

# Komplexní studium V436 Per

disertační práce

Jan Janík

červenec 2003

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky  
Přírodovědecká fakulta MU v Brně



Čestně prohlašuji, že jsem předloženou disertační práci vypracoval samostatně,  
pouze s použitím citované literatury.



Rád bych na tomto místě poděkoval mému školiteli, doc. RNDr. Petru Harmancovi, DrSc., který se mě ujal a bez jehož pomoci bych dnes jen stěží mohl tuto práci předložit. Velice děkuji RNDr. Petru Hadravovi, DrSc. z Astronomického ústavu AV v Ondřejově, který mi byl během práce nápomocen svými cennými radami a jehož programy jsem v této práci mohl využít. Dále bych rád poděkoval prof. Allu Linnellovi za vypočítání světelné křivky a dr. Ivanu Hubenému, za vypracování teoretických modelů atmosfér. Velký dík patří doc. RNDr. Zdeňku Mikuláškov, CSc., který mi vždy ochotně pomáhal řešit vzniklé problémy a byl mi velkou oporou. Děkuji vedoucímu ÚTFA prof. Michalu Lencovi, Ph.D. za laskavý přístup po celou dobu mého studia a v neposlední řadě děkuji všem členům ÚTFA včetně paní sekretářky Hanušové za vytvoření optimálních podmínek pro moji práci.

Poděkování na zcela jiné úrovni patří mým rodičům - za jejich podporu, trpělivost a toleranci, protože bez nich bych tuto práci nikdy nedokončil. Tím, kdo si však zaslouží největší dík, je moje Evička, která to se mnou opravdu nemá lehké.



# Obsah

<b>1. Úvod</b>	<b>9</b>
<b>2. Změny čárového profilu</b>	<b>11</b>
2.1 Projekt SEFONO . . . . .	14
2.2 V436 Per . . . . .	14
<b>3. FOTEL</b>	<b>16</b>
3.1 Řešení světelné křivky . . . . .	17
3.2 Řešení křivek radiálních rychlostí . . . . .	19
<b>4. KOREL</b>	<b>20</b>
4.1 Čárová fotometrie . . . . .	21
4.2 KORNO . . . . .	22
<b>5. Zpracování pozorovaných dat</b>	<b>24</b>
5.1 Fotometrická data . . . . .	24
5.2 Spektroskopie . . . . .	26
5.2.1 Th-Ar kalibrace . . . . .	27
5.2.2 Rektifikace spektrogramů . . . . .	28
5.2.3 Proměření spekter . . . . .	28
<b>6. Detailní analýza V436 Per</b>	<b>30</b>
6.1 Sekulární změna periody . . . . .	30
6.2 Neváhané a váhané řešení světelné křivky . . . . .	31
6.3 Binsyn . . . . .	33
6.4 Rozpletení spekter . . . . .	33
6.4.1 Test nové verze KORELu . . . . .	36
6.4.2 Čára $H\alpha$ . . . . .	37
6.4.3 Čára He I 6678 . . . . .	39
6.5 Křivka radiálních rychlostí . . . . .	42
6.6 Síla čar . . . . .	44
6.7 Simultánní řešení (fotometrie + RV) . . . . .	46
6.8 Fyzikální parametry systému . . . . .	46
6.9 Odčervenání . . . . .	48
6.10 Určení efektivních teplot . . . . .	49
6.11 Vzdálenost V436 Per . . . . .	50

6.12	Určení poloměrů . . . . .	51
6.13	Synchronizace systému . . . . .	51
6.14	Syntetická spektra . . . . .	53
6.15	Hledání rychlých změn . . . . .	56
6.15.1	Diferenční spektra . . . . .	56
6.15.2	Metoda TVS . . . . .	56
<b>7.</b>	<b>Závěr</b>	<b>60</b>
<b>8.</b>	<b>Dodatky</b>	<b>64</b>
	<b>Literatura . . . . .</b>	<b>83</b>



## KAPITOLA 1.

# ÚVOD

*Člověk odjakživa vzhlížel k noční obloze a opájel se nádherou její hvězdné výzdoby. Činil tak i v dobách, kdy vůbec netušil, jaká je skutečná povaha těchto jiskřivých světélek. Časem došel k poznání, že to, co se na obloze děje, je ovládáno zákonitostmi, jimiž se řídí i život kolem nás. Začal rozumět tomu, co to jsou planety, hvězdy, galaxie. Doufám, že i tato práce bude dalším malým kamínkem v mozaice našich znalostí o světě, jehož jsme součástí...*

Ukazuje se, že nejdůležitější charakteristikou hvězd je jejich hmotnost. Ta u hvězd hlavní posloupnosti spektrálního typu B leží v rozmezí 2 - 15  $M_{\odot}$ . Jedná se o horké hvězdy s efektivními teplotami od 9 500 do 30 000 K. Právě tato vysoká teplota je hlavní příčinou toho, že zářivé výkony hvězd typu B i o několik řádů předčí Slunce. I v jejich nitrech vládnu vyšší teploty než ve Slunci, mnohem vyšší je i tempo uvolňování energie, k němuž dochází převážně v důsledku jaderného hoření vodíku na hélium v tzv. CNO cyklu. Hvězdy typu B žijí jen krátce, takže se ani nestačí vzdálit z míst svého zrodu. Většinou je nacházíme ve spirálních ramenech galaxií, nebo v oblastech explozivní tvorby hvězd, např. tam, kde dochází k přímé gravitační interakci dvou galaxií (přezdívané někdy „galaktický kanibalismus“). V běžné hvězdné populaci mají horké hvězdy jen malé početní zastoupení. Jejich význam však silně posiluje tzv. výběrový efekt (vysoké svítivosti těchto hvězd), jenž ve svých důsledcích způsobuje, že mezi nejjasnějšími hvězdami oblohy jsou tyto hvězdy zastoupeny celými dvěma pětinami.

