fotometria alebo CCD fotometria (z angl. Charge Coupled Device – zariadenie zbierajúce náboj). My sa budeme ďalej

zaoberať predovšetkým CCD fotometriou, keďže sme pre získanie pozorovacích dát používali práve CCD kameru.

2. Fotoelektrická a CCD fotometria

Základný rozdiel medzi fotoelektrickou fotometriou a CCD fotometriou je v počte objektov, ktoré môžeme merať súčasne. Zatiaľ čo fotoelektrický fotometer dokáže merať naraz iba jeden, najviac však tri objekty (viackanálová fotometria), CCD kamera sníma celé pole objektov, ktoré sa archivuje a softvérovo premeriava neskôr. CCD fotometria tak prináša v porovnaní s fotoelektrickou fotometriou nasledujúce výhody:

1. Umožňuje simultánne meranie objektu a porovnávacích hviezd.
2. Na meranie objektov je možné aplikovať viac metód.
3. Spolu so sledovaným objektom môžu byť namerané aj iné objekty.

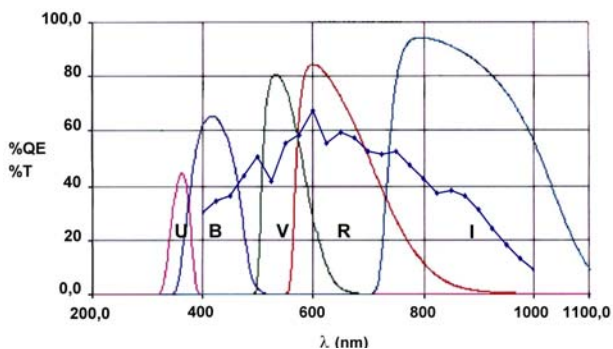
Práve posledná z vyššie uvedených výhod nám umožnila na Observatóriu Hlohovec objaviť v poliach premenných hviezd BX Pegasi a V Sagittae 8 nových premenných hviezd.

Tak fotoelektrickou ako aj CCD fotometriou meriame svetelný tok prichádzajúci zo sledovaných objektov. Pozorovaním v celej oblasti spektrálnej citlivosti detektora bez použitia spektrálnych filtrov, získame hodnoty celkového svetelného toku, sčítané cez všetky dostupné vlnové dĺžky. Ide o pozorovanie v takzvanom integrálnom svetle. Takéto pozorovanie cielene využívame v prípadoch, keď potrebujeme s danou aparatúrou získať buď len základnú predstavu o priebehu svetelných zmien daného objektu (napr. okamih minima zákrytovej premennej hviezdy), alebo ak potrebujeme získať svetelnú krivku objektu s nižšou jasnosťou, ale s dobrým časovým rozlíšením.

Ak však chceme z pozorovania získať aj astrofyzikálnu predstavu o teplote sledovaných objektov, či o zložení samotných objektov alebo ich geometrických vlastnostiach, nevyhnutne potrebujeme merať tok len v spektrálnom pásme vymedzenom použitím filtrov s priepustnosťou žiarenia v rámci daného rozsahu vlnových dĺžok $\Delta\lambda$.

Filter	λ_{\max}	$\Delta\lambda$
U	360 nm	700 nm
B	440 nm	1000 nm
V	550 nm	900 nm
R	650 nm	1000 nm
I	800 nm	1500 nm

Tab. 2: Priepustnosti filtrov UBVRTI pre systém Kron-Cousin (λ_{\max} - maximum priepustnosti filtra, $\Delta\lambda$ - rozsah priepustnosti filtra).



Obr. 1: Kvantová účinnosť CCD kamery ST9-XE a priepustnosť filtrov UBVRTI pre systém Kron-Cousin.

V praxi sa najčastejšie používa štandardizovaný medzinárodný systém *UBV* využívajúci širokopásmové filtre U, B a V (prípadne modifikovaný systém, ktorý rozširuje systém *UBV* o filtre R a I). Pre potreby CCD detektorov, ktoré majú najvyššiu citlivosť v červenej a infračervenej oblasti, vznikol upravený systém filtrov *UBVRTI* nazývaný *Kron-Cousin*.

Systém *UBV* umožňuje kalibrovať merania z rôznych prístrojov a observatórií. Filter V bol navrhnutý podľa citlivosti ľudského oka, filter B vychádza z citlivosti fotografickej emulzie a

filter U má maximum v ultrafialovej oblasti spektra. Filtre R a I pokrývajú červenú, resp. blízku infračervenú oblasť spektra (vid'. Tab.1).

Je potrebné podotknúť, že z astrofyzikálneho hľadiska sú ešte významnejšie úzkopásmové filtre s podstatne užšou šírkou priepustnosti. Tie však výrazne znižujú reálny magnitúdový dosah aparatúry a tak je možné ich použiť pre slabšie zdroje len na ďalekohľadoch s priemerom rádovo 100 cm a viac.

3. Heliocentrický juliánsky dátum

V astronómii sa na počítanie času používa juliánsky dátum (JD). Základom je nepretržité počítanie dní bez delenia na roky a mesiace od 1,5 januára 4713 pred n.l. (s periódou 7980 rokov). Deň v JD začína napoludnie. Juliánsky dátum je vzťahnutý na udalosti pozorované v blízkom okolí Zeme, preto sa správnejšie označuje ako geocentrický juliánsky dátum. Pri väčších vzdialenostiach už nemôžeme zanedbať orbitálny pohyb Zeme v súvislosti s konečnou rýchlosťou šírenia svetla (vzdialenosť Zem–Slnko je ~ 8 svetelných minút). Preto je výhodnejšie pracovať s heliocentrickým juliánskym dátumom. Ten možno vypočítať z geocentrického JD podľa vzťahu:

$$\text{HJD} = \text{JD} + t, \quad (1)$$

kde t je heliocentrická korekcia v dňoch daná vzťahom:

$$t = k \times r \{ \cos \lambda_{\odot} \cos \alpha \cos \delta + \sin \lambda_{\odot} (\sin \varepsilon \sin \delta + \cos \varepsilon \cos \delta \sin \alpha) \}, \quad (2)$$

kde k je konštanta ($k = -0,0057755 \text{ d} \times \text{AU}^{-1}$), r je vzdialenosť Slnka v astronomických jednotkách (AU), λ_{\odot} je ekliptikálna dĺžka Slnka, α , δ sú rovníkové súradnice hviezdy a ε je sklon zemskej osi.

Heliocentrická korekcia patrí k prvým krokom pri spracovaní fotometrických meraní premenných hviezd. Pre analýzu astrofyzikálnych meraní by sa vždy mal používať heliocentrický juliánsky dátum.

