

Masarykova Universita v Brně
Přírodovědecká fakulta

Bakalářská práce

Fotometrie uhlíkových hvězd s použitím dat z družice Hipparcos

Vypracoval: Jakub Beneš

Vedoucí: doc. RNDr. Zdeněk Mikulášek, CSc.

Brno 2004

Prohlášení

Prohlašuji že jsem předloženou bakalářskou práci zpracoval sám. Literární a databázové prameny, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne:

Podpis:

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu bakalářské práce Zdeňku Mikuláškoví za inspiraci a konzultantu Jiřímu Duškovi za odbornou pomoc při konzultacích této bakalářské práce.

Obsah

| | |
|---|----|
| 1. Úvod | 5 |
| 2. Teoretická část | 6 |
| 2.1 Historie studia proměnných hvězd | 6 |
| 2.2 Asymptotická větev obrů (AGB) a uhlíkové hvězdy | 8 |
| 2.3 Charakteristiky hvězd | 10 |
| 2.4 Značení proměnných hvězd | 15 |
| 2.5 Identifikace uhlíkových hvězd | 15 |
| 2.6 General Catalogue of Variable Stars (GCVS) | 17 |
| 2.7 Družice a katalog Hipparcos | 18 |
| 3. Praktická část | 21 |
| 3.1 Vyhledávání v katalogu Hipparcos | 21 |
| 3.2 Roztřídění na uhlíkové hvězdy | 23 |
| 3.3 Hledání odpovídajících hvězd v GCVS | 23 |
| 3.4 Kontrola světelných křivek | 25 |
| 3.5 Shrnutí výsledků | 27 |
| 4. Závěr | 29 |
| 5. Použité zdroje | 30 |
| 6. Seznam příloh | 31 |

1. Úvod

Tato bakalářská práce má za úkol provést předběžné studium některých proměnných hvězd, konkrétně tzv. uhlíkových hvězd, klasifikovaných spektrální třídou C. Po krátkém úvodu, týkajícím se historie výzkumu proměnných hvězd, uvádím nejdříve stručný souhrn našich fyzikálních znalostí o nich. Dále pokračuji pojednáním o katalogu proměnných hvězd GCVS (*General Catalogue of Variable Stars*), družici Hipparcos a katalogu dat naměřených touto družicí, který je volně přístupný na internetu.

V praktické části popisuji postup při realizaci zadání, který spočíval v porovnávání dat z obecně používaného katalogu GCVS a vybraných fotometrických veličin, naměřených družicí Hipparcos. Nakonec shrnuji výsledky tohoto porovnání a uvádím příklad hvězdy s chybně určenou periodou. Kompletní výsledky porovnávání jsou uvedeny v příloze.

2. Teoretická část

2.1 Historie studia proměnných hvězd

Od pradávna hledí zvědaví lidé na noční oblohu a přemýšlejí o hvězdách a tajemstvích, která jsou s nimi spojena. Jak se pohybují, z čeho jsou složeny, proč jsou jasnější a méně jasné hvězdy, a v neposlední řadě, proč některé mění svou jasnost, ať už periodicky nebo neperiodicky. Ve starověku si astronomové museli vystačit s pouhýma očima, avšak i tehdy dokázali z pohybu planet vydedukovat v zásadě správné teorie o pohybu Slunce, Země a Měsíce. Jejich předpovědi se s úspěchem využívaly k určování polohy, například na moři a při měření času. Byla pojmenována souhvězdí a mnoho z astronomických znalostí, patřičně upravených, proniklo i do dávných náboženských obřadů.

O fyzikální podstatě hvězd a jejich, v některých případech, neobvyklém chování, se tou dobou samozřejmě nic nevědělo. V Evropě převládal až do 16. století aristotelský náhled na vesmír, kdy se nepředpokládaly za sférou Měsíce jakékoliv změny.

Od dob Galilea používají vědci ke studiu vesmíru dalekohledy a díky nim byly objasněny mnohé z otázek, nad kterými se do té doby vedly dlouhé filozofické debaty. Newton odstartoval první fyzikální revoluci formulací svých tří pohybových zákonů a v návaznosti na Keplerovy zákony o pohybu planet objevil i gravitační zákon, který se stal pro astronomy „alfou a omegou“. První průlom v tehdy rozšířeném názoru na neměnnost hvězdného pozadí si připsal Tycho Brahe, když roku 1572 objevil „novou“ hvězdu v souhvězdí Kassiopeji. Její jasnost srovnával s jasností ostatních hvězd a získal tak první světelnou křivku proměnné hvězdy [3]. Dnes víme že se jednalo o křivku poklesu jasnosti supernovy.

Periodicky proměnnou hvězdu poprvé pozoroval roku 1596 David Fabricius. Byla to omikron Ceti (prototyp proměnných hvězd typu mira), která postupně mizela a objevovala se. Proto nazval Fabricius tuto hvězdu Mira, což znamená „podivuhodná“. Mira byla sledována systematicky i dalšími pozorovateli a její perioda byla po několika desetiletích určena na 333 dny [3]. Aristotelský názor na svět podobnými pozorováními ztrácel své příznivce a na přelomu 16. a 17. století, kdy byla pozorována další supernova, zanikl úplně.

Angličané Edward Pigott a John Goodricke přispěli na konci osmnáctého století velkým dílem k systematickému studiu proměnných hvězd. Goodricke v letech 1782-3 objevil zhruba tří denní proměnnost Algolu, a navrhl i jeho správný astrofyzikální model tzv. zákrytové dvojhvězdy. Na tento úspěch navázal objevem dalších periodicky proměnných hvězd – beta Lyrae a delta Cephei. Následně Pigott objevem dalších tří nastolil otázku uspořádání narůsta-

jícího počtu proměnných hvězd podle nějakého klíče. V roce 1786 publikuje první „katalog“ proměnných hvězd, obsahující zatím jen 12 případů [3]. Zároveň se všeobecně začalo soudit, že výzkum proměnných hvězd by mohl vést k objasnění povahy hvězd samotných.

Počet nově objevených se rychle zvětšoval. Po roce 1844 přišel Friedrich W. A. Argelander (1799-1875) s jednoduchou metodou určování jejich jasnosti, pomocí hvězd srovnatelné jasnosti (považovaných za neproměnné) v nejbližším okolí studované hvězdy. Tato metoda sloužila profesionálním astronomům po dlouhá léta a amatérským nadšencům slouží dodnes.

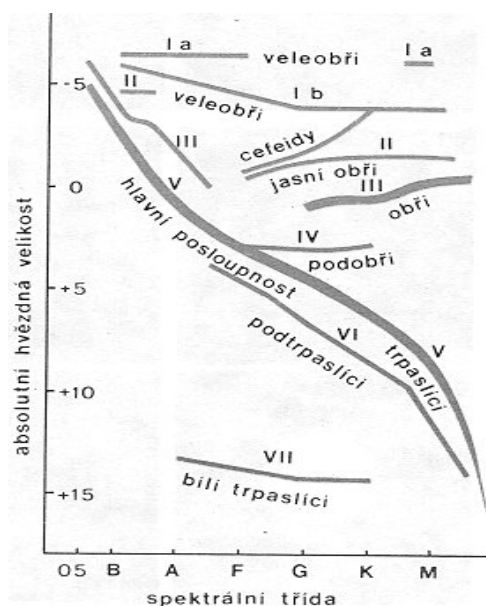
Další rozvoj astrofyziky, a hlavně její části, kterou tvoří studium proměnných hvězd, však nebyl možný před objevem hvězdných spekter a dostatečným rozvojem teoretické fyziky k jejich vysvětlení. To nastalo zhruba v polovině devatenáctého století. Tou dobou už bylo známo něco přes sto proměnných hvězd a s ohledem na mnoho typů proměnnosti vyžadovaly nějaké rozřídění podle svého chování. Základní klasifikaci provedl roku 1880 Edward E. Pickering (1846-1919).

V současnosti počet objevených proměnných hvězd přesáhl 50 tisíc a stále se zvětšuje. Typů proměnnosti je dnes známo přes padesát. Každá skupina se obvykle označuje podle první objevené hvězdy daného typu (například typ proměnnosti *miridy* podle hvězdy Mira, *cefeidy* podle delta Cephei). Hlavním parametrem pro třídění do skupin je vzhled světelné křivky. Dalšími jsou potom vzhled spektra a spektrální změny, tempo světelných změn a změny radiální rychlosti. Fyzikální mechanismy proměnnosti mohou být *geometrické* (označované též někdy *optické*) nebo *fyzické*. U geometrických se nemění světelný tok z hvězdy, ale nějakou vnější příčinou se mění svítivost ve směru k Zemi. Vnější příčinou může být například zakrytí části hvězdy druhou složkou v systému dvojhvězdy, nebo rotace nehomogenně vyzařující hvězdy. U fyzických se mění i vlastní zářivý výkon hvězdy, což je způsobeno ději probíhajícími uvnitř nebo v hvězdné atmosféře. V této práci se soustředí na uhlíkové hvězdy, které patří do fyzických proměnných hvězd.

2.2 Asymptotická větev obrů (AGB) a uhlíkové hvězdy

Uhlíkové hvězdy se mezi proměnnými hvězdami řadí do širší skupiny hvězd, která se nachází v Hertzsprung-Russellově (H-R) diagramu v oblasti pojmenované *asymptotická větev obrů* (ang. Asymptotic Giants Branch, zkr. AGB).

Obr.1 Schématické znázornění H-R diagramu. Na obrázku jsou kromě hlavní posloupnosti vyznačeny polohy hlavních skupin hvězd, v pokročilejším stádiu hvězdného vývoje. Větev RGB a AGB nejsou explicitně vyznačeny. Nacházejí se v oblasti vpravo od hlavní posloupnosti v okolí křivek „obří“ a „jasní obří“.



Většina hvězd (až na objekty s hmotností menší než 0,075 hmotnosti Slunce, u nichž se nezapálí jaderné reakce) stráví po svém vzniku podstatnou část hvězdného vývoje (asi 85 procent doby) na hlavní posloupnosti tohoto diagramu [1]. Ztráty energie vyzařováním jsou v této fázi nahrazovány termonukleárními reakcemi v centru hvězdy (kdy se přeměňuje vodík na helium), takže se celkové charakteristiky, jako je například poloměr a teplota povrchu, mění jen nepatrně. Počáteční hmotnost rozhoduje o době, kterou hvězdy stráví na hlavní posloupnosti, i o jejich dalším vývoji.

Hmotnější hvězdy jsou teplejší a mají řidší vodíkový obal. Takový obal hůře izoluje hvězdu od okolního prostředí než u méně hmotných hvězd, a proto termonukleární reakce v jejím centru probíhají rychleji a rychleji spalují zásoby vodíku. Hmotnější hvězdy tedy mají obecně větší zářivý výkon, než jejich méně hmotné kolegyně. Na hlavní posloupnosti proto stráví kratší dobu.

Ve chvíli, kdy množství vodíku spalované v centru už energeticky nedostačuje k udržení termodynamické rovnováhy vyzařujícího povrchu, začne se hvězda smršťovat. Uvnitř roste tlak

a teplota, rychlost vodíkových reakcí se tudíž zvyšuje a uvnitř začne časem vznikat heliové jádro. Toto heliové jádro se pod tíhou vnějších vrstev dál smršťuje, ruku v ruce s tím stoupá teplota jádra, jaderné reakce probíhají rychleji, zářivý výkon se zvětšuje, obal hvězdy na to reaguje expanzí a vnější vrstvy ochlazením. Heliové jádro nabývá díky hoření okolního vodíku stále na hmotnosti. Následkem větší hmotnosti se dále gravitačně hroutí, uvnitř něj roste tlak a především teplota. U méně hmotných hvězd (přibližně s počáteční hmotností 4 Sluncí) dojde k jeho elektronové degeneraci. Teprve v této fázi dochází k opuštění hlavní posloupnosti. Z hvězdy se stává červený obr a přesunuje se na větev červených obrů (ang. Red Giants Branch, zkr. RGB) [1].

U červených obrů je tok energie z centra k okrajům tak velký, že při jeho šíření převládne konvekce. Konvekce vynáší na povrch produkty jaderného hoření a do nitra hvězdy proudí čerstvé palivo. Vrcholy konvekčních proudů generují hvězdný vítr, odnášející část hmoty hvězdy do mezihvězdného prostoru. Produkty jaderného hoření pak můžeme sledovat běžnými astronomickými prostředky – RGB hvězdy jsou tedy jakýmsi „průzory“ do hvězdného nitra. Degenerované heliové jádro červených obrů dále zvětšuje svou hmotnost a teplotu až při překročení teploty 100 milionů kelvinů se degenerace zruší a zažehne se v něm heliová termonukleární reakce (tzv. 3 alfa reakce). Jádro se poněkud rozepne, což vede k ochlazení okolohořícího vodíku a tedy i ke smrštění obalu hvězdy. Hvězda se stává běžným obrem.