Studium horkých hvězd je důležité v mnoha oblastech astrofyziky. Velký zářivý výkon těchto objektů nám umožňuje tyto hvězdy pozorovat na velké vzdálenosti,

což poskytuje účinný nástroj pro určování vzdáleností ve vesmíru, nebo při určování vývojového stáří hvězdokup. Horké hvězdy hlavní posloupnosti zpravidla rychle rotují. U některých se rovníkové rotační rychlosti blíží až k rychlosti kritické. Mezi nejrychleji rotující horké hvězdy patří hvězdy spektrálního typu B5-8V s průměrnou rotační rychlostí  $230 \text{ km s}^{-1}$ .

Vnější vrstvy atmosfér horkých hvězd jsou relativně klidné (na rozdíl od hvězd chladných), ale u jasných veleobrů spektrálního typu B můžeme pozorovat hvězdné větry, které hvězdy obrušují tempem až  $10^{-5} M_{\odot}$  za rok. Během několika milionů let tak hvězda může přijít až o desetinu své původní hmotnosti.

Hlavním zdrojem informací o hvězdách samotných je rozbor záření jejich atmosfér. Z jejich světla lze pomocí vhodně sestavených modelů atmosfér odvodit celou řadu zajímavých globálních charakteristik, jako je třeba efektivní teplota hvězdy, její povrchové gravitační zrychlení, rychlost rotace, chemické složení atmosféry nebo indukce povrchového magnetického pole hvězdy. Ještě více toho o sobě prozradí dvojhvězdy, zejména pak dvojhvězdy zákrytové - systémy, kde se během svého oběžného pohybu složky dvojhvězdy navzájem zakrývají. Z křivky radiálních rychlostí a průběhu světelných změn lze získat informaci nejen o hmotnostech, ale také o poloměrech a dalších fyzikálních parametrech obou hvězd.

Horké hvězdy se dělí na celou řadu různých typů, z nichž jmenujme pro pořádek alespoň mladé Ae/Be hvězdy, modré opozdilce, obry a veleobry populace I v různém stadiu jejich vývoje, pulzující  $\beta$  Cep hvězdy či hvězdy chemicky pekuliární. Zdaleka nejvíce jich ale patří ke hvězdám hlavní posloupnosti, u nichž probíhá jaderné hoření v samotném středu. Platí to i o obou složkách dvojhvězdy V436 Per, kterou jsem se pokusil co nejkompaktněji prozkoumat.

Cílem této práce je určit z rozboru fotometrické světelné křivky V436 Per společně s křivkou radiálních rychlostí dráhové elementy systému, jakož i fyzikální parametry jednotlivých složek. Na základě takto zjištěných fyzikálních parametrů pak pomocí modelu atmosféry vypočítat syntetické spektrum hvězdy a to následně porovnat s rozpletenými spektry obou hvězd. Oběžná dráha soustavy je silně výstředná, vzdálenosti složek, a tím i jejich slapové působení, se tedy během orbitální periody mění velice výrazně. Právě tato skutečnost by pak, podle jedné z hypotéz, mohla být příčinou vynucených oscilací, které by se následně projevíly ve spektru, kde by docházelo k rychlým změnám v profilech spektrálních čar. Hlavním cílem této práce je potvrzení či případné vyvrácení dříve nalezených rychlých změn v profilech spektrální čáry He I 6678 (Harmanec a kol. 1997), které by nasvědčovaly přítomným vynuceným oscilacím.

## ZMĚNY ČÁROVÉHO PROFILU

Jedním z aktuálních problémů při výzkumu hvězd raných spektrálních typů je pochopení příčin rychlých změn v profilech spektrálních čar, které jsou u mnoha horčích hvězd pozorovány. K jejich vysvětlení dnes existují celkem čtyři modely. První předpokládá, že se jedná o neradiální pulzace (Baade 1987 a Smith 1986), druhý je modelem korotujících povrchových útvarů (Balona 1990), třetí se snaží rychlé změny objasnit přítomností cirkumstelárního plynu (Harmanec 1989) a čtvrtý model souvisí s interakcí mezi složkami dvojhvězdných systémů (Harmanec 1997).

Historicky byly první změny čárového profilu pozorovány u malé skupiny proměnných hvězd s ostrými čarami raného spektrálního typu B, které se nyní řadí do skupiny hvězd typu  $\beta$  Cep (dříve označována také  $\beta$  CMa). Začátkem sedmdesátých let došlo v této oblasti po zavedení stabilních elektronických detektorů s velkým odstupem signálu od šumu k velkým pokrokům.

Smith (1977, 1978) objevil asymetrické změny profilů čar pro různě ostré spektrální čáry u hvězd typu O (10 Lac) a B ( $\iota$  Her, 53 Per, 22 Ori), zatímco Walker, Yang a Fahlman (1982) byli prvními, kteří u hvězdy  $\alpha$  Vir pozorovali v sériích (1,5, 2 a 4 hodiny) vysokodisperzních spekter v čáře He I 6678 úplně jiný typ proměnnosti, který je v současné době znám jako tzv. putující vlny („travelling sub-features“ nebo také jako „moving bumps“). Jde o malou poruchu postupně se pohybující přes čáru vlastního profilu, která by podle nich mohla být způsobena neradiální pulzací v kombinaci s rotací hvězdy. Baade (1983) upozornil, že čárové asymetrické změny a pomalu putující vlny se vyskytují ve spektrech podobných hvězd a představují fyzikální změny, které se vztahují k rychlostním polím ve hvězdných atmosférách.