4. Diferenciálna fotometria

Diferenciálna fotometria je základná fotometrická metóda používaná pri štúdiu premenných hviezd. Pri použití tejto metódy okrem jasnosti samotnej premennej hviezdy meriame aj jasnosť porovnávacej hviezdy nachádzajúcej sa pokiaľ možno v blízkosti sledovaného objektu. Do detektora nám dopadá okrem svetla samotnej hviezdy aj parazitné svetlo rozptýlené v atmosfére, preto je nevyhnutné vždy zmerať aj jasnosť oblohy v blízkosti meranej hviezdy.

Pri spracovaní merania sa od jasností oboch hviezd odčítajú príslušné jasnosti oblohy a následne sa jasnosť porovnávacej hviezdy odčíta od jasnosti premennej hviezdy. Výsledkom je závislosť rozdielu jasností (Δm) na čase — relatívna svetelná krivka, ktorá už ukazuje zmeny jasnosti spôsobené hviezdou samotnou. Pokiaľ navyše poznáme jasnosť porovnávacej hviezdy v použitom filtri, môžeme získať absolútnu svetelnú krivku (závislosť hviezdnej veľkosti od času) pripočítaním jasnosti porovnávacej hviezdy k relatívnej svetelnej krivke.

Porovnávacia hviezda nesmie byť za žiadnych okolností premenná, preto sa v praxi zvykne používať ešte kontrolná hviezda, voči ktorej sa vzťahuje jasnosť porovnávacej hviezdy. Takto

možno odhaliť prípadnú vlastnú premennosť porovnávacej hviezdy a zároveň tak získame predstavu o rozptyle získanej svetelnej krivky.

5. Analýza svetelnej krivky

Po aplikovaní heliocentrickej korekcie obsahuje svetelná krivka informáciu o vlastnej zmene jasnosti premennej hviezdy v čase. Väčšina pre menných hviezd mení svoju jasnosť periodicky v dôsledku zákrytov zložiek pri ich vzájomnom orbitálnom pohybe. Tieto zákryty vedú k vzniku hlbšieho primárneho minima a plytšieho sekundárneho minima

Základným parametrom, ktorý je možné z fotometrie premenných hviezd určiť, je orbitálna perióda (P_{orb}), t.j. časový interval medzi dvoma po sebe nasledujúcimi primárnymi resp. sekundárnymi minimami.

Pre hľadanie neznámych períód ale aj spresňovanie známych períód existuje mnoho softvérových produktov. Veľmi vhodným je program ALC, ktorý vyvinul P. Pravec pre potreby observatória Astronomického ústavu AV ČR v Ondřejeve. Program z napozorovaných dát generuje fázovú krivku, ktorú prekladá fourierovskou strednou krivkou. Najviac sa pri spracovaní môže použiť 4998 bodov. Dôležité je, že program dokáže postupne iterovať cez rozsah períód a umožňuje tak hľadať najlepšiu periódu. Počas iterácie zobrazuje závislosť rozptylu (χ^2) dát okolo fourierovskej strednej krivky v závislosti na použitej període, tzv. periodogram. Na konci iterácie je možné zobrazit' fázovú krivku pre jednotlivé body na periodograme.

Pokiaľ je už známa perióda (P_{orb}) a jeden okamih primárneho minima (T_0), je možné zostaviť tzv. fázovú krivku, t.j. závislosť jasnosti od orbitálnej fázy. Vzťah medzi fázou (P), HJD, T_0 a P_{orb} je daný rovnicou:

$$P = (HJD - T_0) / P_{orb}, \quad (3)$$

kde $T_0 < HJD$ a $0,0 \leq P < 1,0$ (používa sa len desatinná časť fázy). Výsledná fázová krivka sa zobrazuje v intervale $0,0 \leq P < 1,5$ resp. $0,0 \leq P < 2,0$ (fáza 1,0 je totožná s fázou 0,0), aby boli viditeľné profily primárneho aj sekundárneho minima.

Zostavenie fázovej krivky nám umožňuje naskladať na seba fragmenty svetelnej krivky získané z rôznych nocí a pokryť tak celú fázovú svetelnú krivku sledovaného objektu. Túto metódu však nie je možné použiť v prípade, ak sa svetelná krivka počas jednotlivých períód výrazne mení. Tiež ju nemôžeme aplikovať na objekty, ktoré nemajú známu orbitálnu periódu (napr. z dôvodu nedostatku pozorovacieho materiálu).

Možno očakávať, že orbitálna perióda nebude stála, ale môže sa meniť v dôsledku fyzikálnych zmien v sústave. Pre štúdium príčin zmeny períódy hviezdnych sústav sa používa tzv. (O-C) diagram, z angl. O – observed a C – computed), ktorý zobrazuje rozdiely medzi pozorovanými a vypočítanými okamihmi miním. Pre výpočet okamihu minima platí vzťah:

$$T_{min} = T_0 + P_{orb} \times E, \quad (4)$$

kde T_0 je referenčný okamih minima, P_{orb} je referenčná orbitálna perióda a E je epocha minima (počet períód od okamihu T_0 ; pre $T_{min} < T_0$ je $E < 0$). Pre zostavenie (O – C) diagramu potrebujeme určiť hodnoty (O – C) pre jednotlivé pozorované okamihy miním podľa vzťahu:

$$(O - C) = T(O)_{min} - T(C)_{min}, \quad (5)$$

kde $T(C)_{\min}$ je okamih minima vypočítaný podľa vzťahu (4) pre epochu pozorovaného minima $T(O)_{\min}$. Hodnoty $(O - C)$ sa zvyčajne vynášajú do grafu voči epoche.

Ako sme už spomenuli vyššie, z priebehu závislosti hodnôt $(O - C)$ na čase je možné získať informácie o zmene periódy v skúmanom časovom intervale a tým častokrát aj o evolučnom stave pozorovanej sústavy.

Na určenie okamihov mínim sa dá použiť napríklad program AVE [1], ktorý používa Kweevan Woerdenovu metódu [5]. Dôležité je, že výstupom tejto metódy je aj chyba určenia minima.

Pre zostavenie $(O - C)$ diagramov je zase možné použiť program OCParse [7], ktorý spracuje dátový súbor obsahujúci pozorované okamihy mínim. Po zadaní P_{orb} a T_0 vygeneruje nový dátový súbor s hodnotami $(O - C)$ a epochou E.