Heliové reakce v jádře produkují jako odpad uhlík, kyslík a dusík. Celý proces s degenerací a zapálením obalové vrstvy kolem jádra se opakuje, avšak nyní je degenerované jádro z kyslíku, uhlíku a dusíku, kolem pak hoří heliová vrstva. Nad heliovou vrstvou, oddělena vrstvou neaktivního helia, hoří ještě stále vodíková vrstva. Tyto dva energetické zdroje způsobí opětovné nafouknutí hvězdy, podobné RGB. Této druhé fázi se říká asymptotická větev obrů a je od fáze RGB obtížně rozeznatelná. Identifikace se provádí rozborem spektra (1).

Ve hvězdách asymptotické větve obrů tedy hoří dva zdroje energie:

- vnější vodíková slupka
- vnitřní heliová slupka kolem elektronově degenerovaného jádra složeného převážně z uhlíku a kyslíku

Nejedná se však o stabilní stav. Heliová a vodíková vrstva si v cyklech vyměňují hlavní roli při energetickém zásobování hvězdy. Při každém zapálení heliové vrstvy se zvětší zářivý výkon, vodíková slupka se rozepne, ochladí a promíchává se. Konvekci se pak na povrch dostávají produkty hoření helia, uhlík a kyslík. Zapálení helia se říká *tepelný puls* a probíhá v intervalech 10^2 až 10^5 let [2]. Hvězdám AGB, ve kterých probíhají tyto cykly, se říká TP-

AGB. (teplotně pulzující AGB). O dalším zařazení hvězdy rozhoduje poměr C/O v hvězdné atmosféře.

- Tvoří-li C/O jednotky, říkáme takové hvězdě *uhlíková hvězda* (C-AGB).
- Jedná-li se o číslo menší než jedna, tedy převažuje kyslík nad uhlíkem, nazýváme ji *kyslíková hvězda* (M-AGB).
- Výjimečně je poměr C/O roven jedné. Takovou hvězdu pak nazýváme *S-AGB*.

U všech hvězd v rozmezí 0,8 až 4 Sluncí předpokládáme, že se ke konci svého vývoje stanou postupně kyslíkovou, nakrátko S-AGB a následně uhlíkovou hvězdou. Hvězdy s hmotnostmi do 1,5 M se uhlíkovými stávají s posledním pulsem (pátým až šestým) a setrvávají v tomto stavu krátkou dobu, řádově tisíce roků. Hmotnější hvězdy potřebují ke změně na uhlíkovou více pulsů a také v tomto stavu setrvávají delší dobu. Jako uhlíkové pak ještě vykonávají další tepelné pulsy. Ještě hmotnější hvězdy, s hmotnostmi více než 4 Slunce se uhlíkovými nestanou, neboť mezi pulsy se konvekcí na povrch vynáší ^{14}N a ^{13}C , a poměr C/O (který se počítá z ^{12}C) se tedy v atmosféře snižuje. Tyto hvězdy ale vykonají ještě mnoho pulsů, než skončí jejich vývoj [2].

AGB hvězdy končí ve chvíli, kdy se jejich obálka natolik zredukuje, že odhalí jádro a tedy už není k dispozici žádné palivo pro jaderné reakce. Z rozplývající se obálky se nakrátko vytvoří tzv. planetární mlhovina v jejímž středu je obnažené elektronově degenerované jádro, tzv. ultrafialový trpaslík. Zvolna chladnoucí jádro se postupně stává bílým trpaslíkem a po velice dlouhé době, kdy už nevyzařuje ve viditelném oboru spektra (což nastane až za několik miliard roků), se stává tzv. černým trpaslíkem [3].

2.3 Charakteristiky hvězd

Ještě v polovině 19. století se soudilo, že jsou si všechny hvězdy velice podobné. Opak je však pravdou. Rozpětí hmotností, poloměrů, zářivých výkonů, efektivních teplot i chemického složení hvězdné populace je obrovské.

Základem pro identifikaci konkrétní hvězdy je poloha na hvězdné obloze v daném časovém okamžiku. Tuto polohu na obloze chápeme jako směr, ze kterého přichází signál k pozorovateli. V astronomii se používá sférická souřadnicová soustava. V ní se poloha popisuje především pomocí dvou souřadnic, nazývaných rektascenze a deklinace, s rozměry úhlů.

Dále nás u hvězdy zajímá zářivý výkon L . Ten se dá vypočítat z hustoty zářivého toku F , což je vlastně bolometrická jasnost j_B .

$$L=4.\pi.r^2.F$$

Bolometrická jasnost je integrál přes jasnosti na všech vlnových délkách. Jelikož žádný samostatný detektor není schopen měřit na všech vlnových délkách, používají se u detektorů přesně definované filtry, které propouštějí signál jen na daném rozsahu vlnových délek a jasnost změřená těmito filtry je pak vždy menší než bolometrická.

V astronomii se k vyjádření jasnosti hvězd používá veličina zvaná pozorovaná hvězdná velikost m (jednotka je magnituda), která vyjadřuje jasnost v logaritmické míře a je určena tzv. Pogsonovou rovnicí.

$$m = -2,5.\log(j/j_0)$$

Samotná jasnost j vyjadřuje intenzitu osvětlení, vyvolaného hvězdou na rovině, proložené pozorovacím místem a kolmé k dopadajícím paprskům. Srovnávací jasnost j_0 odpovídá podle dohody jasnosti hvězdy s $m = 0$ mag [9].

Známe-li vzdálenost hvězdy, můžeme pozorovanou hvězdnou velikost přepočítat na absolutní hvězdnou velikost M (M je opět podle dohody hvězdná velikost, jak by se jevila ze vzdálenosti 10 parseků). Nebo naopak, známe-li z nějakého jiného zdroje M , můžeme vypočítat vzdálenost hvězdy.

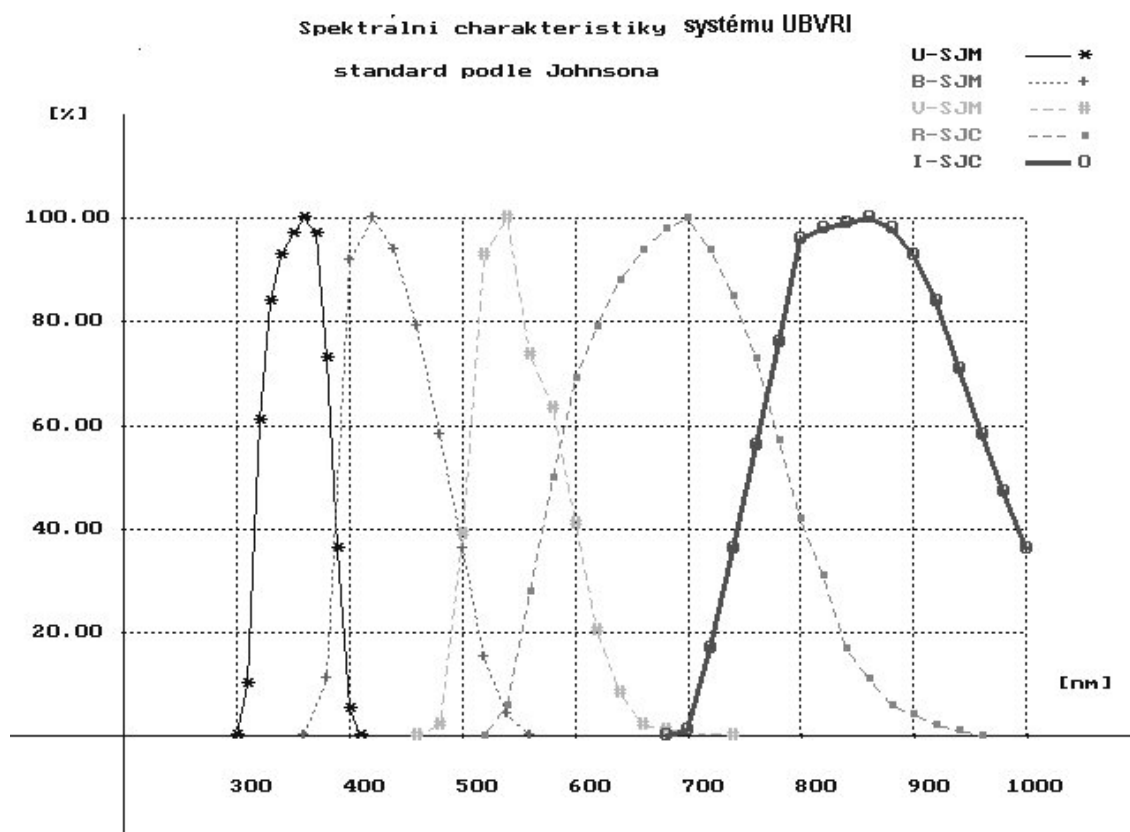
Jako detektor signálu, který projde filtrem, se zpočátku používal pouze lidský zrak, později fotografická deska či film. Fotografická emulze ovšem nereaguje na různé vlnové délky a intenzity světla stejně. Lineární charakteristiku v širokém rozsahu intenzit měly až fotonásobiče a dnes čím dál rozšířenější CCD prvky, které v sobě spojují výhody fotonásobiče a fotografie.

Při měření jasnosti se rozlišují odpovídající typy hvězdných velikostí podle použitého filtru. Nejběžnější a pro člověka nejpřirozenější je fotometrický filtr V , který zhruba propouští viditelné světlo (400 až 750 nm). Výsledná hvězdná velikost se značí m_V . Bolometrická hvězdná velikost m_{Bol} se počítá z bolometrické jasnosti. Oprava m_V na m_{Bol} se nazývá bolometrická korekce a liší se podle efektivní teploty hvězdy. Pro hodně chladné, nebo naopak horké hvězdy může činit až několik magnitud.

Měříme-li současně v několika spektrálních oborech, hovoříme o barevném fotometrickém systému. Každý takový systém obsahuje sadu filtrů s propustností definovanou vlnovou délkou, resp. maximem propustnosti a celkovou šířkou (nebo pološířkou) zaznamenávaného pásma vlnových délek.

Jako první byl v roce 1953 H. L. Johnsonem a W. W. Morganem použit širokopásmový systém blízký dříve používanému systému vizuálnímu a fotografickému. Skládal se ze tří filtrů s efektivními vlnovými délkami U (max. propustnosti 360nm), B (420nm) a V (540nm). Johnson tento systém v roce 1965 rozšířil o filtry R (700nm) a I (860nm) [10]. Propustnost filtrů je zobrazena na obrázku 2. Nevýhodou je ovšem velká šířka pásem.

Obr.2 Propustnost filtrů Johnsonova systému UVBRI.



Další systém, který se pokusil toto řešit, byl v šedesátých letech Strömngrenův systém uvby. Obsahuje 4 filtry a je středněpásmový. V závorce uvádím vždy maximum a pološířku propustnosti: u (350nm, 34nm), v (410nm, 20nm), b (465nm, 16nm), y (545nm, 24nm) [1].

Do oblasti infračerveného záření zasahuje systém JHKLM, který je vlastně jen prodloužením Johnsonova UVBRI. Barvy jsou centrovány tak, aby ležely v oblastech s minimální atmosférickou extinkcí způsobenou molekulárními pásy vody. Kron s Cousinsem (1976) používali systém V (550nm), R (700nm), I (900nm). O sjednocení standardů se zasloužil Landolt v roce

1983 tím, že spojil systém Johnsonův a Kron-Cousinsův. Tento systém se v současnosti používá nejčastěji pod názvem Johnson-(Kron)-Cousinsův [10].

Existují mnohé další speciální fotometrické systémy, použité jen na určitém zařízení, např. systém družice Hipparcos (systém Hp), který podrobněji popisují v části věnované této družici.

Pro astrofyzikální aplikace se dále používají tzv. barevné indexy. Jedná se o rozdíl hvězdných velikostí jednoho objektu v různých fotometrických filtrech. Definice nulového barevného indexu je stanovena úmluvou, která říká, že hvězdy hlavní posloupnosti spektrálního typu A0 s absolutní hvězdnou velikostí mezi 5,5 a 6,5 mag mají pro všechny vlnové délky stejnou jasnost (tedy nulové barevné indexy).