Spekulace, že rozhodující rolí pro spuštění či modifikaci hvězdných pulzací může být členství hvězdy v dvojhvězdném systému, nejsou nové. Fitch (1967, 1969) poukázal na jednotlivých příkladech, že mnoho hvězd typu  $\beta$  Cep jsou ve skutečnosti spektroskopickými dvojhvězdami (analýza světelných změn u hvězdy CC And, změna radiálních rychlostí hvězdy  $\sigma$  Sco, EN Lac a  $\beta$  Cep) a vynucené oscilace tak mohou být způsobeny slabou nepozorovanou složkou. Dvojhvězdná hypotéza  $\beta$  Cep jevu byla představena koncem šedesátých let Stothersem a Simonem (1969, 1970), kteří se domnívali, že se málo hmotná sekundární složka dvojhvězdného systému, ve kterém probíhá velká výměna hmoty, může stát hvězdou typu  $\beta$  Cep. K objasnění své hypotézy použili  $\mu$ -mechanizmu (inverzní gradient střední molekulové hmotnosti působící proti zhušťování středu hvězdy) a  $\beta$ -mechanizmu (vysoký tlak záření). Uplatění  $\mu$ -mechanizmu by nastalo tehdy, když inverzní složení obálky hvězdy nevede k jejímu významnějšímu promíchávání a obal hvězdy je pak nehomogenní,  $\beta$ -mechanismus by hrál zase roli v případě velkého promíchávání materiálu v obálce, což by vedlo k její homogenizaci. Tato hypotéza však byla zpochybněna v následujících článcích: Smak (1970), Plavec (1971), Percy a Madore (1971) a Lesh a Aizenman (1973). Mezi další argumenty, které kritizovaly nedostatečné množství důkazů dvojhvězdnosti pro jednotlivé a dobře pozorované  $\beta$  Cep hvězdy, náležel i fakt, že některé  $\beta$  Cep hvězdy nalezené v dvojhvězdných systémech mají sekundární složky, které nevyplňují Rocheův lalok. Statisticky bylo zjištěno, že četnost  $\beta$  Cep hvězd je srovnatelná s četností normálních hvězd spektrálního typu A ve dvojhvězdách.

Během pečlivého studia a analýzou radiálních rychlostí hvězdy  $\beta$  Cep Pigulski a Boratyn (1992) nepotvrdili existenci čtvrté složky s oběžnou periodou 10,9 d, o kterém se dříve zmínil ve své práci Fitch (1969). Tyto závěry pak byly plně podpořeny Aertsovou a kol. (1994), kteří analyzovali vlastní série více než 650 vysokodisperzních spekter s dobrým časovým rozlišením a nenalezli ani v jedné z pozorovaných nocí proměnné radiální rychlosti větší než  $1 \text{ km s}^{-1}$ . Hvězda  $\beta$  Cep byla popsána jako monopernodický pulzátor se třemi oscilačními módy. Osaki (1971) na základě srovnání naměřených a vypočítaných spekter pro rotující hvězdu s neradiálními pulzacemi poukázal, že pomalé periodické změny střední hodnoty křivky radiálních rychlostí hvězd typu  $\beta$  Cep ne vždy zapříčiňuje jen orbitální pohyb v binárním systému, ale mohou být způsobeny také superpozicí dvou oscilací s jednoduchými periodami. Toto řešení navrhl pro vysvětlení Fitchových výsledků (1969)  $\gamma$ -rychlosti, která může být vysvětlena dobře orbitální příčinou (Fitch 1969) stejně jako příčinou fyzikální (Osaki 1971). Pigulski a Boratin (1992) ukázali, že sekulární změny v hlavní pulzační periodě  $\beta$  Cep jsou zapříčiněny lighttime efektem, stejně jako kdyby se jednalo o hvězdu pohybující se po orbitě s hodně vzdálenou složkou. Tento případ je pak možné odhalit skvrnkovou interferometrií. Na druhou stranu bylo zjištěno, že hvězda  $\epsilon$  Per, u které se rychlé změny v profilu pozorovaly, je dvojhvězdu s excentrickou drahou a periodou 14,1 d (Harmanec 1989, Harmanec a Tarasov 1990, Tarasov a kol. 1995). Chapellier a kol. (1995) publikovali velice za-

---

jímavou studii známého případu hvězdy typu  $\beta$  Cep, EN Lac (HD 216916), která je také zákrytovým binárním systémem, a objevili, že se nejdelší ze tří krátkých period světelných variací a variací radiálních rychlostí (známých pro tuto hvězdu dlouhou dobu - 0,169, 0,171 a 0,182 d) mění s fází orbitální periody, případně s rotační periodou samotné primární komponenty.