6. Pozorovanie a základná redukcia CCD dát

Prvým krokom pri CCD fotometrii premenných hviezd je získanie série snímok premennej hviezdy pokiaľ možno cez viaceré fotometrické filtre. Každý takto získaný snímok je tzv. „raw frame“, teda nespracovaný a neošetrený, „surový“ snímok z kamery. Pre ovládanie kamery a vyčítavanie snímok sa môže použiť s kamerou dodávaný ovládací program SBIG CCDOPS [8], my sme však používali prepracovanejší a sofistikovanejší softvér Maxim DL [3].

Proces redukcie snímok začína ich kalibráciou, teda odfiltrovaním nežiadúcich efektov spôsobených elektronikou kamery a nedokonalosťou optiky použitého prístroja. Používajú sa dva druhy kalibračných snímokov:

- *Temný snímok* („dark frame“) — snímok získaný pri expozícii, počas ktorej nedopadá na čip kamery žiadne svetlo. Takýmto spôsobom získame informáciu o tepelnom šume, ktorý sa akumuluje pri konkrétnej teplote a expozičnej dobe. V praxi je nevyhnutné vždy exponovať väčšie množstvo snímok (~ 100) pre zvolenú expozičnú dobu a teplotu, aby bolo možné vyhladiť štatistické fluktuácie tepelného šumu.
- *Vyrovnávací snímok* („flat field“) — snímok rovnomerne osvetlenej plochy. Obsahuje informáciu o nerovnomernosti osvetlenia čipu a tiež o jeho citlivosti. Na Observatóriu Hlohovec sa tieto snímky získavajú expozíciou oblohy počas súmraku. Opäť je vhodné získať viac snímok, aby bolo možné vyhladiť fluktuácie osvetlenia čipu.

Na Observatóriu Hlohovec bol na celý proces kalibrácie použitý softvérový balík C-Munipack vyvinutý Ing. D. Motlom z Brna [6]. Kalibrácia má nasledovný postup:

1. Vytvorenie priemerného temného snímku (tzv. „master dark“ snímku), ktorý vznikne spriemerovaním sady temných snímok exponovaných rovnakou expozičnou dobou a pri rovnakej teplote.
2. Odstránenie tepelného šumu z jednotlivých vyrovnávacích snímok (exponovaných v rámci jednej noci) odčítaním master dark snímku. Keďže každý vyrovnávací snímok môže byť robený inou expozičnou dobou, spravidla je pre uskutočnenie tohto kroku potrebná sada master dark snímokov pre rôzne expozičné doby.
3. Vytvorenie priemerného vyrovnávacieho snímku (tzv. „master flat“ snímku), ktorý vznikne spriemerovaním vyrovnávacích snímok získaných v predchádzajúcom kroku a

normovaním výsledného snímku (podelením hodnôt na všetkých pixeloch maximálnou hodnotou).

4. Odčítanie príslušného master dark snímku od každého snímku, ktorý chceme kalibrovať.
5. Podelenie každého snímku snímkom master flat (pokiaľ možno z tej istej noci).

Pre určenie jasnosti hviezdy z kalibrovaného CCD snímku sa najčastejšie používa metóda nazývaná apertúrna fotometria.

Pre tento účel sa dá výhodne použiť opäť balík programov C-Munipack, ktorý automaticky identifikuje všetky hviezdy na snímkach, odčítava jas oblohy a výsledok prepočítava do hviezdnych veľkosti. Tiež obsahuje veľmi presné algoritmy pre nadväzovanie posunutých a pootočených hviezdnych polí podľa referenčného snímku, čo je veľmi dôležité, pretože nikdy nie je možné udržať hviezdy na rovnakom mieste snímku.

Po úspešnej fotometrii všetkých snímkov a ich vzájomnom nadviazaní je možné na referenčnom snímku vybrať premennú, porovnávaciu hviezdu a kontrolnú hviezdu a s použitím výsledku predchádzajúcich krokov automaticky zobrazí relatívnu svetelnú krivku a uložiť ju do dátového súboru použiteľného pre ďalšie spracovanie.

Takto určená relatívna svetelná krivka zobrazuje zmeny jasnosti voči porovnávacej hviezde. Nejedná sa o absolútne zmeny jasnosti. Preto je veľmi dôležité používať tú istú porovnávaciu hviezdu pre všetky noci.

Produktom spracovania snímkov balíkom C-Munipack je sada dátových súborov pre jednotlivé noci, ktoré obsahujú relatívne svetelné krivky bez heliocentrickej korekcie spolu s chybou jednotlivých bodov. Na dátové súbory je nutné heliocentrickú korekciu aplikovať. Tento krok je možné realizovať programom helcor obsiahnutým v balíku C-Munipack.

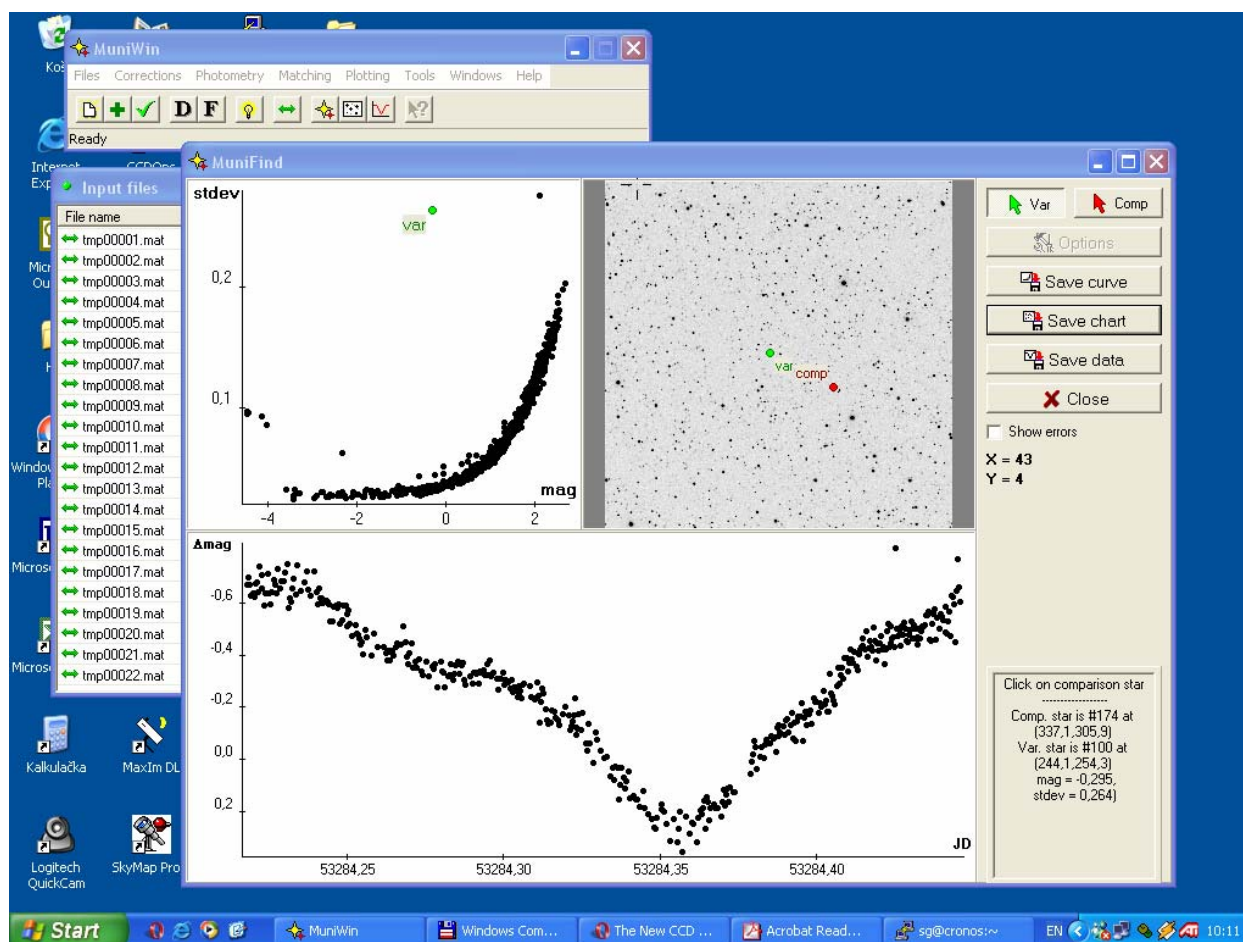
7. Hľadanie a identifikácia nových premenných hviezd