Barevné indexy mají různé zajímavé a výhodné vlastnosti, jako je třeba nezávislost na mezihvězdné extinkci. Především však souvisí s konkrétními fyzikálními vlastnostmi hvězdy, například s efektivní teplotou, nebo obsahem dané látky v hvězdné atmosféře. Nejčastěji používané barevné indexy jsou (U-B) a (B-V). U uhlíkových hvězd sledujeme index (B-V) ale i (V-R), (R-I) a (K-V).

Ke zjištění chemického složení hvězdy máme jediný nepřímý prostředek, a tím je zkoumání hvězdného spektra pomocí spektroskopie. Detailní spektrální klasifikace je založena na porovnávání intenzit vybraných spektrálních čar různých vlnových délek. Ostatní charakteristiky, jako je hmotnost, poloměr, pohyb, stáří apod. dostaneme až analýzou výše uvedených naměřených nebo vypočtených hodnot.

U proměnných hvězd, jak už název napovídá, se jedna nebo více charakteristik s časem mění. Především jde o hvězdnou velikost, ale můžeme pozorovat i další změny například v radiální rychlosti, indukci magnetického pole nebo intenzitě nějaké spektrální čáry. Pokud se světelné změny opakují s dostatečnou pravidelností, vyvozujeme z toho, že proměnnost hvězdy způsobuje nějaký periodický děj, jehož perioda odpovídá periodě těchto změn. V některých případech se můžeme setkat s kombinací více periodických dějů, nebo periodickým dějem s nějakými aperiodickými změnami či trendy.

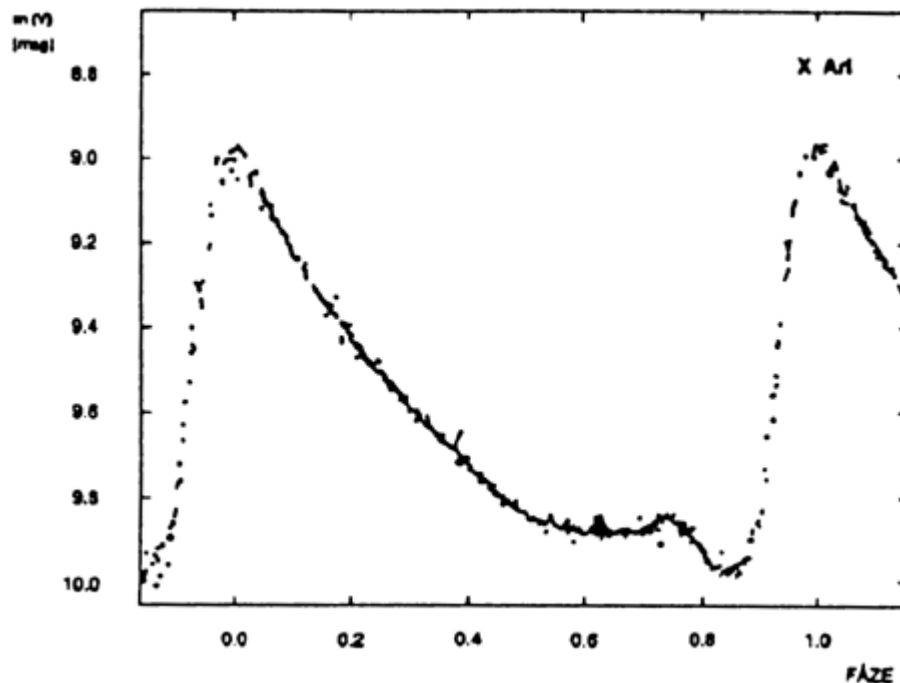
Závislost jasnosti na čase, udávaném nejčastěji v juliánských dnech, se nazývá světelná křivka. Jasnost je vynášena na svislou osu v magnitudách (nebo milimagnitudách pokud je rozsah změn malý) a je určena relativně nebo absolutně.

U přísně periodických hvězd, u kterých je známa perioda P , je možné sestavit tzv. skládanou (nebo též střední) světelnou křivku. Jedná se o závislost jasnosti hvězdy na tzv. fázi a vyjadřuje průběh jasnosti během jedné periody. Fáze je číslo od 0 do 1 a vyjadřuje jaká část periody

uplynula. Konstrukce skládané světelné křivky z hodnot jasnosti naměřených v mnoha různých periodicky se opakujících cyklech (tzv. epochách) probíhá následovně. Zvolíme si nějaký okamžik JD_0 , významný pro jasnost hvězdy, například maximum nebo minimum jasnosti. Tento okamžik a perioda tvoří tzv. světelné elementy dané proměnné hvězdy. Fáze f každé hodnoty jasnosti vynášené do grafu se vypočítá tak, že od času naměření příslušné jasnosti odečteme čas JD_0 a podělíme periodou P . Z takového čísla je potom f rovna části za desetinou čárkou [3]. Výsledná křivka ovšem může vykazovat jistý rozptyl, daný náhodnými chybami měření. V případě nepřesného určení periody, více současně probíhajících periodických dějů nebo aperiodických změn je dokonce výsledkem jen chaotická změť bodů.

Neznáme-li periodu, existují metody, jak se ji pokusit určit. Ve všech se využívá speciálních algoritmů a rychlosti moderní výpočetní techniky při porovnávání velkých objemů dat. Pokud se ovšem u proměnné hvězdy jedná o kombinaci několika periodických dějů, křivka je vždy komplikovaná a standardní metody zjišťování periody nás často přivádějí k falešným periodám. I v této oblasti však statistické metody pokročily a u některých proměnných hvězd se podařilo vypočítat speciálními metodami všechny superponované periody, viz např. [2].

Obr.3 Ukázka světelné křivky hvězdy typu RR Lyrae, která je přísně periodická.



2.4 Značení proměnných hvězd

Každá hvězda je tedy zadána svými souřadnicemi, a v jednotlivých katalozích i příslušným katalogovým číslem (které se samozřejmě v různých katalozích liší). Ovšem proměnné hvězdy mají z historických důvodů i své speciální značení, které pojmenovává konkrétní hvězdy a je s nimi spjato, ať se jedná o kterýkoliv katalog. Friedrich W. A. Argelander začal v roce 1844 označovat proměnné hvězdy v jednotlivých souhvězdích postupně písmeny R, S, ..., Z a názvem příslušného souhvězdí. Tohoto značení se jeho následovníci přidrželi, což vedlo při rostoucím počtu objevených proměnných hvězd k dosti krkolomným pravidlům. Po Z následuje RR, RS, ..., RZ, SS, ST, ..., až ZZ. Pak následuje celá abeceda od začátku, tedy AA, AB, ..., QQ. Konečně když počet proměnných hvězd v souhvězdí překročí QQ, tedy při všech povolených kombinacích 334, zavádí se přehlednější značení písmenem V (z latinského *variabilis*=proměnný), za ním následuje číslo od 335 a třípísmenná zkratka souhvězdí [9]. Bylo navrhováno zavést toto označování od V 1 pro všechny proměnné hvězdy, ale písmenné názvy byly již natolik zažití, že tento návrh neprošel. Na ukázkou mohu uvést: X Sge, RR Lyrae, FU Aur, V 971 Cen, V 1942 Sgr

Jiné než optické typy proměnných hvězd, které nejsou zároveň i optickými, se takto neoznačují a najdeme je pouze pod příslušným katalogovým číslem.

2.5 Identifikace uhlíkových hvězd

Mým prvním úkolem při práci s katalogem Hipparcos bylo identifikovat v něm uhlíkové hvězdy. Podle čeho tedy můžeme takovou hvězdu rozpoznat?

Jak už bylo zmíněno, typickým znakem AGB hvězd je velká ztráta materiálu z obalu (ve formě hvězdného větru), který se pak dostává do okolního mezihvězdného prostředí. AGB hvězdy tedy zpravidla obklopují rozsáhlé okolohvězdné obálky, ve kterých kondenzují prachové částice. Dalším typickým znakem jsou pulsace atmosféry, které ve vnějších vrstvách obalu hvězdy přecházejí v rázové vlny a odnášejí rozhodující část hvězdné hmoty. Rozptýlený materiál kolem hvězdy chladne a vytváří obálku, která je zdrojem infračerveného záření. V chladnoucím materiálu obálky se tvoří i složitější molekuly. Speciálně u uhlíkových hvězd jsou to uhlíkové řetězce a molekuly, jejichž součástí je uhlík nebo kyslík, např. C₂, C₃, CO, CN, HCN, TiO, SiO₂. Ty se dále spojují do složitějších molekul a prachových částic, jsou

tlakem záření vytlačovány dále od hvězdy a způsobují neprůhlednost obálky. V okolí uhlíkových hvězd se tedy nacházejí různě vzdálené obálky, zaznamenávající historii ztracení materiálu. Tyto obálky časem AGB hvězdu zcela zahalí a ta pak přestává být pozorovatelná ve vizuální oblasti, a zůstává pouze nápadným zdrojem v infračerveném oboru elektromagnetického spektra [2].

Atmosféra uhlíkových hvězd se vyznačuje především vyšším obsahem molekul uhlíku, kterých je sice o několik řádů méně než vodíku, ale prosadí se ve spektru díky větším absorpčním koeficientům. Ve viditelné oblasti spektra tedy můžeme pozorovat absorpční pásy C_2 a systém rotačně vibračních pásů C_2 (473,7nm 516,5nm a 563,6nm). Dalším znakem uhlíkových hvězd mohou být pásy CN v modré oblasti (421,6nm) [2].

Barevný index (B-V) je u uhlíkových hvězd vždy větší než 1 magnituda [2]. Je to způsobeno jednak nízkou efektivní teplotou povrchu hvězdy (menší než 3500 K) a jednak zeslabením krátkovlnné oblasti spektra. Toto zeslabení mají na svědomí molekuly C_3 , SiC a SiC_2 v atmosféře a extinkce v obálkách z vyvrženého materiálu, které hvězdu obklopují.

Některé uhlíkové hvězdy byly identifikovány také prostřednictvím výhradně infračervené nebo dokonce mikrovlnné spektroskopie. Lze však říci, že obecně jsou dnes hlavním poznávacím znakem velké barevné indexy (B-V), (V-I) apod. a zcela přesvědčivě především charakteristický vzhled spektra [2]. (Ten jen mimochodem natolik výrazný, že uhlíkové hvězdy byly jako jedinečná skupina hvězd identifikovány již ve druhé polovině 19. století.)

Spektrální klasifikace uhlíkových hvězd je poměrně obtížná. Problém je především s nalezením spektrální čáry, která by určovala teplotu povrchu a nebyla zároveň zeslabena absorpčními a rozptylovými jevy v obálce. Donedávna se používaly dva systémy klasifikace, tzv. R-N systém a KM klasifikace. R-N systém vznikl v souvislosti s Henry Draper Catalogue z konce 19. století. Dělí uhlíkové hvězdy do dvou základních skupin R a N s podskupinami 0-9. Hlavním kritériem je intenzita čar C_2 a CN a průběh intenzity v krátkovlnné oblasti spektra. R0 až R3 mají tyto čáry nevýrazné, zatímco u R5 až R8 tyto čáry zcela dominují. Hvězdy typu N mají také výrazné pásy C_2 a CN, ale jejich kontinuum v krátkovlnné oblasti menší než 450 nm rychle degraduje. KM klasifikaci vytvořili v polovině 20. století W.W.Morgan, P.C.Keenan a E.Kellmanová. Jedná se o dvourozměrnou spektrální klasifikaci. Jejím prvním parametrem je spektrální typ, druhým je třída svítivosti. U uhlíkových hvězd zohledňuje první parametr zastoupení atomárních čar v modré oblasti spektra, intenzitu dubletu sodíku a barvu hvězdy, vypočtenou podle intenzity spojitého spektra na třech definovaných místech. Označení je shodné s harvardským značením. Podle zastoupení C_2 se hvězdy dále dělí na podsku-

piny 0-9. Třídy svítivosti jsou označeny římskou číslicí od I do VI. Novější obecně používaná C-klasifikace kombinuje oba předchozí systémy. Kromě skupin R, N přidává zvláštní kategorii H pro tzv. CH hvězdy. Značení má pak tvar: C-Nn, C-Rn nebo C-Hn, kde n je index, korepondující s teplotní posloupností používanou u kyslíkových hvězd [2].

Dle možností katalogu Hipparcos jsem rozpoznával uhlíkové hvězdy podle (B-V) indexu a spektrálního typu (viz Praktická část, Vyhledávání v katalogu Hipparcos).