Kato (1974) zkoumal podmínky, za kterých mohou být excitovány neradiální oscilace, nebo kdy mohou přecházet v multiperiodické oscilace rezonanční interakcí se slapovým módem dvojhvězdného systému. Ukázal, že neosová symetrie aspoň u jedné z oscilací je nezbytná pro vznik rezonanční interakce. Waelkens a Rufener (1983) prováděli fotometrický výzkum na přítomnost  $\beta$  Cep oscilací v 17 dvojhvězdných systémech, ve kterých se nachází horká primární komponenta, a které se nalézají v oblasti  $\beta$  Cep nestabilního pásu. Tento výzkum ukončili zjištěním, že tyto oscilace jsou zřejmě tlumeny slapovými interakcemi, protože nedokázali nalézt takové oscilace ani v jedné z jedenácti dvojhvězdných soustav, které měly orbitální periodu kratší než čtyři dny. To by pak nasvědčovalo tomu, že dolní limit pro orbitální periody  $\beta$  Cep hvězd je téměř třikrát větší než limit teoretický. To by pak vysvětlovalo, že jedinou soustavou, u které detekovali pulzace, byla  $\eta$  Ori, jejíž perioda je dvakrát větší než u  $\alpha$  Vir. Tento empirický výsledek se může vztahovat k teoretickým pracem Tassoula (1987 a 1988). Slapové tření samo o sobě není schopno vysvětlit obecný trend, který směřuje k synchronizaci u dvojhvězdných typů. K vysvětlení byl tak použit hydrodynamický mechanismus, který je takové orbitální synchronizace a cirkularizace dráhy dvojhvězdného systému schopen.

Účinky dynamických slapů, podobně jako vynucených oscilací a jejich působení na volné oscilace, byly prozkoumány Polfietem a Smeyerssem (1990), kteří aplikovali numerické výsledky na hvězdě hlavní posloupnosti o hmotnosti  $5 M_{\odot}$  a poloměru  $2,52 R_{\odot}$ . Lee (1993) studoval přenos rotačního momentu slapově vynucenými oscilacemi ve velmi hmotných binárních systémech. Zabýval se hlavně případy, kdy orbitální pohyb sekundární složky je v rezonanci s nízkým řádem kvadrupólového g-módu hvězdy hlavní posloupnosti. Disipační mechanismy společně s mimoosovými oscilacemi hrají důležitou roli při přesunu rotačního momentu ve hvězdách. Také ukázal, že vnitřní části masivní hvězdy oscilace tlumí na rozdíl od částí vnějších, které jsou excitační oblastí pro g-módové oscilace nízkých řádů. Slapově vynucené oscilace, jejichž frekvenční rozsah se překrývá s frekvencí g-módu, mají téměř stejné disipativní vlastnosti jako g-módy. Bylo prokázáno, že rotace vnějších vrstev hvězdy je poháněna slapově vynucenými oscilacemi ve směru opačném než je pohyb orbitální, jak bylo pozorováno v korotujících částech hvězdy. Lee rovněž naznačuje, že by mohl být vytvořen Be typ disku jako součást výtoku hmoty zapříčiněného slapovými oscilacemi.

V pracech Holmgrena a kol. (Holmgren 1997, 1999) byly hledány rychlé změny u hvězd s excentrickými drahami  $\beta$  Sco A a AR Cas. Zatímco u hvězdy  $\beta$  Sco A byly rychlé změny přiřazeny k typu  $\beta$  Cep, u AR Cas se nepodařilo určit jejich periodu.

Lehmann a kol. (2001), kteří analyzovali 1236 nových spekter společně se staršími 994 měřeními radiálních rychlostí, zjistili, že v profilu čáry He I 6678 u hvězdy EN Lac dochází k rychlým změnám, které by mohly být způsobeny vynucenými oscilacemi při průchodu hvězd periastrum.

## 2.1 Projekt SEFONO

Tato disertační práce je součástí projektu SEFONO (z anglické zkratky SEArch for FOrced Nonradial Oscillation), který byl zahájen v roce 1995 (Harmanec a kol. 1997, dále Paper I). Projekt charakterizuje nový přístup k problematice hledání a interpretace rychlých změn v profilech spektrálních čar. Je téměř nemožné vyloučit bez pochybností dvojhvězdnou povahu nějaké hvězdy. Proto se k problému přistupuje z jiného pohledu. Navrhne se počáteční pracovní hypotéza, že periodické variace gravitačního potenciálu složek dvojhvězdy jsou způsobeny pohybem v excentrické dráze, nebo nedostatečnou synchronizací mezi vlastní rotací složek a jejich oběhem kolem sebe. To by pak mělo umožňovat a zajišťovat vhodné podmínky k excitaci a přetrvávání pozorovaných krátkých periodických oscilací u primární složky hvězd typu O, B nebo A. Jestliže tomu tak je, pak jsou hvězdy spektrálních typů O, B a A, které jsou složkami dvojhvězdného systému s nekruhovou dráhou nebo nesynchronní rotací (oběžná perioda je kratší než dosud neznámý limit), nuceny pulzovat. Spektroskopická pozorování změn profilů čar jsou časově mnohem náročnější než klasická fotometrie, jejich hlavní výhoda však spočívá v tom, že dosahují daleko větší citlivosti k oscilacím vyšších řádů, než by umožňovala klasická fotometrie.

## 2.2 V436 Per

Předmětem práce je pečlivé sledování a hledání případných změn v profilech spektrálních čar dvojhvězdy s excentrickou dráhou V436 Per, které by nasvědčovaly přítomnosti vynucených oscilací.

V436 Per (1Per, HR 553, HD 11241, BD +54°396, SAO 22690, HIP 8704) je z astrofyzikálního hlediska velice zajímavý objekt. Přestože již téměř před sto lety Adams (1912) zjistil a změřil její radiální rychlosti, hvězda samotná nebyla tak často pozorována a ze spektroskopie nebyly její charakteristiky známy.