Balík programov C-Munipack so svojou nadstavbou MuniWin (obr. 2a.) umožňuje automatickú fotometriu všetkých hviezd nachádzajúcich sa v nasnímanom poli. Toto nám umožňuje prešetriť, či niektorá z hviezd nie je premenná. Pre tento účel je v balíku C-Munipack integrovaný program Munifind, ktorý po zvolení jednej porovnávacej hviezdy na referenčnom snímku určí štandardné odchýlky zmien jasnosti pre všetky merané hviezdy. Tieto hodnoty následne zobrazí v závislosti od strednej jasnosti príslušných hviezd (obr. 2b.). Hviezdy, ktorých jasnosť sa nemení, budú spoločne ako súbor dát vykazovať štandardnú parabolickú závislosť, spôsobenú postupným znižovaním odstavu signálu od šumu s poklesom jasnosti hviezdy. Ak niektorá hviezda z tejto závislosti výrazne vybočuje, má to spravidla jednu z nasledujúcich príčin:

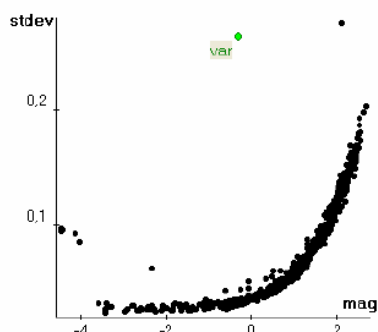
1. Hviezda je príliš jasná alebo mierne preexponovaná.
2. V rámci zvolenej apertúry sa nachádza aj slabšia hviezda, ktorá zvyšuje rozptyl jasnosti určenej z apertúrnej fotometrie.
3. Hviezda vykazuje vlastné systematické zmeny jasnosti.

Program Munifind umožňuje okamžite zobrazí svetelnú krivku vybranej hviezdy, vďaka čomu je možné veľmi rýchlo odhaliť príčinu zvýšenej štandardnej odchýlky jasnosti.

Použitím vyššie spomenutých metód sa nám podarilo nájsť v poliach BX Pegasi a V Sagittae spolu 8 premenných hviezd, ktoré sú podrobne analyzované v ďalších kapitolách.



Obr. 2a. Zosnímaná obrazovka monitora PC s ukážkou programu C-Munipack a jeho Windows nadstavbou MuniWin.



Obr. 2b. Závislosť štandardnej odchýlky zmien jasnosti všetkých hviezd v poli V Sagittae od ich strednej jasnosti zobrazená programom MuniFind z balíka C-Munipack. Zelenou farbou je označená samotná V Sagittae.

Nájdene premenné hviezdy je potrebné identifikovať a zistiť, či sú tieto objekty už známe ako premenné hviezdy a teda objavené v minulosti, alebo sa naozaj jedná o prvotný objav. Pre tento účel je vhodné použiť napríklad program Aladin [2], ktorý umožňuje skombinovať databázy fotografických prehliadok oblohy s takmer všetkými voľne dostupnými katalógmi objektov.

8. Pozorovanie a redukcia dát pre nové premenné hviezdy

Pre získanie pozorovacích dát, ktoré viedli k objavu prvých premenných hviezd na Slovensku, bola použitá nová CCD kamera SBIG ST-9XE, s objektívom Zeiss Spiegelobjektiv 5,6/1000 (optický systém Maksutov 180/1000). Zorné pole kamery je v tejto konfigurácii 35,16' x 35,16', teda viac ako pol stupňa v obidvoch osiach. V rámci pozorovacieho programu Observatória Hlohovec boli v období 21. 07. 2004 až 10. 11. 2004 uskutočňované celonočné pozorovania poli zákrytovej premennej hviezdy BX Pegasi a supermäkkého röntgenového zdroja V Sagittae. Prehľad pozorovaní je uvedený v Tab. 2. a 3. Dáta boli získavané spočiatku v integrálnom svetle, neskôr bol použitý Johnsonovský filter V (viď. Tab. 2. a 3). Spracovaním, redukciami a následnou analýzou pozorovacích dát metódami a programami popísanými vyššie boli v poliach týchto objektov objavené nové premenné hviezdy rôznych typov premennosti a určené ich základné fotometrické charakteristiky, ktoré uvádzame v Tabuľkách 2a, 2b, 2c a 2d pre pole BX Pegasi a 3a, 3b, 3c a 3d pre pole V Sagittae. Obrázky 3a, 3b až 10a, 10b znázorňujú mapky okolia premenných hviezd, resp. ich fázové krivky, prípadne svetelné krivky, pokiaľ nebola perióda jednoznačne určená.