2.6 General Catalogue of Variable Stars (GCVS)

Od roku 1946 byly jménem Mezinárodní astronomické unie překládány v Rusku (v tehdejší Sovětském Svazu) katalogy proměnných hvězd z celého světa, za účelem sestavení univerzálního katalogu. Týmy sestavovatelů vedli P.P. Parenago, B.V. Kukarkin a P.N. Kholopov. Se svými spolupracovníky posbírali z různých zdrojů seznam všech do té doby známých proměnných hvězd. U hvězd byla nejprve ověřena jejich proměnnost, poté byly pojmenovány podle zavedeného pravidla (uvedeného výše) a po seřídění z nich byl sestaven Základní katalog proměnných hvězd (též Všeobecný katalog proměnných hvězd), ve zkratce GCVS [4]. Výsledek této mravenčí práce byl v roce 1948 vydán v Moskvě a stal se celosvětově uznávaným katalogem.

Shromažďování údajů o proměnných hvězdách v těchto dvou institucích pokračovalo i v dalších letech a zatím poslední je čtvrté vydání GCVS, jehož čtvrtý a pátý svazek redigoval po smrti Kholopova (+1988) Nikolaj N. Samus. První tři svazky vyšly v letech 1985-1988, čtvrtý svazek v roce 1990 a pátý v roce 1995. Pátý svazek byl první katalog na světě, který obsahoval seznam proměnných hvězd a supernov v jiných galaxiích než naše [4].

Sternbergův institut využil rozvoje informačních technologií a nechal upravit čtvrté vydání GCVS i do elektronické podoby. V prvních třech svazcích byly opraveny chyby, a byl přidán seznam proměnných hvězd, které byly objeveny v době vydání tištěné verze katalogu a nemohly být proto do něj zařazeny. Celkový počet takto katalogizovaných hvězd je 37470. Čtvrtý svazek připojuje odkazy na identifikační čísla hvězd v jiných známých katalozích. Elektronická verze pátého svazku dále přidává 10979 proměnných hvězd v jiných galaxiích, jako jsou například Magellanova mračna nebo galaxie v Andromedě (M 31). Do elektronické podoby byl převeden také katalog hvězd podezřelých z proměnnosti (NSV), který vycházel souběžně s GCVS.

V současnosti je katalog GCVS obecně využívaným zdrojem informací o proměnných hvězdách a astronomická veřejnost ze všech koutů světa často považuje informace v něm uvedené za ověřené a definitivní.

Základní katalog proměnných hvězd je na stránkách Sternbergova institutu, viz [4], volně ke stažení jako datový soubor, spolu s podrobným popisem všech parametrů, které obsahuje. Adresa domovské stránky institutu je <<http://www.sai.msu.su>>.

Data jsou však v souboru pouze seřazena za sebou. Chybí možnost vyhledávání. Naštěstí existuje na internetu mnoho tzv. bran, pomocí nichž je možné vyhledávat hvězdy v GCVS podle zadaných parametrů. Taková brána obsahuje pole na zadání jména proměnné hvězdy a po stisku tlačítka prohledá datový soubor katalogu proměnných hvězd. Pokud zadaná hvězda existuje, vypíše všechny dostupné údaje o ní na obrazovku.

K vyhledávání hvězd při vypracovávání této bakalářské práce byla využita brána společnosti B.R.N.O. (Brno Regional Network of Observers) [5] na adrese <<http://astro.sci.muni.cz/variables/brno/vsgateway.php>>. Brána umožňuje vyhledávat hvězdy i v dalších katalogích. Jednak v už zmíněném katalogu hvězd podezřelých z proměnnosti NSV, ale také například v katalogu zákrytových dvojhvězd BRKA, který vydává sekce pozorovatelů proměnných hvězd B.R.N.O., nebo v seznamu fyzických proměnných hvězd MRKA od další české skupiny pozorovatelů MEDÚZA. Jako poslední je v nabídce možnost vyhledávat v BCVS, což je bibliografický katalog proměnných hvězd, který vznikl na německé hvězdárně v Sonnenbergu a obsahuje odkazy na literaturu o proměnných hvězdách až do roku 1994.

Práce s touto branou je jednoduchá. Stačí znát název hvězdy a zaškrtnout příslušný katalog, ve kterém chceme hvězdu najít. Charakteristiky, které jsou následně o hvězdě vypsány jsou zejména poloha, minimální a maximální hvězdná velikost, fotometrický systém, ve kterém byla měřena, typ proměnnosti a perioda, pokud je známa. Podrobněji budou tyto charakteristiky popsány v praktické části.

2.7 Družice a katalog Hipparcos

V roce 1980 byl Evropskou kosmickou agenturou (zkr. ESA) schválen program vyslat družici, která přesně změří pozice, paralaxy a vlastní pohyby hvězd. Hlavním cílem bylo změřit pět astrometrických parametrů zhruba 120 tisíc hvězd s přesností na 2-4 úhlové milivteřiny. U

dalších slabších 400 tisíc hvězd měly být změřeny dvoubarevné fotometrické a astrometrické vlastnosti s menší přesností.

Satelit, nazvaný Hipparcos (zkratka z High Precision Parallax Collecting Satellite) byl postaven a vynesena raketou Ariane 8. srpna 1989 na oběžnou dráhu. Více než tři roky sbíral velice přesné astrometrické údaje a poté, co splnil všechny zadané úkoly, s ním bylo přerušeno spojení. 15. srpna 1993 byl z důvodů poruch způsobených dlouhodobým vystavením kosmickému záření ztracen kontakt s palubním počítačem. V současné době stále obíhá kolem Země.

Objem přenesených dat za celou dobu existence činil více než 1000 Gbitů. Co se týče dalších parametrů družice, startovní váha byla 1140 kg, sklon osy ke Slunci 43 stupňů a rychlost rotace 168,75 arcsec/s (úhlových vteřin za sekundu) [6], což odpovídá asi jedné otočce za dvě hodiny. Osa otáčení byla pomalu měněna, takže Hipparcos mohl postupně snímat celou hvězdnou sféru. Během celého provozu pak každou stálíci proměřil v průměru stokrát. Optiku tvořil Schmidtův teleskop s ohniskovou vzdáleností 1400 mm a průměrem hlavního zrcadla 290 mm. Mřížka hlavního CCD detektoru měla 2680 komponent a průměr 38 úhlových vteřin. Snímala spektrum v rozmezí 375-750 nm (tzv. pásmo Hp), samplovací frekvencí 1200 Hz [6]. Toto zařízení sloužilo k zaměření a přesnému změření polohy více než sta tisíc naprogramovaných hvězd, z nichž každou dokázalo zaměřit v průběhu několika desítek sekund.

Druhý detektor, systému Tycho, byl tvořen fotonásobiči a snímal se samplovací frekvencí 600 Hz světlo ve dvou fotometrických pásmech: B, efektivní vlnová délka $\lambda_{ef} = 430$ nm, s šířkou = 90 nm a V, efektivní vlnová délka $\lambda_{ef} = 530$ nm, s šířkou 100 nm [6], které zhruba odpovídají vlnovým délkám použitým v Johnsonově fotometrickém systému UBV.

Data z těchto dvou snímačů byla posílána do řídicího střediska, kde byla zaznamenávána a posléze pečlivě vyhodnocována. Výsledkem několikaleté práce je katalog Hipparcos, který obsahuje 118 218 hvězd, jejichž poloha je určena s přesností na 1 úhlovou milivteřinu. Jasnost zaznamenávaných hvězd je ohraničena minimální hodnotou hvězdné velikosti 12,4 mag ve fotometrickém oboru V. Pro hvězdy do $m(V) = 7,3$ mag je katalog úplný. Méně přesný, ovšem mnohonásobně obsáhlejší, je druhý katalog sestavený z dat družice Hipparcos a tím je katalog Tycho. Obsahuje více než milión hvězd, s přesností fotometrie 20-30 úhlové milivteřiny. Přesnost fotometrického měření je 0,05 mag pro fotometrický obor V i B. Práce na sestavování obou katalogů byly ukončeny v roce 1996, přičemž vydány byly v červnu 1997.

Podrobnější informace o družici Hipparcos včetně elektronické formy katalogů je možné najít na stránkách *The Hipparcos Space Astrometry Mission*, viz [6].

Astrometrické hodnoty, získané z dat odeslaných družicí na Zemi pro oněch 120 tisíc hvězd jsou nejpresnější, jaké byly dosud naměřeny. Je tomu tak díky stabilním podmínkám do ja-

kých se teleskop podařilo vynést, které jsou nesrovnatelné s podmínkami na Zemi. Takto přesné hodnoty mohou být použity pro výpočet stabilnějšího nerotujícího hvězdného pozadí, vůči němuž budeme zaznamenávat pohyby objektů ve sluneční soustavě a v Galaxii. Dále jsou tyto hodnoty základem pro zpřesnění výpočtů dalších fyzikálních charakteristik těchto hvězd, především jejich vzdáleností. Družice Hipparcos nebyla primárně určena k fotometrii, přesto ale poskytuje velmi homogenní soubor opakovaných měření hvězdných velikostí, který lze využít pro řadu jednoduchých analýz.

Elektronická verze katalogu Hipparcos obsahuje také množství pomůcek pro astronomy, které slouží k různým druhům vyhledávání podle zadaných parametrů. Brány pro vyhledávání jsou řešeny jako formuláře, do kterých se zadají požadované vlastnosti a z katalogu jsou následně vybrány odpovídající hvězdy.

Jednu z těchto bran jsem použil k prvnímu kroku praktické části, vyhledání uhlíkových hvězd. Nachází se na adrese http://astro.estec.esa.nl/hipparcos_scripts/hipMultiSearch.pl [7].

3. Praktická část

3.1 Vyhledávání v katalogu Hipparcos

Prvním krokem při realizaci praktické části zadání bakalářské práce bylo vybrat ze záznamů katalogu Hipparcos všechny uhlíkové hvězdy. Zadání bylo posléze upraveno na nalezení hodně zčervenalých uhlíkových hvězd. Parametr, podle kterého byly tyto hvězdy detekovány, je vysoký (B-V) index, který je obecně pro uhlíkové hvězdy vyšší než 1 magnituda. K vyhledání těchto hvězd jsem použil bránu nazvanou The Hipparcos and Tycho Catalogues Multiparameter Search Tool, viz. [7], která je přístupná ze stránek družice Hipparcos. Formulář umožňuje uživateli po zadání požadovaných parametrů nechat prohledat jeden z katalogů Hipparcos, Tycho a Tycho-2 (jedná se o referenční katalog více než 2,5 milionu hvězd, který spojuje katalog Tycho s Astrografickým katalogem a dalšími 143 katalogy, založenými na pozemním pozorování). Přímou stránku pod formulářem jsou pak vypsány odpovídající záznamy. Pokud je ovšem záznamů více než tisíc, program vypíše jen jejich počet a uživatel musí své požadavky dále omezit, aby si mohl záznamy prohlédnout. Vyhledávání je možné podle libovolné kombinace pěti parametrů:

- rektascenze
- deklinace
- paralaxy
- $m(V)$
- (B-V) indexu

Pro katalog Hipparcos jsou hodnoty omezeny v těchto rozsazích:

- rektascenze: $[0, 360]$ stupňů
- deklinace: $[-90, 90]$ stupňů
- paralaxa: $[-55, 772,33]$ úhlové milivteřiny
- $m(V)$: $[-1,44, 14,08]$ mag
- (B-V): $[-0,4, 5,46]$ mag

Vyhledání jsem provedl pouze v katalogu Hipparcos podle parametru (B-V). Pro vypsání maximálního počtu hvězd jsem zvolil (B-V) od hodnoty 1,75 mag do maximální hodnoty 5,46 mag, jak je možné vidět na obrázku 4.