Blaauw a van Albada (1963) analyzovali vlastní naměřené radiální rychlosti společně s již dříve publikovanými radiálními rychlostmi z Dominion Astrophysical Observatory a určili, že V436 Per je spektroskopická dvojhvězda s periodou 15,6 d, excentricitou  $e = 0,45$  a rychlostí  $K = 10 \text{ km s}^{-1}$ .

Beardsley (1969) publikoval sérii 59 měření radiálních rychlostí z observatoře v Allegheny, která byla pořízena v letech 1912-1915, a spekuloval o přítomnosti rychlých změn, které jsou charakteristické pro hvězdy typu  $\beta$  Cep.

Lepší pochopení systému přinesla až fotometrie. Kurtz (1977) použil pro svá měření v barvě  $y$  u metalické hvězdy HR 540 jako srovnávací hvězdu právě V436 Per a objevil, že V436 Per je zákrytovou dvojhvězdou. Nebyl však schopen určit správnou periodu. Zákrytová povaha V436 Per byla potvrzena na základě dlouhé série vizuálních pozorování vedených skupinou GEOS (amatérská skupina evropských pozorovatelů, Figer a Maurin (1979)). Perioda byla stanovena na  $(25,93886 \pm 0,00070)$  d a z pozice sekundárního minima bylo také určeno, že orbitální dráha je silně excentrická ( $e = 0,6$ ). V soukromém sdělení Figer (1980) dokazoval, že se v letech 1977-1980 perioda V436 Per snížila z 25,939 d na 25,933 d. Výsledek skupiny GEOS vyzval Northa a Rufenera k nové analýze ženevské fotometrie v barvě  $V$ , a to společně s Kurtzovými daty v barvě  $y$ . Byla určena perioda  $(25,9359 \pm 0,0005)$  d, vylepšeny jiné elementy jako např. excentricita  $e = 0,30$  a délka periastra  $\omega = 116,7^\circ$  (North a kol. 1981). Také byl vypočten úhel sklonu dráhy  $i = 87,9^\circ$ . North a Rufener navrhli, že by se systém mohl skládat ze dvou hvězd spektrálního typu B2. Vykreslili také všechny dostupné publikované radiální rychlosti v závislosti na fázi orbitální periody, ale křivka radiálních rychlostí nebyla příliš přesvědčivá. North (1981) poznamenal, že amplituda je mnohem menší než ta, která by přicházela do úvahy pro jejich pracovní model systému.

Další fotoelektrická pozorování V436 Per provedli Percy (1971), Poretti (1982, 1984) a Böhme (1984). Historická fotoelektrická pozorování V436 Per, která pořídil Güssow (1929), byla Božicem a kol. (1995) transformována na standardní hvězdnou velikost v barvě  $B$  standardního fotometrického systému  $UBV$ .

Gaspani (1982) představil řešení světelné křivky publikované Northem a kol. (1981) a určil relativní fotometrické poloměry  $r_g = 0,0381 \pm 0,0003$  a  $r_s = 0,0331 \pm 0,0002$  pro větší a menší hvězdu, stejně tak jako  $i = (88,3 \pm 0,9)^\circ$ ,  $e = 0,309 \pm 0,008$ ,  $\omega = (115,9 \pm 0,7)^\circ$ ,  $L_g = 0,73 \pm 0,03$  a  $L_s = 0,27 \pm 0,03$ .

Detailní studium V436 Per bylo provedeno Harmancem a kol. (1997), kteří použili již dříve publikovaná fotometrická pozorování v barvách  $y$  a  $B$ . K nim následně přidali několik nových vlastních pozorování v barvě  $V$ . Poté provedli důkladnou analýzu naměřených spekter a skloubením fotometrických a spektroskopických měření vypočítali parametry systému. Hlavním cílem jejich práce však bylo nalezení a případné sledování rychlých změn v profilech čar, které u systému s tak excentrickou dráhou očekávali. Využitím metody rozplétání spekter získali rozdílová spektra a jejich odečtením od jednotlivých pozorovaných spektrálních profilů skutečně našli v sedmi spektrech jedné noci rychlé změny v profilu čáry He I 6678.

### KAPITOLA 3.

# FOTEL

V dnešní době již existuje pro řešení světelné křivky celá řada výpočetních programů, v nichž je zabudována celá řada fyzikálních jevů, které mohou ovlivnit výsledný tvar světelné křivky (reflexivita složek, okrajové ztemnění, skvrny na povrchu, excentrická dráha, elipsoidálnost složek atd.).

Mezi nejrozšířenější patří program Wilsona a Devinneyho (1971), který umožňuje modelovat přesnou Rocheovu geometrii a také světelné křivky elipsoidálních proměnných. Mezi další patří Djuraševičovy programy (Djurašević 1991) pro řešení světelných křivek s komponentami, na kterých se vyskytují skvrny (horké nebo chladné), nebo pro diskový model, u kterého je navíc započítána i možná horká skvrna na disku. Hojně rozšířený je i program BINARY MAKER (aplikovaný program WD), který napsal D. H. Bradstreet a D. P. Steelman (2002), u něhož je dnes k dispozici již třetí verze. Velmi známé jsou i programy LIGHT2 G. Hilla (Hill 1979) a BINSYN A. P. Linnella, které jsou kombinovány s diskovými modely I. Hubeného (Linnell a Hubeny 1996) a NIGHTFALL R. Wichmanna (E4), který je stále obměňován a v současnosti je k dispozici verze 1.32.