9. Nové premenné hviezdy v poli BX Pegasi

večerný dátum	začiatok	koniec	počet snímkov	filter
21. 07. 2004	21:32:48	01:56:18	112	—
22. 07. 2004	21:05:43	02:01:20	286	—
25. 07. 2004	20:40:06	01:54:15	446	—
02. 08. 2004	19:46:40	02:32:58	574	—
06. 08. 2004	21:14:54	01:43:08	500	—
08. 08. 2004	22:22:45	02:15:20	434	—
18. 08. 2004	19:55:14	21:21:15	161	V
18. 08. 2004	22:14:23	01:37:03	378	V
22. 08. 2004	20:53:44	03:06:17	694	V

Tab. 2a.: Prehľad pozorovaní poľa BX Pegasi na Observatóriu Hlohovec v roku 2004.

Hviezda	α (J2000.0)	δ (J2000.0)
N033031026576	21h 39m 43.38s	+26° 34' 46.48"
N033031028158	21h 38m 22.26s	+26° 37' 38.99"
N033031033134	21h 37m 50.26s	+26° 46' 45.73"
N03303131031	21h 39m 21.02s	+26° 52' 36.75"
N0330310657	21h 37m 11.12s	+26° 44' 50.80"

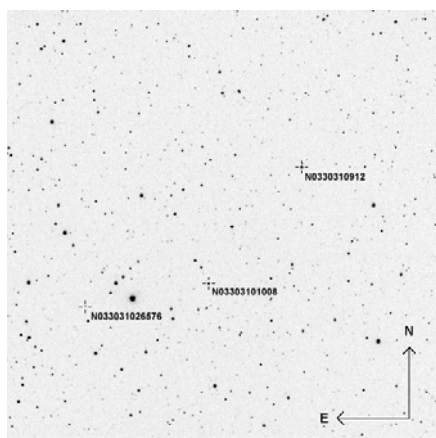
Tab. 2b.: Súradnice novoobjavených premenných hviezd v poli BX Pegasi. Novoobjavené hviezdy sú označené číslami katalógu GSC 2.2.

premenná hv.	porovnávacia hv.	kontrolná hv.
N033031026576	N03303101008	N0330310912
N033031028158	N0330310912	N03303131029
N033031033134	N0330310912	N03303131029
N03303131031	N03303101008	N0330310912
N0330310657	N0330310665	N0330310910

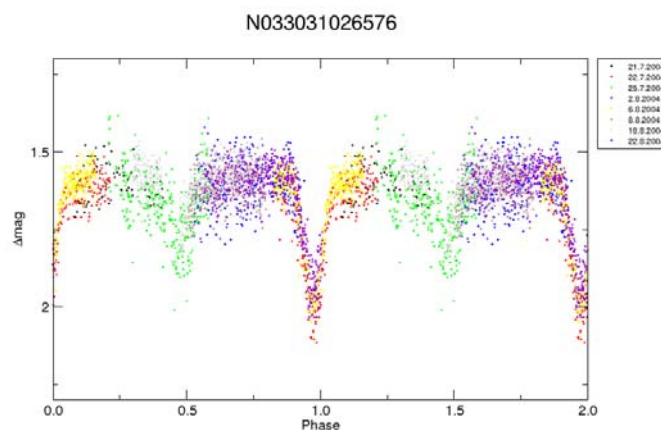
Tab. 2c: Použité porovnávacie a kontrolné hviezdy pre novoobjavené premenné hviezdy v poli BX Pegasi. Označenie ako v Tab. 2b.

hviezda	P_{orb} [h]	ΔP_{orb}	T_0 [HJD]
N033031026576	13,34940	0,00030	2453208,34655
N033031028158	7,34340	0,00060	2453208,18400
N033031033134	9,71040	0,00060	2453208,32453
N03303131031	?	—	—
N0330310657	(10,156; 12,864)		

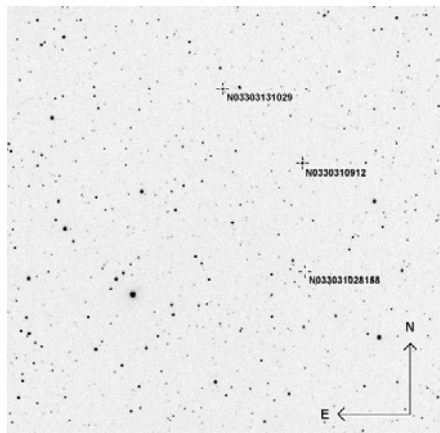
Tab. 2d: Určené orbitálne periódy P_{orb} a T_0 pre novoobjavené premenné hviezdy v poli BX Pegasi. Označenie ako v Tab. 2b. Pre posledné dve hviezdy ešte nie je získaný dostatočný pozorovací materiál na presné určenie parametrov. V prípade hviezdy N0330310657 boli nájdené dve rovnocenné periódy.



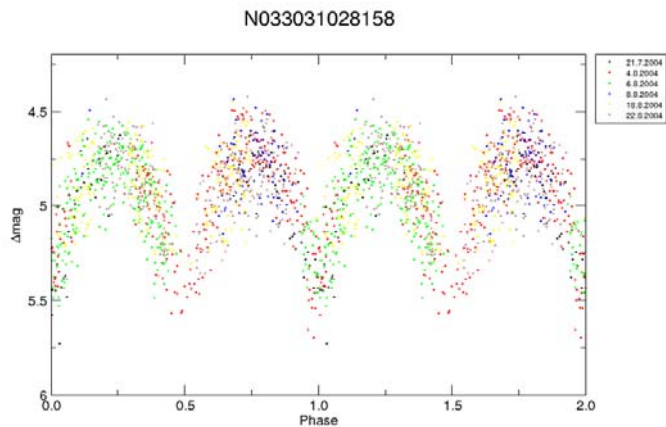
Obr. 3a. Poloha hviezdy N033031026576 v poli BX Pegasi spolu s použitou porovnávacou a kontrolnou hviezdou.



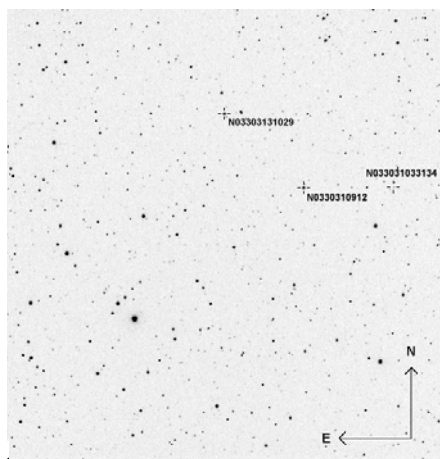
Obr. 3b. Fázová krivka hviezdy N033031026576.