Obr.4 The Hipparcos and Tycho Catalogues Multiparameter Search Tool.

| | | | |
|------------------------------------|---|--|---|
| Select catalogue to search: | <input checked="" type="radio"/> Hipparcos Main Catalogue | <input type="radio"/> Tycho Main Catalogue | <input type="radio"/> Tycho-2 Catalogue |
|------------------------------------|---|--|---|

| Select from some or all of the following fields: | | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| Field | Minimum Value | Maximum Value | Notes (See also the README documentation) |
| <input type="checkbox"/> ra (degrees) | <input type="text" value="0.0"/> | <input type="text" value="0.0"/> | All catalogues |
| <input type="checkbox"/> dec (degrees) | <input type="text" value="0.0"/> | <input type="text" value="0.0"/> | All catalogues |
| <input type="checkbox"/> parallax (mas) | <input type="text" value="0.0"/> | <input type="text" value="0.0"/> | Hipparcos and Tycho Catalogues only |
| <input type="checkbox"/> V magnitude | <input type="text" value="0.0"/> | <input type="text" value="0.0"/> | Johnson V for Hipparcos and Tycho Catalogues, V_T magnitude for Tycho-2 Catalogue |
| <input checked="" type="checkbox"/> B-V | <input type="text" value="1.75"/> | <input type="text" value="5.46"/> | Hipparcos and Tycho Catalogues only |

Bylo nalezeno 981 záznamů, splňujících tuto podmínku. Záznam charakterizuje hvězdu v katalogu a obsahuje 78 atributů. Všech 981 záznamů bylo vypsáno pod sebe, na každý řádek jeden. Provedl jsem jejich uložení do textového souboru a převedení do formátu programu Microsoft Excel (tabulka č.1.) tak, aby jednotlivé sloupce odpovídaly atributům H0-H77 záznamu v katalogu Hipparcos. Příloha 1 obsahuje první tři řádky tabulky č.1. a stručný popis významu atributů H0-H77.

Nejdůležitější atribut je H76, který udává spektrální typ hvězdy. H77 je potom zdroj při určování spektrálního typu. Jako zdroj spektrálního typu byla nejčastěji použita databáze SIMBAD, CDS ve Štrasburku. Katalog byl ale později aktualizován i z jiných zdrojů. Typ proměnnosti byl převzat z katalogů GCVS a NSV [6]. Perioda udávaná v katalogu byla buď určena přímo z dat naměřených družicí Hipparcos, nebo v případě, že se ji určit nepodařilo, byla vyzkoušena perioda udávaná v odborné literatuře (nejčastěji opět katalog GCVS) a buď potvrzena, nebo nepotvrzena.

3.2 Roztřídění na uhlíkové hvězdy

Atribut spektrálního typu H76 se skládá z vlastního spektrálního typu označeného velkým písmenem, spektrálního podtypu označeného číslicí 0-9 a případné další specifikace označené malým písmenem. U některých hvězd je uvedena i svítivost označená římskými číslicemi a poznámka. Značení poznámek, je následující:

: - existuje nejistota ve spektrálním typu nebo svítivosti

(spektr. typ)-(spektr. typ) – spektrální typ je někde mezi uvedenými

+ - spektrum je složeno ze dvou nebo více složek

... - spektrum není kompletní

Z vybraných 981 hvězd s (B-V) indexem větším než 1,75 mag jsem uhlíkové hvězdy vybral podle C-klasifikace. Hvězd se spektrálním typem, začínajícím písmenem C bylo 124. (V příloze 1 můžeme vidět, že už například první hvězda byla uhlíková, neboť její atribut H76 má hodnotu C5p). Dále byly odstraněny hvězdy, u kterých nebyl uveden název dle proměnnářské identifikace, neboť tyto nebylo možné porovnat s odpovídajícími hvězdami v GCVS. Zbývajících 118 hvězd splňovalo požadované předpoklady. Jejich důležité atributy (HIP, název, poloha a perioda) byly vypsány do tabulky č.2., která je součástí přílohy 2, a která byla použita pro další studium. Pokud některá hodnota atributu nebyla v katalogu uvedena, vyplnil jsem do tabulky č.2. „X“.

3.3 Hledání odpovídajících hvězd v GCVS

Další fáze sestávala z porovnání záznamů o uhlíkových hvězdách v katalogu Hipparcos a v katalogu GCVS. Každou hvězdu bylo nutné v GCVS vyhledat podle jména a příslušné hodnoty atributů z GCVS připsat do tabulky č. 2. Jelikož amplituda světelných změn je v obou katalozích uvedena v jiném fotometrickém systému, soustředilo se porovnávání především na periodu. K vyhledávání byla použita brána společnosti B.R.N.O. [5]

Obr.5 Výsledek vyhledání hvězdy V Aur v katalogu GCVS pomocí brány společnosti B.R.N.O.

| | | GCVS result | |
|-----------------------------|-------------------|------------------------------------|-----------------------|
| ID: | 080005 | Epoch (JD): | 43435. |
| Variable star: | V Aur | Period (d): | 353.00 |
| RA 2000: | 062402.3 | Year of outburst for N, SN: | |
| DE 2000: | +474224 | M-m (or D): | 52 |
| RA 1950: | 062015.4 | Spectrum: | C6,2e(N3e) |
| DE 1950: | 474401 | Study reference: | 00001 |
| Type of variability: | M | Chart or phot. ref.: | 00002 |
| Max (mag): | 8.5 | Cases of non-existence: | |
| Min (mag): | 13.0 | | |
| Photometric system: | V | | |

Atributy proměnné hvězdy, které uvádí GCVS mají následující význam:

- ID – katalogové číslo
- Variable star – název hvězdy
- RA2000, DE2000 – poloha vztažená k ekvinokciu 2000
- RA1950, DE1950 – poloha vztažená k ekvinokciu 1950
- Type of variability – typ proměnnosti
- Max(mag), Min(mag) – maximální a minimální hvězdná velikost v daném fotometrickém systému
- Photometric system – zde je uveden fotometrický systém (většinou V)
- Epoch(JD) – epocha v juliánských dnech
- Period (d) – perioda ve dnech
- Year of outburst se týká pouze supernov a udává rok výbuchu.
- M-m je rozdíl absolutní a pozorované hvězdné velikosti
- Spektrum – spektrální typ
- Dále jsou reference do jiných katalogů a případně připojená poznámka.

Do tabulky č. 2 byla ke 118 uhlíkovým hvězdám připsána z katalogu GCVS jejich perioda, maximální a minimální hvězdná velikost, fotometrický systém, ve kterém byla měřena, typ proměnnosti a spektrální typ. Spektrální typ je v GCVS uveden v C-klasifikaci a v závorce následuje R-N systém.

3.4 Kontrola světelných křivek

Poslední a nejdůležitější krok před vyhodnocením dat v tabulce spočíval ve vykreslení skládané světelné křivky pro každou hvězdu a v posouzení jejího tvaru. Světelné křivky jsou přístupné na stránkách katalogu Hipparcos, viz [6], v sekci Research Tools/Hipparcos Epoch Photometry Annex. Po vstupu se spustí java applet, vykreslující světelné křivky podle zadaných parametrů. Tento applet je možné spustit také samostatně z adresy: <http://astro.estec.esa.nl/Hipparcos/apps/PlotCurve.html> [8].

Zadávané parametry jsou následující:

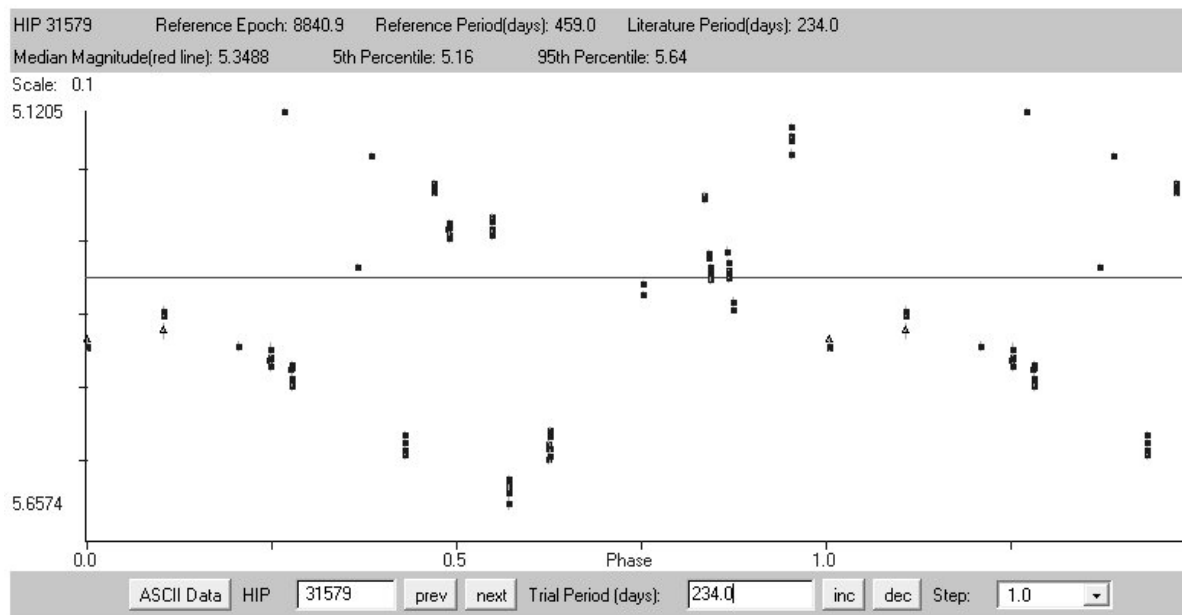
- HIP – katalogové číslo hvězdy v katalogu Hipparcos, přiřazující appletu naměřené fotometrické hodnoty dané hvězdy
- Trial period (days) – pokusná perioda zadávaná ve dnech, kterou program použije při vykreslování křivky
- Step – upravuje krok při změně periody ovládacími tlačítky Inc a Dec

Juliánské datum významného okamžiku, které je také třeba pro vykreslení skládané světelné křivky, je již zadáno implicitně pro každou hvězdu v katalogu.

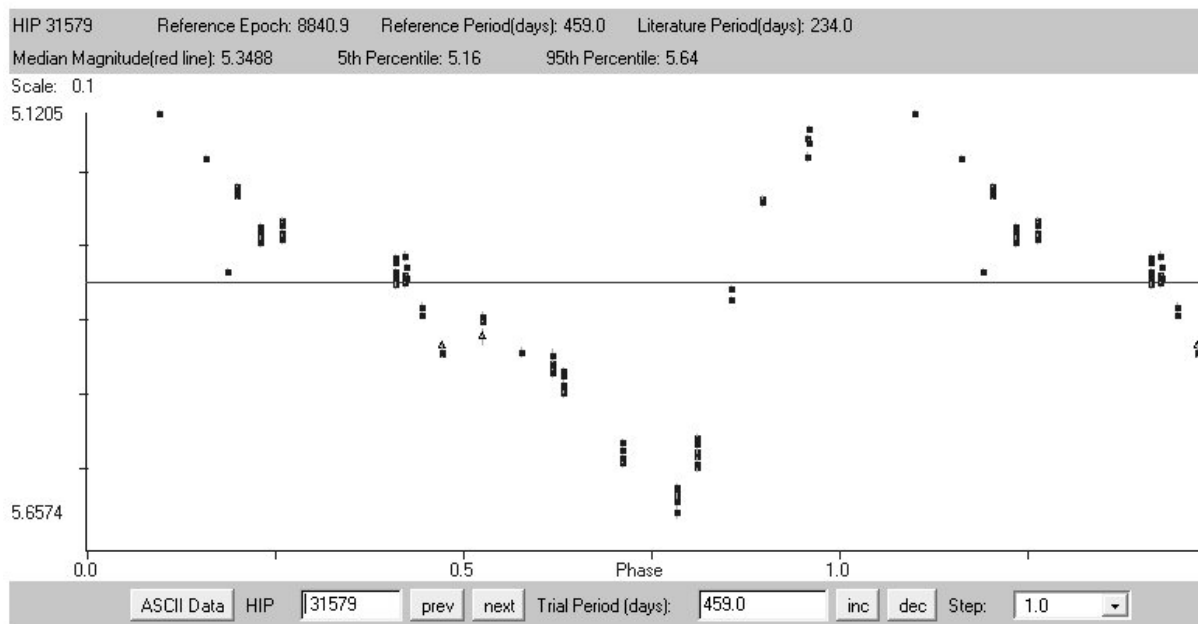
Při každém porovnání bylo zadáno HIP hvězdy a byly vyzkoušeny periody udávané v GCVS i katalogu Hipparcos. Do tabulky č.2 bylo následně vyznačeno, zda se periody shodují či ne a v jaké míře. Na ukázkou zcela rozdílného výsledku uvádím světelnou křivku hvězdy UU Aur (HIP 31579) s periodou převzatou z katalogu GCVS a světelnou křivku téže hvězdy s periodou z katalogu Hipparcos. Tyto periody se liší takřka o polovinu a na první pohled je zřejmé, že perioda z katalogu Hipparcos odpovídá souvislejší křivce s menším rozptylem bodů. Světelná křivka na obrázku 6 vykreslená podle periody z GCVS je tedy chybná.

V horní části obrázků vidíme, že v katalogu Hipparcos je u hvězdy uvedena i perioda udávaná v literatuře, tedy v GCVS. Ovšem v katalogu GCVS periody vypočtené z dat družice Hipparcos dosud uvedeny nejsou.