Hlavním úkolem fortranovského programu FOTEL (Hadrava 1990, E1) je oddělené nebo simultánní řešení světelných křivek a křivek radiálních rychlostí, což má velkou výhodu při určování kritických elementů (např. délka a průchod periastrum, excentricita), které jsou pak určeny přesněji. Program je schopen výpočtu i pro excentrickou dráhu včetně možné třetí komponenty. FOTEL je koncipován tak, že umožňuje konvergenci velkého počtu volných parametrů, které mohou být do modelu srovnávaného s pozorovanými daty postupně doplňovány podle okamžité potřeby.



Některé efekty se mohou objevit až při srovnání světelných křivek, které odpovídají různým fotometrickým barvám. To znamená, že by bylo výhodné fitovat pozorovaná data současně více světelnými křivkami příslušnými pro různé barvy. Některé parametry jsou pro všechny světelné křivky shodné (např. orbitální a geometrické), jiné jsou individuální (např. poměr svítivosti, okrajové ztemnění) a obecně se liší. Přednosti takového simultánního fitování všech dostupných dat jsou zřejmé při srovnání s fitováním jednotlivých barev odděleně. Výsledky se pak liší např. nalezenými poloměry složek. Program FOTEL je takového simultánního řešení schopen s maximálním zastoupením sedmi různých vlnových délek.

Je zřejmé, že když do výpočtu zahrneme i fitování radiálních rychlostí, můžeme obdržet lepší informaci o některých orbitálních parametrech. FOTEL toto fitování rovněž umožňuje, přestože nemůže být srovnatelně výkonný jako speciální jednoúčelové programy, které slouží výhradně k fitování křivek radiálních rychlostí. Naproti tomu nabízí celou řadu možností fitovat řadu dalších parametrů (např. stáčení délky periastra). Stejně jako u syntézy světelné křivky i v tomto případě je možné postupně přidávání fitovaných parametrů.

### 3.1 Řešení světelné křivky

Základem pro řešení světelné křivky je nalézt model, který by dobře popsal změnu pozorovaného toku záření, která je způsobena především změnou geometrie systému během zákrytů i mimo samotné zákryty. Za takový ideální model bývá často považován model, který je založen na Rocheově geometrii. Vzhledem k náročnosti při výpočtech Rocheova modelu, je ve FOTELu tento model nahrazen jednodušším a výpočetně efektivnějším modelem trojosých elipsoidů s poloosami

$$A = R \left[ 1 - \frac{2}{3} \frac{1+q}{q} Q^2 R^3 \right]^{1/2} \left[ 1 + \frac{R^3}{q} \left( -\frac{2}{r^3} - (1+q)Q^2 \right) \right]^{-1/2} \quad (3.1)$$

$$B = R \left[ 1 - \frac{2}{3} \frac{1+q}{q} Q^2 R^3 \right]^{1/2} \left[ 1 + \frac{R^3}{q} \left( \frac{1}{r^3} - (1+q)Q^2 \right) \right]^{-1/2} \quad (3.2)$$

$$C = R \left[ 1 - \frac{2}{3} \frac{1+q}{q} Q^2 R^3 \right]^{1/2} \left[ 1 + \frac{R^3}{qr^3} \right]^{-1/2}, \quad (3.3)$$

kde  $r$  je okamžitá vzdálenost mezi centry hvězd,  $Q$  je index synchronizace (poměr rotační a orbitální frekvence) a  $R$  je efektivní poloměr ( $\simeq (ABC)^{1/3}$ ). Nulové body světelné křivky jsou nastaveny na svítivosti nezakrytých disků s těmito poloměry. Výpočet přesné geometrie zákrytu eliptických složek je poměrně komplikovaný, proto je nahrazen zákrytem kruhových disků.

Okamžitá svítivost  $i$ -té komponenty na určité vlnové délce  $L_{\lambda,i}$  je úměrná po-

měru viditelného poloměru hvězdy a jejího efektivního poloměru

$$L_{\lambda,i} = \left(\frac{R_{a,i}^2}{R_i}\right)10^{-0.4m_{\lambda,i}}. \quad (3.4)$$

Právě viditelný poloměr  $i$ -té složky je pak dán

$$R_{i,a}^2 = [A_i^2 B_i^2 \cos^2 i + (B_i^2 + (A_i^2 + B_i^2) \cos^2(\omega + \nu))] C_i^2 \sin^2 i]^{1/2}, \quad (3.5)$$

kde  $i$  je inklinanční úhel,  $\omega$  délka periastra a  $\nu$  je pravá anomálie. Pokud je v systému přítomno třetí těleso, pak se bere jako sférické o poloměru  $r_3$  a tok jeho záření je pak roven

$$L_{\lambda,3} = 10^{-0.4m_{\lambda,3}}. \quad (3.6)$$

Při řešení světelné křivky můžeme buď nechat volně konvergovat hvězdné velikosti složek v jednotlivých barvách, nebo přímo konvergovat v efektivních teplotách hvězd. Pak se hvězdné velikosti počítají ze zákona záření černého tělesa

$$m_{\lambda,i} = -2.5 \log \left( R_{a,i}^2 \frac{B_{\lambda}(T_i)}{B_{\lambda}(T_0)} \right) + \Delta m_i, \quad (3.7)$$

kde  $B_{\lambda}(T_0)$  je záření referenční hvězdy, kterou je ve FOTELu hvězda spektrálního typu A0 o teplotě  $T_0 = 10\,000$  K. Pro první případ řešení světelné křivky program vypočítá v jednotlivých barvách hvězdné velikosti  $m_{\lambda}$  celé soustavy v maximu a na výstupu pak dostaneme

$$m_{\lambda,i} - m_{\lambda}(i = 1..7), \quad (3.8)$$

z nichž můžeme dále vypočítat relativní svítivosti jednotlivých složek  $L_{\lambda,i}$ , ale také barevné indexy, které můžeme použít k odhadu spektrálních typů podle různých kalibrací (Popper 1980, Buser a Kurucz 1978, Cramer 1984) a k nezávislému určení zčervenání.