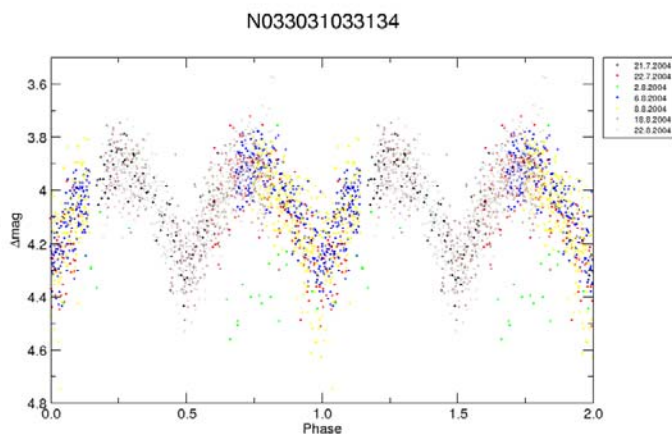
Obr. 4a. Poloha hviezd N033031028158 v poli BX Pegasi spolu s použitou porovnávacou a kontrolnou hviezdou.



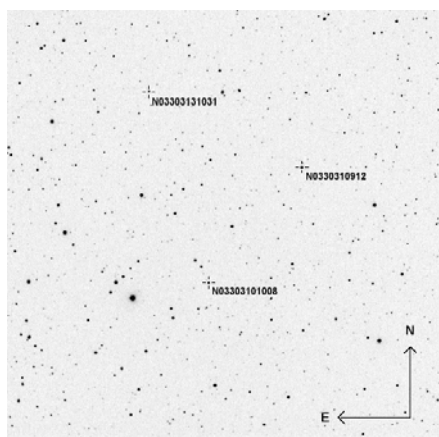
Obr. 4b. Fázová krivka hviezd N033031028158.



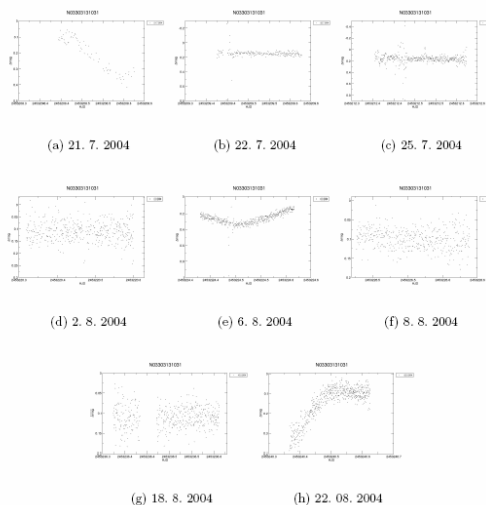
Obr. 5a. Poloha hviezd N033031033134 v poli BX Pegasi spolu s použitou porovnávacou a kontrolnou hviezdou.



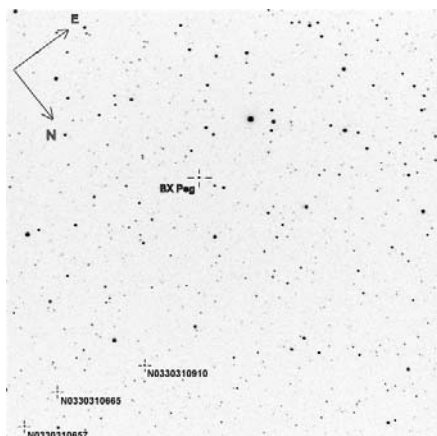
Obr. 5b. Fázová krivka hviezd N033031033134.



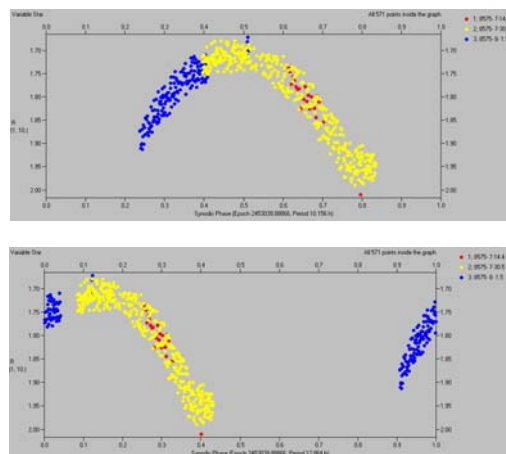
Obr. 6a. Poloha hviezd N03303131031 v poli BX Pegasi spolu s použitou porovnávacou a kontrolnou hviezdou.



Obr. 6b. Svetelné krivky hviezd N03303131031. Pre túto hviezdou nebola nájdená žiadna perióda poklesov jasnosti v nami skúmanom rozsahu periód.



Obr. 7a. Poloha hviezdy N0330310657 v poli BX Pegasi spolu s použitou porovnávacou a kontrolnou hviezdou.



Obr. 7b. Dve možné periódovú získané periódovou analýzou pre hviezdu N0330310657. O správnosti jednej z nich musí rozhodnúť až ďalšie pozorovanie.

10. Nové premenné hviezdy v poli V Sagittae

večerný dátum	začiatok	koniec	počet snímkov	filter
23. 07. 2004	20:39:40	01:49:20	460	—
30. 07. 2004	20:41:50	02:29:50	519	—
31. 07. 2004	19:34:56	02:28:51	771	—
10. 08. 2004	19:46:24	02:23:40	740	—
12. 08. 2004	19:48:33	23:06:37	369	—
13. 08. 2004	21:36:11	23:23:11	200	—
14. 08. 2004	21:14:21	02:19:44	569	—
15. 08. 2004	19:39:49	02:17:29	740	V
16. 08. 2004	21:10:41	02:07:46	553	V
17. 08. 2004	20:37:12	02:11:02	622	V
23. 08. 2004	19:34:45	02:46:58	805	V
27. 08. 2004	23:04:29	00:54:09	205	V
28. 08. 2004	18:33:42	01:02:52	725	V
29. 08. 2004	18:45:45	22:31:30	421	V
30. 08. 2004	18:51:40	20:17:09	160	V
04. 09. 2004	18:50:25	01:08:20	640	V
06. 09. 2004	18:59:52	00:51:04	593	V
10. 09. 2004	18:28:58	00:16:55	421	V
11. 09. 2004	18:35:44	20:57:34	264	V
14. 09. 2004	18:20:10	23:43:24	593	V
16. 09. 2004	18:00:23	23:23:03	600	V
17. 09. 2004	17:56:45	23:50:32	658	V
18. 09. 2004	17:56:04	23:48:47	656	V
30. 09. 2004	17:46:42	22:31:35	530	V
01. 10. 2004	18:24:50	22:56:35	505	V
03. 10. 2004	17:19:53	22:49:04	698	V
04. 10. 2004	17:53:14	22:46:13	543	V
05. 10. 2004	17:13:36	22:42:28	599	V
06. 10. 2004	17:06:51	22:14:17	542	V
04. 11. 2004	16:13:56	20:47:45	309	V
10. 11. 2004	16:51:16	20:31:07	427	V

Tabuľka 3a: Zoznam pozorovacích nocí poľa V Sge.