Obr. 6 Světelná křivka hvězdy UU Aur (HIP 31579) s periodou z katalogu GCVS P=234 dní.



Obr. 7 Světelná křivka hvězdy UU Aur (HIP 31579) s periodou z katalogu Hipparcos P=459 dní.



3.5 Shrnutí výsledků

Kompletní výsledky praktické části jsou obsaženy v tabulce č.2. v příloze 2. Tato tabulka sestává z následujících položek:

- **H1** je HIP neboli pořadové číslo hvězdy v katalogu Hipparcos
- **název** je název hvězdy podle proměnnářské identifikace
- **H3 a H4** je poloha hvězdy převzatá z katalogu Hipparcos
- **P(d)** je perioda ve dnech, převzatá z GCVS
- **Sho** je atribut shody, jeho význam vysvětlím později
- **P(d) H** je perioda ve dnech převzatá z katalogu Hipparcos
- **Max** a **Min** jsou maximální a minimální hvězdná velikost v magnitudách z GCVS
- **typ** je typ proměnnosti převzatý z GCVS
- **fs** je fotometrický systém ve kterém byly měřeny **Max** a **Min**
- **spektrum** je spektrální typ hvězdy, převzatý z GCVS

Vyplněné „X“ znamená, že hodnota nebyla v příslušném katalogu uvedena. Pokud je u hodnoty přidán znak „*“, je to příznak určité nejistoty, uvedené už v katalozích. Pro různorodost těchto příznaků jsem zvolil jednotné značení.

Při shrnutí výsledků se nejprve zaměřím na typ proměnnosti. Z tabulky č.2 vyplývá, že každá ze studovaných hvězd má jeden z následujících typů proměnnosti. M – 21 hvězd, LB – 41 hvězd, LC – 3 hvězdy, SR – 5 hvězd, SRA – 7 hvězd, SRB – 39 hvězd. Jedna hvězda je typu SRC a jedna I. Význam těchto zkratek je možné podrobně prostudovat na stránkách Sternbergova institutu, věnovaných GCVS, viz [4]. Uvedu zde jen stručný popis.

M jsou miry, neboli dlouhoperiodičtí obři. LB jsou pomale se měnící nepravidelní obři pozdních spektrálních typů. LC je stejné jako LB, jen se jedná o veleobry. SR jsou polopravidelné proměnné hvězdy a následující písmeno (A,B,C) specifikuje podtyp podle rychlosti a amplitudy změn. I je málo studovaný eruptivní typ.

Atribut shody **Sho** může nabývat těchto hodnot:

- **ano** Shoda nastala. Periody v obou katalozích jsou velice blízké (rozdíl je maximálně 2 procenta) Ve světelných křivkách vykreslených podle obou period lze jen obtížně poznat rozdíl. Takových hvězd bylo ve studovaném vzorku 19.

- **ano+** Shoda skoro nastala. Periody v obou katalozích se liší maximálně o 10 procent, přičemž perioda z katalogu Hipparcos dává světelnou křivku s viditelně menším rozptylem. (u hvězdy S Sct nebyla perioda z Hipparca k dispozici, ale perioda udávaná v GCVS měla pěkný průběh světelné křivky). Takovýchto hvězd bylo 9.
- **ne** Shoda nenastala. Zde mohou být dvě příčiny. Buď není perioda v katalogu Hipparcos určena a perioda z GCVS dává světelnou křivku s velkým rozptylem, nebo jsou určeny obě periody a potom perioda z katalogu Hipparcos dává podstatně odlišnou světelnou křivku, než perioda z GCVS. V obou případech je perioda z GCVS viditelně chybně určena. Takovýchto případů je ve vzorku 41. Z toho u šesti hvězd je určena správná perioda v katalogu Hipparcos, u ostatních nikoliv.
- **x** Shodu nelze určit. Buď není určena hodnota periody v katalogu GCVS nebo v žádném z katalogů. Případů, které jsem nemohl vyhodnotit je 49. Z toho 4 hvězdy mají určenu správnou periodu v katalogu Hipparcos.

Srovnáme-li atribut shody a typy proměnnosti hvězd, vidíme, že mezi hvězdami, které vykazují shodu jsou pouze typy M, SRA a SRB. Mezi hvězdami, které se neshodují, výrazně převládají typy SRB. Hvězdy typu LB a LC, tedy neperiodické, se všechny zařadily do skupiny hvězd, u kterých nebylo možno periodu určit, což dobře odpovídá teorii. Výjimku tvoří CR Gem, HK Lyr a SZ Lep, u kterých byla z dat, naměřených družicí Hipparcos určena perioda. Tyto tři hvězdy mají pravděpodobně v katalogu GCVS špatně určen typ proměnnosti.

4. Závěr

V této práci byly srovnávány periody 118 vybraných uhlíkových hvězd ve dvou nezávislých zdrojích:

- Všeobecném katalogu proměnných hvězd GCVS
- katalogu Hipparcos

Výsledkem srovnání jsou vzájemné rozdíly uváděných period u 41 hvězd. Ve všech těchto případech je chyba jednoznačně v katalogu GCVS, což dokazují tvary světelných křivek vykreslené s předpokládanou chybnou periodou.

Katalog GCVS platí v současnosti za významný zdroj informací, při studiu proměnných hvězd. Údaje v něm uváděné se mnohdy berou za ověřené a využívají se při porovnávání i jiných než fotometrických charakteristik. Např. se studovaný vzorek rozdělí na hvězdy s kratší a delší periodou, podle typů proměnnosti a podobně.

Mise družice Hipparcos jednak mnoho údajů uvedených v GCVS potvrdila a dále zpřesnila, ale také ukázala, že některé údaje jsou v GCVS uvedeny chybně. Příčinou je zřejmě různá důvěryhodnost zdrojů, ze kterých autoři při sestavování GCVS čerpali. Některé z těchto údajů byly také při sestavování buď nedůsledně ověřeny, nebo je nebylo možné ověřit. Bude úkolem dalšího vydání katalogu, aby chybné údaje nahradil správnými a doplnil množství nově objevených proměnných hvězd. V elektronické verzi katalogu GCVS již můžeme proměnné hvězdy objevené družicí Hipparcos najít. Opravy period však doposud provedeny nebyly, jak ukazuje tato práce.

Družice Hipparcos poskytla profesionálním i amatérským astronomům obrovský zdroj informací. Díky možnosti přístupu k těmto informacím se vědcům z celého světa otevírají dosud netušené možnosti. Nebývale přesná měření vzdáleností hvězd a fotometrie ovlivní (a ovlivňuje) další rozvoj astrofyziky. Například už dnes byla na základě údajů z tohoto katalogu opravena vzdálenost některých galaxií, tedy i jejich stáří a tím vyřešen paradox galaxií starších než vesmír sám.

Nezbývá než popřát Evropské kosmické agentuře podobné úspěchy i s jejich dalšími projekty.

5. Použité zdroje:

- [1] Mikulášek, Z. *Úvod do fyziky hvězd a hvězdných soustav*. Brno, 2001.
- [2] Dušek, J. *Fotometrické studium sedmi uhlíkových hvězd*. Brno, 2002. Disertační práce, Přírodovědecká fakulta Masarykovy University.
- [3] Mikulášek, Z. *Proměnné hvězdy*. Brno, 2002. Skriptum, Přírodovědecká fakulta Masarykovy University.
- [4] Sternberg Astronomical Institute. *General Catalogue of Variable Stars* [online]. Moskva. Poslední úpravy 15. února 2002. [citováno prosinec 2003].
Dostupné z URL: <<http://www.sai.msu.su/groups/cluster/gcvs/gcvs/intro.htm>>.
- [5] B.R.N.O. *General Variable Star Search Gateway* [databáze online].
Dostupné z URL: <<http://astro.sci.muni.cz/variables/brno/vsgateway.php>>.
Vyhledávací brána katalogu GCVS provozovaná sekci pozorovatelů proměnných hvězd České astronomické společnosti.
- [6] European Space Agency - The Hipparcos Web Group. *The Hipparcos Space Astrometry Mission* [online]. Poslední úpravy 23. ledna 2003 [citováno prosinec 2003].
Dostupné z URL: <<http://astro.estec.esa.nl/Hipparcos>>.
- [7] European Space Agency - The Hipparcos Web Group. *The Hipparcos and Tycho Catalogues Multiparameter Search Tool* [databáze online]. Ver. 1. Poslední úpravy 12. srpna 2000 [citováno duben 2003].
Dostupné z URL: <http://astro.estec.esa.nl/hipparcos_scripts/hipMultiSearch.pl>.
Vyhledávací brána katalogu Hipparcos.
- [8] European Space Agency - Astrophysics Division. *PlotCurve* [online]. Červenec 1998 [citováno květen 2003].
Dostupné z URL: <<http://astro.estec.esa.nl/Hipparcos/apps/PlotCurve.html>>.
Java applet, zobrazující světelné křivky, sestavené z dat pořízených družicí Hipparcos.
- [9] Široký, J. *Astronomie a astrofyzika*. Olomouc, 1979. Skriptum, Přírodovědecká fakulta University Palackého.
- [10] Akademie věd České republiky. *Vývojová optická dílna Akademie věd České republiky* [online]. Poslední úpravy 4. června 2000 [citováno prosinec 2003].
Dostupné z URL: <<http://www.optikavod.cz>>.
Použité informace je možné najít v sekci *časté dotazy/barevné fotometrické systémy UBVR*.

6. Seznam příloh

Příloha 1: Tabulka č.1 a popis atributů H0-H77.

Příloha 2: Výsledky porovnávání 118 uhlíkových hvězd v tabulce č.2.

Příloha 1

Tabulka č.1. ukazuje výsledky vyhledávání pomocí brány katalogu Hipparcos [5]. Zobrazeny jsou pouze hodnoty parametrů prvních tří hvězd. Tabulka byla z důvodu velkého počtu sloupců (H0-H77) rozdělena na 8 částí a zobrazena pod sebe.

| H0 | H1 | H2 | H3 | H4 | H5 | H6 | H7 | H8 | H9 |
|----|-----|----|-------------|-------------|------|----|----|--------------|--------------|
| H | 99 | | 00 01 15.84 | +60 21 19.1 | 7.04 | 2 | H | 000.31601620 | +60.35529798 |
| H | 181 | | 00 02 17.72 | +60 42 11.5 | 6.77 | 2 | H | 000.57381667 | +60.70319460 |
| H | 215 | | 00 02 41.88 | +75 02 10.3 | 9.26 | 2 | H | 000.67449039 | +75.03619342 |

| H10 | H11 | H12 | H13 | H14 | H15 | H16 | H17 | H18 | H19 |
|-----|------|-------|--------|------|------|------|------|------|-------|
| | 1.27 | 9.57 | -6.49 | 0.47 | 0.51 | 0.70 | 0.55 | 0.57 | -0.10 |
| | 2.51 | -8.91 | -11.05 | 0.44 | 0.46 | 0.64 | 0.50 | 0.52 | -0.18 |
| | 3.49 | 4.08 | 7.28 | 0.85 | 0.73 | 0.94 | 1.17 | 0.76 | -0.14 |

| H20 | H21 | H22 | H23 | H24 | H25 | H26 | H27 | H28 | H29 |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-----|
| 0.06 | 0.15 | 0.13 | 0.01 | -0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.26 | -0.10 | 0 |
| -0.01 | 0.11 | 0.14 | -0.05 | -0.11 | -0.03 | -0.02 | 0.28 | -0.17 | 1 |
| -0.04 | 0.21 | -0.20 | 0.04 | 0.13 | 0.00 | -0.13 | 0.03 | 0.07 | 2 |

| H30 | H31 | H32 | H33 | H34 | H35 | H36 | H37 | H38 | H39 |
|-------|-----|--------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-----|
| 0.52 | 99 | 11.006 | 0.055 | 7.383 | 0.006 | | 2.835 | 0.040 | T |
| 0.22 | 181 | 9.142 | 0.012 | 6.975 | 0.005 | | 1.832 | 0.011 | T |
| -0.71 | 215 | 11.630 | 0.095 | 9.501 | 0.024 | | 1.800 | 0.081 | T |

| H40 | H41 | H42 | H43 | H44 | H45 | H46 | H47 | H48 | H49 |
|-------|------|-----|-----|--------|--------|-------|-----|-----|------|
| 11.91 | 0.04 | L | | 6.9749 | 0.0143 | 0.157 | 153 | | 6.77 |
| 11.46 | 0.03 | O | | 6.7960 | 0.0034 | 0.030 | 140 | | 6.75 |
| 11.37 | 0.27 | K | | 9.2965 | 0.0041 | 0.032 | 93 | | 9.24 |

| H50 | H51 | H52 | H53 | H54 | H55 | H56 | H57 | H58 | H59 |
|------|-----|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|-----|
| 7.21 | | U | 2 | B | 00013+6021 | I | 1 | 1 | |
| 6.84 | | U | 2 | | | | | 1 | |
| 9.34 | | U | 2 | | | | | 1 | |

| H60 | H61 | H62 | H63 | H64 | H65 | H66 | H67 | H68 | H69 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | S | | | | | | | | |
| | S | | | | | | | S | |
| | S | | | | | | | | |

| H70 | H71 | H72 | H73 | H74 | H75 | H76 | H77 |
|-----|--------|-----------|-----|-----|-------|-----|-----|
| | 224855 | B+59 2810 | | | 11.85 | C5p | G |
| P | 224980 | B+59 2816 | | | 1.96 | M0 | S |
| | | B+74 1058 | | | 11.37 | M2 | S |

Popis atributů H0-H77

Následuje stručný popis významu jednotlivých atributů.