Při řešení světelné křivky je nutné také započítat efekt odrazu světla ze sekundární hvězdy na povrch primární a naopak. V obecném případě odrazivost snižuje jev okrajového ztemnění, které je bráno jako lineární, založené na jednoduchém modelu atmosféry. Výsledná hvězdná velikost celé soustavy na dané vlnové délce je pak

$$m_{\lambda,i} = -2,5 \log (L_{\lambda,1} + L_{\lambda,2} + L_{\lambda,3} - \Delta L_{\lambda}), \quad (3.9)$$

kde  $\Delta L_{\lambda}$  odpovídá poklesu jasnosti v době zákrytů.

## 3.2 Řešení křivek radiálních rychlostí

Získáme-li dostatečné časové pokrytí periody klasicky naměřenými radiálními rychlostmi  $v_i$ , pak můžeme fitováním křivky radiálních rychlostí

$$v_r(t) = K[\cos(\omega + \nu) + e \cos \omega] + \gamma, \quad (3.10)$$

metodou nejmenších čtverců

$$S_{RV}(p) = \sum (v_i - v_r(t_i, p))^2, \quad (3.11)$$

nalézt hodnoty orbitálních parametrů  $p$  (perioda, čas průchodu periastrum, excentricita, délka periastra a radiální rychlost těžiště soustavy). Protože výraz 3.10 je lineárně závislý na parametrech  $K$  a  $\gamma$  a silně nelineárně závislý na dalších parametrech, je tento výraz při výpočtu nulových bodů příslušných  $\gamma$ -rychlostí pro radiální rychlosti a amplitudy  $K_1$  linearizován

$$v_r(t) = [K \cos \omega] \cos \nu - [K \sin \omega] \sin \nu + [eK \cos \omega + \gamma], \quad (3.12)$$

což představuje významnou časovou úsporu při výpočtu. Ostatní parametry jsou pak při výpočtu optimalizovány nelineární simplexovou metodou (Kallrath a Linnel 1987).

## KOREL

Ve dvojhvězdných systémech je měření radiálních rychlostí ztíženo překryvem spektrálních čar obou složek (tzv. blendování čar). Proto je důležité nalézt a oddělit u spektroskopických dvojhvězd příspěvky jednotlivých složek k celkovému spektru. V případě silně překrytých čar se hledají optimální orbitální parametry společně se spektrálními profily jednotlivých hvězd tak, aby co nejlépe odpovídaly napozorovaným spektrům. Tato úloha se nazývá rozmotávání spekter (tzv. disentangling). Metoda rozmotávání spekter, která byla použita v této disertační práci, využívá ke svému řešení Fourierovu transformaci.

Program KOREL byl vytvořen na stelárním oddělení Astronomického ústavu AV v Ondřejově dr. Hadravou (1995, 1997) a slouží jako nástroj k dekompozici spektrálních čar vícenásobných hvězdných systémů (Simon a Sturm (1994)) na jednotlivé komponenty a současně k řešení jejich orbitálních parametrů. KOREL používá u napozorovaných spekter fitování metodou nejmenších čtverců Fourierovské transformace, která dává numericky jednodušší řešení, a je také obecnější. Matematickým základem této metody je analogie ke kros-korelační technice. Základním rozdílem mezi standardní kros-korelací či jejím dvoudimenzionálním zobecněním je to, že v KORELU jsou kros-korelační spektra v různých fázích jedné proměnné, zatímco jedno ze spekter je vybráno jako standard. KOREL je také schopen dekompozice telurických čar ze spekter.

Předpokládáme-li, že pozorované spektrum je v čase  $t$  dáno

$$I(x, t) = \sum_{j=1}^n I_j(x) * \Delta_j(x, t, p), \quad (4.1)$$

kde

$$\Delta_j(x, t, p) = \delta(x - v_j(t, p)) \quad (4.2)$$

je zobecněnou funkcí časově neproměnného spektra  $I_j(x)$   $j$ -té složky s čistým doplerovským posuvem radiální rychlosti  $v_j(t, p)$ . Fourierovou transformací rovnice (4.1) dostaneme

$$\tilde{I}(y, t) = \sum_{j=1}^n \tilde{I}_j(y) \Delta_j(y, t, p), \quad (4.3)$$

kde

$$\tilde{\Delta}_j(y, t, p) = \exp(iyv_j(t, p)). \quad (4.4)$$

## 4.1 Čárová fotometrie

Zobecněná metoda rozplétání spekter má do sebe vloženou novou verzi programu KOREL. Užitím tohoto kódu se počítají intenzity čar komponent dvojhvězdného systému, jejichž relativní změny byly nalezeny během zákrytů. Tento efekt dovoluje v principu dělat fotometrická pozorování se spektrografem. Tomuto principu se také říká „relativní čárová fotometrie“. Vztah (4.2) je v tomto případě nahrazen obecnějším

$$\Delta_j(x, t, p) = s_j(t) \delta(x - v_j(t, p)), \quad (4.5)$$

tj. zavádí časově proměnné multiplikativní faktory  $s_j(t)$ , které vyjadřují okamžité síly čar jednotlivých složek.