Hviezda	α (J2000.0)	δ (J2000.0)
N03123301282	20h 20m 56.15s	+21° 00' 45.33"
N031233059263	20h 20m 18.63s	+21° 18' 45.45"
N031233361251	20h 21m 14.03s	+21° 51' 29.28"

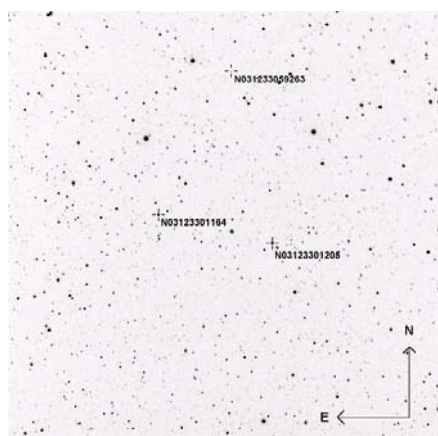
Tab. 3b.: Súradnice novoobjavených premenných hviezd v poli V Sagittae. Novoobjavené hviezdy sú označené číslami katalógu GSC 2.2.

premenná hv.	porovnávací hv.	kontrolná hv.
N03123301282	N03123301164	N03123301205
N031233059263	N03123301164	N03123301205
N031233361251	N03123301164	N03123301360

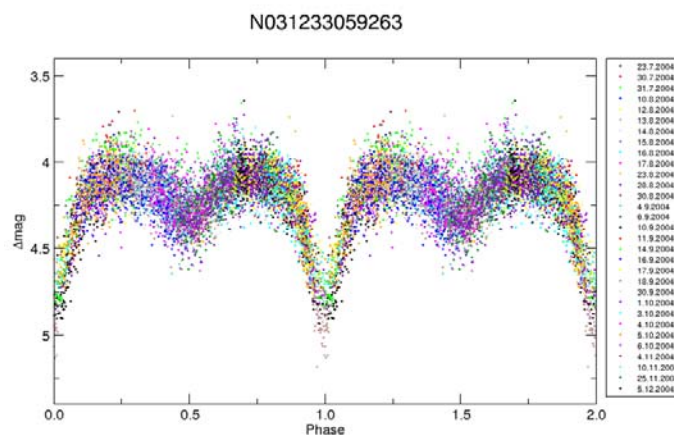
Tab. 3c: Použité porovnávacie a kontrolné hviezdy pre novoobjavené premenné hviezdy v poli V Sge. Označenie ako v Tab. 3b.

hviezda	P_{orb} [h]	ΔP_{orb}	T_0 [HJD]
N03123301282	17,6582	0,0002	2453209,63554
N031233059263	15,2776	0,0002	2453209,80723
N031233361251	7,5188	0,0004	2453233,06790

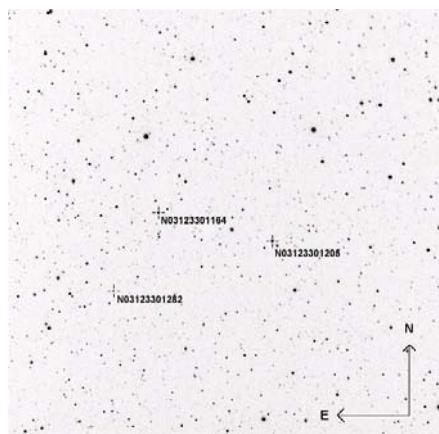
Tab. 3d: Určené orbitálne periódy P_{orb} a T_0 pre novoobjavené premenné hviezdy v poli V Sagittae. Označenie ako v Tab. 3b.



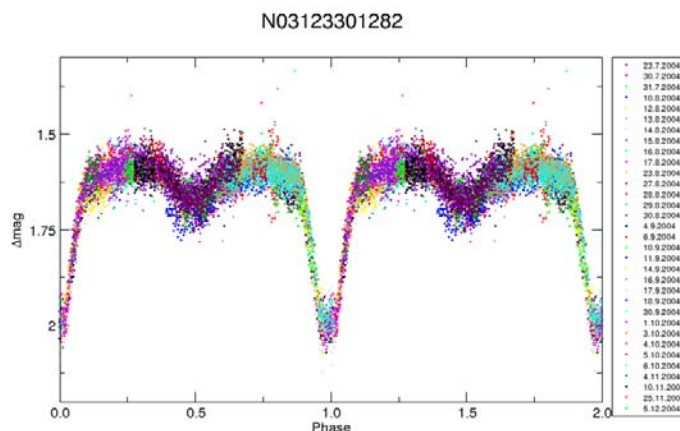
Obr. 8a. Poloha hviezdy N031233059263 v poli V Sagittae spolu s použitou porovnávacou a kontrolnou hviezdou.



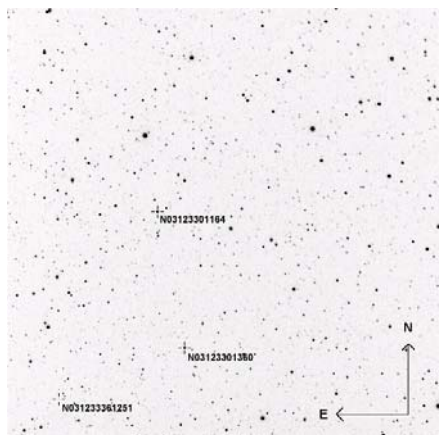
Obr. 8b. Fázová krivka hviezdy N03123301282.



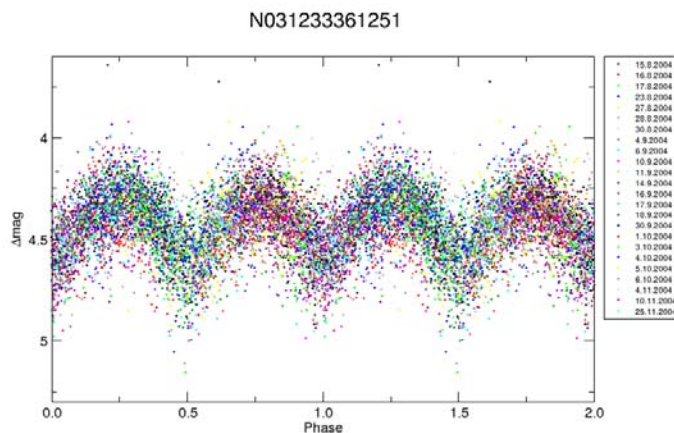
Obr. 9a. Poloha hviezd N03123301282 v poli Sagittae spolu s použitou porovnávacou a kontrolnou hviezdou.