H0 – označuje, zda je záznam z katalogu Hipparcos nebo Tycho

H1 – HIP, katalogové číslo záznamu

H2 – příznak přítomnosti dalších objektů v těsné blízkosti dané hvězdy

H3, H4 – poloha, zadaná v konvenčních jednotkách

H5 – $m(V)$ v magnitudách

H6 – příznak proměnnosti hvězdy

H7 – zdroj hodnoty v atributu H5

H8, H9 – poloha ve stupních (epocha J1991,25 vzhledem k referenčnímu systému ICRS)

H10 – příznak dvoj a více hvězdných systémů

H11 – paralaxa v úhlových milivteřinách

H12, H13 – složky pohybu hvězdy

H14-H18 – standardní chyby

H19-H28 – korelační koeficienty

H29 – procento odmítnutých dat

H30 – určuje shodu výsledné hodnoty astrometrických dat v katalogu s naměřenými

H31 – znovu HIP

H32-H35 – fotometrie Tycha ($m(V_T)$, $m(B_T)$) a jejich standardní chyby

H36 – příznak toho, že Tychova fotometrie měřila vícenásobný systém

H37 – (B-V) index v magnitudách

H38 – standardní chyba (B-V)

H39 – zdroj (B-V)

H40-H42 – (V-I) index, jeho chyba a zdroj

H43 – příznak toho, že barevné indexy jsou vypočítané pro vícenásobný systém

H44-H48 – měření fotometrickým filtrem H_p , $m(H_p)$

H49-H50 – minimální a maximální hvězdná velikost u proměnných hvězd, ve fotometrickém systému H_p

H51 – perioda P proměnných hvězd, určená analýzou světelné křivky

H52 – typ proměnnosti

H53 – odkaz na tabulkovou přílohu k proměnným hvězdám

H54 – odkaz na světelnou křivku proměnné hvězdy

H55-H67 – data vztahující se k vícenásobným systémům

H68 – označení skupiny hvězd „survey“

H69 – příznak existence identifikační tabulky hvězdy v tištěném katalogu Hipparcos

H70 – příznak existence poznámky k dané hvězdě

Atributy H71-H77 nejsou uvedeny v tištěném katalogu.

H71-H74 jsou reference do jiných katalogů.

H75 je aktualizovaná hodnota indexu (V-I).

H76 udává spektrální typ hvězdy.

H77 je zdroj při určování spektrálního typu.

Podrobný popis atributů H0-H70 je součástí tištěného katalogu Hipparcos. V elektronické formě je možné tento popis nalézt na stránkách družice Hipparcos, viz [6], v sekci Introduction and Guide to the Data.

Příloha 2

Tabulka č.2. s výsledky porovnání period 118 uhlíkových hvězd v katalogích GCVS a Hipparcos a s dalšími parametry, vypsány z těchto katalogů. Parametry mají následující význam:

H1 je HIP neboli pořadové číslo hvězdy v katalogu Hipparcos

název je název hvězdy podle proměnnářské terminologie

H3 a H4 je poloha hvězdy z katalogu Hipparcos

P(d) je perioda ve dnech, převzatá z GCVS

Sho je atribut shody

P(d) H je perioda ve dnech z katalogu Hipparcos

Max a Min jsou maximální a minimální hvězdná velikost v magnitudách z GCVS

typ je typ proměnnosti z GCVS

fs je fotometrický systém ve kterém byly měřeny **Max a Min**

spektrum je spektrální typ hvězdy z GCVS

| H1 | název | H3 | H4 | P(d) | Sho | P(d) H | Max | Min | typ | fs | Spektrum |
|--------|--------|-------------|-------------|--------|------|--------|------|-------|------|----|---------------|
| 30449 | V Aur | 06 24 02.33 | +47 42 23.9 | 353 | ano | 349 | 8,5 | 13 | M | V | C6,2e(N3e) |
| 100219 | U Cyg | 20 19 36.60 | +47 53 39.1 | 463,24 | ano | 460 | 5,9 | 12,1 | M | V | C7,2e-C9,2 |
| 84059 | SZ Ara | 17 11 07.38 | -61 57 15.2 | 220,5 | ano | 217,6 | 11 | 15 | M | P | Ce(R-NB) |
| 109089 | RZ Peg | 22 05 52.97 | +33 30 24.9 | 438,7 | ano | 435,6 | 7,6 | 13,6 | M | V | C9,1e/CSe |
| 34859 | VX Gem | 07 12 48.97 | +14 36 03.7 | 379,4 | ano | 381 | 10,8 | 15,1* | M | P | C7,2e-C9,1e |
| 102082 | V Cyg | 20 41 18.28 | +48 08 28.9 | 421,27 | ano | 417 | 7,7 | 13,9 | M | V | C5,3e-C7,4e |
| 26032 | RT Ori | 05 33 13.75 | +07 09 12.5 | 321 | ano | 323,2 | 9,7 | 11,8 | SRB | P | C6,4(Nb) |
| 106583 | S Cep | 21 35 12.80 | +78 37 28.2 | 486,84 | ano | 486 | 7,4 | 12,9 | M | V | C7,4e(N8e) |
| 116681 | ST And | 23 38 45.13 | +35 46 21.3 | 328,34 | ano | 330 | 7,7 | 11,8 | SRA | V | C4,3e-C6,4e |
| 4284 | W Cas | 00 54 53.86 | +58 33 49.1 | 405,57 | ano | 399,8 | 7,8 | 12,5 | M | V | C7,1e |
| 9057 | X Cas | 01 56 38.09 | +59 15 33.8 | 422,84 | ano | 420,9 | 9,45 | 13,2 | M | V | C5,4e(N1e) |
| 63175 | V Cru | 12 56 35.56 | -57 53 57.0 | 376,5 | ano | 375 | 10,4 | 13,9 | M | B | Ce(Ne) |
| 26753 | S Cam | 05 41 02.49 | +68 47 55.0 | 327,26 | ano | 326,5 | 7,7 | 11,6 | SRA | V | C7,3e(R8e) |
| 62401 | RU Vir | 12 47 18.41 | +04 08 41.6 | 433,2 | ano | 443,7 | 9 | 14,2 | M | V | C8,1e(R3ep) |
| 42975 | R Pyx | 08 45 30.71 | -28 12 02.9 | 364,7 | ano | 361,8 | 10,4 | 15,1 | M | B | C(R)e |
| 6759 | R Scl | 01 26 58.10 | -32 32 35.2 | 370 | ano | 372 | 9,1 | 12,9 | SRB | P | C6,5ea(Np) |
| 80550 | V Oph | 16 26 43.71 | -12 25 35.9 | 297,21 | ano | 296,1 | 7,3 | 11,6 | M | V | C5,2-C7,4e |
| 19931 | SY Per | 04 16 33.19 | +50 37 34.6 | 474 | ano | 465 | 8,7 | 3* | SRA | V | C6,4e(N3e) |
| 23165 | R Ori | 04 59 00.56 | +08 07 49.7 | 377,1 | ano | 379 | 9,05 | 13,4 | M | V | C8,2e(Ne) |
| 92442 | S Sct | 18 50 20.03 | -07 54 27.4 | 148 | ano+ | X | 9,63 | 10,9* | SRB | B | C6,4(N3) |
| 22796 | AU Aur | 04 54 14.99 | +49 54 00.3 | 400 | ano+ | 377 | 13 | 15,8 | M | P | C6-7,3e(N0e) |
| 100113 | WX Cyg | 20 18 33.28 | +37 26 59.1 | 410,45 | ano+ | 399 | 8,8 | 13,2 | M | V | C8,2JLi(N3e) |
| 78721 | RR Her | 16 04 13.41 | +50 29 57.0 | 239,7 | ano+ | 244,2 | 8,8 | 13,5 | SRB | B | C5,7e-C8,1e |
| 23203 | R Lep | 04 59 36.34 | -14 48 22.5 | 427,07 | ano+ | 444 | 5,5 | 11,7 | M | V | C7,6e(N6e) |
| 99653 | RS Cyg | 20 13 23.66 | +38 43 44.5 | 417,39 | ano+ | 434,1 | 6,5 | 9,5 | SRA | V | C8,2e(N0pe) |
| 34474 | R CMi | 07 08 42.62 | +10 01 26.4 | 337,78 | ano+ | 330,9 | 7,25 | 11,6 | M | V | C7,1Je(CSep) |
| 16126 | Y Per | 03 27 42.40 | +44 10 36.4 | 248,6 | ano+ | 238 | 8,1 | 11,3 | M | V | C4,3e(R4e) |
| 39751 | RU Pup | 08 07 29.83 | -22 54 45.3 | 425 | ano+ | 453 | 10,3 | 12,2 | SRB | P | C5,4(N3) |
| 95154 | UX Dra | 19 21 35.53 | +76 33 34.6 | 168 | ne | X | 5,94 | 7,1 | SRA* | V | C7,3(N0) |
| 96255 | AQ Sgr | 19 34 18.99 | -16 22 27.0 | 199,6 | ne | X | 9,1 | 11,4 | SRB | P | C7,4(N3) |
| 59844 | BH Cru | 12 16 16.80 | -56 17 09.6 | 421 | ne | 517,1 | 7,2 | 10 | M | V | SC4.5/8-SC7/8 |
| 53085 | V Hya | 10 51 37.26 | -21 15 00.3 | 530,7 | ne | X | 10,9 | 16 | SRA | P | C6,3e-C7,5e |