Obr. 9b. Fázová krivka hviezd N03123301282.



Obr. 10a. Poloha hviezd N031233361251 v poli V Sagittae spolu s použitou porovnávacou a kontrolnou hviezdou.



Obr. 10b. Fázová krivka hviezd N031233361251.

11. Diskusia

Celkovo bolo získaných 22 396 snímok polí BX Pegasi a V Sagittae, čo predstavuje približne 600 hodín čistého pozorovacieho času v priebehu piatich mesiacov. Dosahovaná presnosť meraní je závislá na dvoch parametroch: dobe integrácie a jasnosti pozorovaného objektu. Keďže pozorovania boli vykonávané za účelom získania dát pre hviezdy BX Peg a V Sge, ktoré sú obidve objektmi s jasnosťou okolo 9 až 10 mag, bola integračná doba prispôbená získaniu nesaturovaných dát pre tieto dve hviezdy. Všetky objavené nové premenné sú oveľa slabšie, preto rozptýlené dát na ich svetelných krivkách predstavuje pri jasnosti okolo 16,5 mag hodnotu 0,15 mag. Aj napriek tomu sa podarilo po naskladaní jednotlivých nocí do fázového diagramu získať dostatočne kvalitné fázové krivky na detekciu premennosti týchto sústav.

Z ôsmich objavených premenných hviezd sme neboli schopní získať jednoznačné orbitálne periódy pre dva objekty - dôvodom je nedostatočné časové pokrytie svetelných kriviek. Pre objekt N033031033134 sme boli schopní určiť aspoň dve orbitálne periódy (10,156 hod, 12,864 hod), z ktorých obidve sú rovnako pravdepodobné a až ďalšie pozorovania dokážu rozhodnúť, ktorá je správna. Dôvodom nízkeho počtu pozorovacích nocí je fakt, že táto hviezda bola na okraji zorného pola CCD kamery a nachádzala sa v ňom len počas troch pozorovacích nocí. V prípade objektu N03303131031 je dôvodom neurčenia periódy pravdepodobne to, že systém má orbitálnu periódu príliš dlhú a nepodarilo sa nám dostatočne pokryť jeho svetelnú krivku.

Zo získaných dát je možné predbežne určiť typy premennosti podľa klasického delenia tak, ako to uvádza Tab. 4.

hviezda	typ
N033031026576	Algol
N033031028158	W UMa
N033031033134	W UMa
N03303131031	Algol (?)
N0330310657	?
N03123301282	β Lyrae (?)
N031233059263	β Lyrae (?)
N031233361251	W UMa

Tab. 4.: Určenie typov premennosti pre novoobjavené premenné hviezdy. Otázniky znamenajú zvýšenú neistotu v určení typu.

Metodikou popísanou v tomto článku sme ďalej boli schopní určiť prvé základné efemeridy pre 7 objavených systémov (vid'. Tab. 5.). V tabuľke 5 uvádzame určené efemeridy pre všetky pozorované systémy, ktoré boli zostavené na základe určených periód (tabuľky 2d a 3d) a najpresnejšie stanovených okamihoch miním pre jednotlivé hviezdy. V tabuľke uvádzame aj približné efemeridy pre obe nájdené periódy premennej hviezdy N0330310657.

hviezda	efemerida
N033031026576	$I_{min} = \text{HJD}2453240, 59435(13) + E \times 0.556225(12)$
N033031028158	$I_{min} = \text{HJD}2453224, 40184(33) + E \times 0.305975(25)$
N033031033134	$I_{min} = \text{HJD}2453226, 52455(18) + E \times 0.404600(25)$
N03303131031	?
N0330310657	$I_{min} = \text{HJD}2453039, 88866 + E \times 0.42316$ $I_{min} = \text{HJD}2453039, 88866 + E \times 0.53600$
N03123301282	$I_{min} = \text{HJD}2453210, 37130(16) + E \times 0.7357583(83)$
N031233059263	$I_{min} = \text{HJD}2453282, 37948(31) + E \times 0.6365667(83)$
N031233361251	$I_{min} = \text{HJD}2453285, 23821(24) + E \times 0.313283(17)$

Tab. 5.: Určenie nových efemeríd pre všetky objavené premenné systémy, pre ktoré bol napozorovaný dostatočný počet dát.

12. Záver

V tejto práci sme sa pokúsili popísať metodiku spracovania astronomických CCD pozorovaní za účelom detekcie zmeny jasnosti nasnímaných hviezd. Metodiku sme aplikovali na pozorovania získané na Observatóriu Hlohovec v priebehu roku 2004. Na základe spracovania snímok, primárne získaných pre výskum dvoch známych premenných hviezd – BX Pegasi a V Sagittae, sme objavili 8 nových premenných hviezd. Zatiaľ poznáme vďaka nášmu výskumu len najzákladnejšie fotometrické parametre popisovaných sústav – periódy zmien jasnosti a fotometrické efemeridy. Pre získanie ďalších vedomostí o týchto prvých „slovenských“ premenných hviezdach je nevyhnutné pokračovať naďalej v ich sledovaní a získavaní kvalitného pozorovacieho materiálu, aspoň s použitím filtrov UBVRI systému Kron-Cousin.

PodĎakovanie

Práca bola podporená grantami APVT-51-000802 a VEGA 2/4015/4.

Literatúra

- [1] AVE - <http://www.astrogea.org/soft/ave/aveint.htm>
- [2] Bonnarel, F.- Fernique, P.- Bienaymé, O.- a kol.- Astronomy & Astrophysics Suppl. Ser., 143- p. 33 - The ALADIN interactive sky atlas: A reference tool for identification of astronomical sources - 1999.
- [3] Diffraction Limited - <http://www.cyanogen.com/>
- [4] Henden, A. A. - Kaitchuck, R. H. - Astronomical Photometry – New York, 1982
- [5] Kwee, K. - van Woerden, H. - A Method for Computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable - 1956 – BAN – 12, p. 327.
- [6] Motl, D -.C-Munipack 1.0 - Dokumentace k projektu - 2004 - <ftp://integral.sci.muni.cz/pub/cmunicipack/cmpack-1.0-doc-cz.pdf>
- [7] OCParse - <http://var.astro.cz/meduza/software/ocparser.zip>
- [8] SBIG Astronomical Instrumets - <http://www.sbig.com/>