| H1 | název | H3 | H4 | P(d) | Sho | P(d) H | Max | Min | typ | fs | Spektrum |
|--------|----------|-------------|-------------|-------|-----|--------|-------|-------|------|----|---------------|
| 62223 | Y CVn | 12 45 07.83 | +45 26 24.8 | 157* | ne | X | 7,4 | 10 | SRB | P | C5,4J(N3) |
| 33794 | V614 Mon | 07 01 01.96 | -03 15 09.1 | 60* | ne | X | 7,01 | 7,36 | SRB | V | C4,5J(R5) |
| 63152 | RY Dra | 12 56 25.89 | +65 59 39.9 | 200* | ne | X | 6,03 | 8 | SRB: | V | C4,5J(N4p) |
| 43811 | X Cnc | 08 55 22.88 | +17 13 52.5 | 195* | ne | X | 5,6 | 7,5 | SRB | V | C5,4(N3) |
| 98909 | X Sge | 20 05 05.43 | +20 38 48.5 | 196 | ne | X | 7 | 9,7 | SR | V | C6-,5(N3) |
| 107242 | RV Cyg | 21 43 16.33 | +38 01 03.0 | 263 | ne | 231 | 10,8 | 12,4 | SRB | P | C6,4e(N5) |
| 96836 | TT Cyg | 19 40 57.02 | +32 37 05.8 | 118 | ne | X | 10,2 | 11,9 | SRB | B | C5,4e(N3e) |
| 107129 | V460 Cyg | 21 42 01.08 | +35 30 36.7 | 180* | ne | X | 5,57 | 7 | SRB | V | C6,4(N1) |
| 99 | WZ Cas | 00 01 15.84 | +60 21 19.1 | 186 | ne | X | 9,4 | 11,4 | SRB | P | C9,2JLi(N1p) |
| 10472 | V Ari | 02 15 00.04 | +12 14 23.2 | 77* | ne | X | 9,8 | 10,8 | SRB | P | C4,4CH(R8) |
| 14930 | TW Hor | 03 12 33.14 | -57 19 17.7 | 158* | ne | X | 5,52 | 5,95 | SRB | V | C7,2(N0) |
| 22578 | TT Tau | 04 51 31.27 | +28 31 36.9 | 166,5 | ne | X | 10,2 | 12,2 | SRB | P | C4,2-C7,4(N3) |
| 24025 | SY Eri | 05 09 48.27 | -05 30 55.1 | 96* | ne | X | 10,4 | 11,4 | SRB | P | C6,3(N0) |
| 27135 | TU Tau | 05 45 13.72 | +24 25 12.5 | 190* | ne | X | 5,9 | 9,2 | SRB | V | C5,4+A2III-V |
| 27181 | Y Tau | 05 45 39.41 | +20 41 42.2 | 241,5 | ne | X | 6,5 | 9,2 | SRB | V | C6,5,4e(N3) |
| 31579 | UU Aur | 06 36 32.84 | +38 26 44.0 | 234 | ne | 459 | 7,83 | 10 | SRB | B | C5,3-C7,4(N3) |
| 33550 | RV Mon | 06 58 21.49 | +06 10 01.5 | 131,5 | ne | X | 9,71 | 11,9 | SRB | B | C4,4-C6,2 |
| 86728 | V Pav | 17 43 18.94 | -57 43 26.2 | 225,4 | ne | X | 9,3 | 11,2 | SRB | P | C6,4(Nb) |
| 92874 | T Sct | 18 55 27.62 | -08 11 10.4 | 122* | ne | X | 11,1 | 12 | SRB | P | C7,3(N3) |
| 93666 | V Aql | 19 04 24.15 | -05 41 05.4 | 353 | ne | X | 6,6 | 8,4 | SRB | V | C5,4-C6,4(N6) |
| 105334 | T Ind | 21 20 09.48 | -45 01 18.8 | 320* | ne | X | 7,7 | 9,4 | SRB | P | C7,2(Na) |
| 105678 | Y Pav | 21 24 16.73 | -69 44 01.9 | 233,3 | ne | X | 8,6 | 10,3 | SRB | P | C7,3(N0) |
| 38124 | W CMi | 07 48 45.53 | +05 23 35.4 | 95* | ne | X | 8,72 | 9,04 | SRB | V | C7,2(R6) |
| 48316 | W Sex | 09 50 58.25 | -02 01 43.2 | 134 | ne | 200,8 | 10,3 | 12,5 | SR | B | C6,3e(Nbe) |
| 52656 | TZ Car | 10 46 03.03 | -65 36 52.8 | 69 | ne | X | 10,2 | 11,9 | SRB | P | R5 |
| 65242 | UX Cen | 13 22 09.85 | -64 13 07.8 | 122* | ne | X | 10,1 | 10,6 | SRB | P | C(Nb) |
| 22247 | T Cae | 04 47 18.92 | -36 12 33.6 | 156 | ne | X | 9 | 10,8 | SR | P | C6,4(N4) |
| 39583 | RT Pup | 08 05 19.99 | -38 46 36.1 | 100* | ne | X | 10,2 | 11 | SRB | B | C6,2(Nb) |
| 43093 | UZ Pyx | 08 46 36.34 | -29 43 41.2 | 100* | ne | X | 6,99 | 7,47 | SRB | V | C5,5J(R8) |
| 48327 | Y Hya | 09 51 03.71 | -23 01 02.3 | 302,8 | ne | X | 8,3 | 12 | SRB | P | C5,4(N3p) |
| 52009 | U Hya | 10 37 33.25 | -13 23 04.0 | 450* | ne | 114,8 | 7 | 9,4 | SRB | B | C6,5,3(N2) |
| 85617 | TW Oph | 17 29 43.66 | -19 28 22.9 | 185* | ne | X | 11,6 | 13,8 | SRB | P | C5,5(Nb) |
| 86873 | SZ Sgr | 17 44 56.48 | -18 39 26.3 | 73* | ne | X | 11,05 | 11,9 | SRB | B | C7,3(Nb) |
| 99990 | RT Cap | 20 17 06.53 | -21 19 04.4 | 393 | ne | X | 8,9 | 11,7 | SRB | P | C6,4(N3) |
| 93158 | UV Aql | 18 58 32.43 | +14 21 49.6 | 385,5 | ne | X | 11,1 | 12,4 | SRA | P | C5,4-5(N4) |
| 107490 | RR Ind | 21 46 17.63 | -65 18 28.4 | 140* | ne | 284,4 | 10,9 | 13,1 | SRB | P | C6II(Na) |
| 68837 | U Cir | 14 05 42.43 | -67 00 54.8 | 145 | ne | X | 12 | 13,5 | SR | P | C |
| 49950 | AB Ant | 10 11 53.82 | -35 19 29.0 | X | X | X | 6,79 | 6,89 | LB* | V | C6,3(N0) |
| 45266 | IQ Hya | 09 13 31.85 | -23 23 31.5 | X | X | 411,8 | 5 | 6,2 | M | I | C3,2(Ne) |
| 31349 | CR Gem | 06 34 23.92 | +16 04 30.3 | X | X | 250 | 10,9 | 12,1 | LB | B | C8,3e(N) |
| 90883 | T Lyr | 18 32 20.08 | +36 59 55.7 | X | X | X | 7,84 | 9,6 | LB | V | C6,5(R6) |
| 80659 | V377 Nor | 16 28 05.27 | -43 39 40.1 | X | X | X | 9,07 | 9,33 | LC | Hp | X |
| 30409 | IV CMa | 06 23 39.12 | -27 03 56.7 | X | X | X | 8,21 | 8,75 | SRC | Hp | X |
| 92194 | DR Ser | 18 47 21.02 | +05 27 18.6 | X | X | X | 10,4 | 13,39 | LB | B | C6,4(N) |
| 98190 | AX Cyg | 19 57 12.51 | +44 15 40.2 | X | X | X | 7,85 | 8,8 | LB | V | C4,5(N6) |
| 82392 | V TrA | 16 50 06.60 | -67 46 58.1 | X | X | X | 10 | 10,7 | LB | P | C5,5(Nb) |
| 112254 | DG Cep | 22 44 11.12 | +61 43 42.6 | X | X | X | 11,54 | 12,5 | LB | B | C6,4(Nb/R8) |
| 23965 | TX Aur | 05 09 05.47 | +39 00 08.5 | X | X | X | 8,5 | 9,2 | LB | V | C5,4(N3) |
| 30380 | V720 Mon | 06 23 18.41 | -07 27 04.8 | X | X | X | 9,6 | 9,83 | LC* | Hp | X |
| 30564 | BL Ori | 06 25 28.18 | +14 43 19.2 | X | X | X | 7,9 | 9,7 | LB | P | C6,3(Nb,Tc) |
| 32083 | VW Gem | 06 42 08.59 | +31 27 17.6 | X | X | X | 8,14 | 8,52 | LB | V | C5,4(Na) |
| 34413 | W CMa | 07 08 03.44 | -11 55 23.8 | X | X | X | 6,35 | 7,9 | LB | V | C6,3(N) |

| H1 | název | H3 | H4 | P(d) | Sho | P(d) H | Max | Min | typ | fs | Spektrum |
|--------|-----------|-------------|-------------|------|-----|--------|-------|-------|-----|----|-------------|
| 35015 | MO CMa | 07 14 35.07 | -17 23 19.1 | X | X | X | 11,13 | 11,53 | I* | Hp | X |
| 36004 | V760 Mon | 07 25 13.07 | -03 08 03.4 | X | X | X | 8,56 | 8,82 | LB | Hp | X |
| 38787 | V406 Pup | 07 56 20.80 | -49 58 55.0 | X | X | X | 7,39 | 8,15 | LC | Hp | X |
| 52577 | VY UMa | 10 45 04.02 | +67 24 41.0 | X | X | X | 5,87 | 7 | LB | V | C6,3(N0) |
| 71386 | Z Lup | 14 35 51.72 | -43 22 02.6 | X | X | X | 10,5 | 12,6 | LB | P | C4,3-C6,3 |
| 91275 | RX Sct | 18 37 04.08 | -07 36 11.8 | X | X | X | 11 | 13 | LB | P | C5,5(N3) |
| 91774 | HK Lyr | 18 42 50.00 | +36 57 30.9 | X | X | 186 | 7,8 | 9,6 | LB | V | C6,4(N4) |
| 117245 | TX Psc | 23 46 23.54 | +03 29 12.7 | X | X | X | 4,79 | 5,2 | LB | V | C7,2(N0) |
| 12298 | UY And | 02 38 23.79 | +39 10 09.9 | X | X | X | 7,4 | 12,3 | LB | V | C5,4(N3) |
| 24815 | V348 Aur | 05 19 10.21 | +35 47 32.5 | X | X | X | 11,95 | 13 | LB | B | C6,3(N) |
| 27398 | FU Aur | 05 48 08.18 | +30 37 51.9 | X | X | X | 11 | 12,2 | LB | B | C7,2(N0) |
| 33059 | GY Mon | 06 53 11.31 | -04 34 34.0 | X | X | X | 9,4 | 11,6 | LB | P | C6,3(N3/R8) |
| 1945 | NQ Cas | 00 24 34.87 | +54 17 38.3 | X | X | X | 10,6 | 11,52 | LB | B | C4,5J(R5) |
| 33189 | NP Pup | 06 54 26.68 | -42 21 56.2 | X | X | X | 6,25 | 6,52 | LB | V | C7,2(N0) |
| 45416 | RU Car | 09 15 16.88 | -66 14 10.1 | X | X | X | 10,9 | 12,1 | LB | P | N3 |
| 55448 | V905 Cen | 11 21 21.93 | -55 45 47.4 | X | X | X | 10,49 | 10,68 | LB* | Hp | X |
| 58513 | DD Cru | 11 59 58.78 | -58 36 02.8 | X | X | X | 8,89 | 9,05 | LB* | Hp | X |
| 66070 | V971 Cen | 13 32 41.67 | -53 49 51.5 | X | X | X | 8,51 | 8,69 | LB | Hp | X |
| 69539 | V996 Cen | 14 14 07.36 | -53 55 55.1 | X | X | X | 7,01 | 7,37 | LB | Hp | X |
| 73381 | V Lup | 14 59 44.00 | -53 24 28.1 | X | X | X | 9,16 | 9,26 | LB* | V | C5,5(Nb) |
| 75707 | U Aps | 15 28 01.02 | -75 55 46.5 | X | X | X | 11 | 11,6 | LB | P | C(Nb) |
| 107349 | BU Ind | 21 44 31.18 | -65 03 33.8 | X | X | X | 10,09 | 10,32 | LB* | Hp | X |
| 37294 | V765 Mon | 07 39 27.05 | -02 09 01.0 | X | X | X | 11,12 | 11,49 | LB* | Hp | X |
| 38728 | V768 Mon | 07 55 44.08 | -03 11 53.6 | X | X | X | 10,24 | 10,42 | LB* | Hp | X |
| 26284 | SZ Lep | 05 35 47.72 | -25 44 18.6 | X | X | 82,7 | 7,4 | 7,93 | LB* | V | C7,3(R8) |
| 35865 | BE CMa | 07 23 38.57 | -22 58 10.8 | X | X | X | 11 | 12,3 | LB | P | C5,5J(N) |
| 48499 | FP Vel | 09 53 25.96 | -52 30 33.8 | X | X | X | 12 | 13,38 | LB | B | C |
| 51821 | U Ant | 10 35 12.88 | -39 33 45.3 | X | X | X | 8,1 | 9,7 | LB | P | C5,3(Nb) |
| 60934 | V927 Cen | 12 29 21.02 | -38 15 50.3 | X | X | X | 9,05 | 9,44 | LB | Hp | X |
| 70339 | RS Lup | 14 23 27.70 | -47 31 20.7 | X | X | X | 10,7 | 12,3 | LB | B | C(Nb) |
| 87063 | SX Sco | 17 47 28.24 | -35 42 04.6 | X | X | X | 10,5 | 11,4 | SR* | P | C5,4(N3) |
| 89783 | FO Ser | 18 19 21.81 | -15 36 46.1 | X | X | X | 8,45 | 8,74 | LB | V | C4,5(R6) |
| 94940 | V1942 Sgr | 19 19 09.59 | -15 54 30.0 | X | X | X | 6,74 | 7 | LB | V | C6,4(N2/R8) |
| 97296 | UW Sgr | 19 46 26.07 | -18 09 06.4 | X | X | X | 11,76 | 12,5 | SRB | B | C6,5-C7,1 |

„X“ – hodnota nebyla v katalogu uvedena

„*“ – připojená k hodnotě znamená, že v katalogu byla u hodnoty uvedena značka nejistoty