Toto zobecnění bylo zavedeno tehdy, když byly u hvězdy V436 Per nalezeny méně přesné hodnoty radiálních rychlostí v blízkosti zákrytů než v jiných fázích (Paper I). Uvedené zobecnění, které předpokládá, že se nemění vlastní profily zakrývané složky, ale mění se pouze jejich hloubka, podstatně zlepšilo souhlas radiálních rychlostí v zákrytech s radiálními rychlostmi příslušejících ostatním fázím.

Velkým přínosem je také schopnost separovat z pozorovaných spekter nejen jednotlivá spektra složek, ale i telurické čáry, jejichž síla se značně mění v závislosti na vzdušné hmotě i vlhkosti v době měření. Budeme-li pracovat se spektry, která budou převedena na škálu heliocentrických vlnových délek, radiální rychlosti telurických čar pak budou opisovat křivku odpovídající vztahu

$$v_r(t) = K[\cos(\omega + \nu) + e \cos(\omega)], \quad (4.6)$$

kde  $K$  a  $\omega$ , jež závisí na  $P$ ,  $t_0$  a  $e$  odpovídající ročnímu pohybu Země kolem Slunce, závisí také na ekliptikální délce a šířce pozorované hvězdy. Telurické čáry

se zpravidla započítávají jako fiktivní pátá složka, pro níž volíme takový poměr hmot, aby pohyb skutečného těžiště byl vůči takto vytvořené složce zanedbatelný.

Silné telurické čáry bývají často ve spektru přítěží, obzvláště když jich je ve standardně zpracovávané části spektra velký počet. Při rozmotávání jsou naopak užitečné, dobře definují telurické spektrum, které pak můžeme užít i ke kalibraci vlnových délek a vyloučit tak instrumentální chyby vzniklé posuvem mezi hvězdným a srovnávacím spektrem.

Současná verze KORELu umožňuje modelování soustavy až pěti hvězd a pro potřeby této práce byla původní dimenze 99 spekter zvětšena na současných 300, které je možné v programu najednou rozplétat. Abych si ověřil, že nová verze programu správně funguje, byly provedeny kontrolní výpočty pro čáru  $H\alpha$  (viz kapitola 6.4.1).

## 4.2 KORNOR

Fourierou transformací nejsme schopni určit nulový Fourierův mód, např. střední intenzity

$$\langle I_j \rangle \equiv \int_{x_1}^{x_2} I_j(x) \frac{dx}{x_2 - x_1}, \quad (4.7)$$

kde  $j$  je počet komponent ve spektrální oblasti  $(x_2 - x_1)$ , protože nejsou ovlivněny Dopplerovým posuvem. Proto dává KOREL rozpletená spektra jednotlivých složek na výstupu relativně vzhledem k  $\langle I_j \rangle$ . Předpokládáme, že vstupní spektra, která chceme rozplétat, jsou rektifikována k celkovému kontinuu

$$C \equiv \sum_{j=1}^n C_j = 1. \quad (4.8)$$

Výstup

$$I'_j(x) = I_j(x) - \langle I_j \rangle + 1 \quad (4.9)$$

je posunut pro tuto hodnotu  $C = 1$ , aby se zabránilo záporným hodnotám v absorpčních čarách, a aby bylo možné získat aproximativní informace o hloubkách těchto čar. Abychom byli schopni rozpletená spektra srovnávat s vypočítanými teoretickými modely atmosfér, bylo by žádoucí vypočítat rektifikovaná spektra jednotlivých složek vzhledem k jejich neznámému kontinuu, tj. funkce  $I_j(x)/C_j$ .

Ze vstupních spekter jsme však schopni určit pouze celkovou střední intenzitu

$$\langle I \rangle = \sum_{j=1}^n \langle I_j \rangle. \quad (4.10)$$

Známe-li z širokopásmové fotometrie poměr světél jednotlivých komponent

$$L_j = \int I_j(x) \Phi(x) dx, \quad (4.11)$$

stejně nejsme schopni přímo určit tento poměr ze středních intenzit  $\langle I_j \rangle$ , protože  $L_j$  jsou integrovány přes širokou oblast různých fotometrických kanálů s citlivostí  $\Phi$ , která je závislá na vlnové délce. Při rozplétání spekter si obvykle vybíráme blízké okolí silných (většinou absorpčních) čar, takže velikosti  $\langle I_j \rangle$  mohou být očekávány zřetelně menší ve srovnání s úrovní kontinua  $C_j$ , zatímco fotometrické svítivosti mohou být srovnatelné s hodnotou integrálu z kontinua

$$\langle I_j \rangle < C_j \quad L_j \leq C_j \quad (4.12)$$

Posuny středních intenzit jednotlivých komponent vzhledem k jejich kontinuíům mohou být určeny z výstupních rozpletených spekter

$$\Delta_j \equiv C_j - \langle I_j \rangle = [I'_j(x) - 1]_{x \in cont.} \quad (4.13)$$

jednoduchým fitováním velikostí kontinuí v  $I'_j(x)$ . Těchto  $n$  hodnot můžeme uspokojivě získat z okrajových podmínek, které jsou podle rovnic 4.8 a 4.10

$$\sum_{j=1}^n \Delta_j = 1 - \langle I \rangle, \quad (4.14)$$

kde pravou stranu získáme z výstupu KORELu jako sumu vstupních spekter. Jakmile jsou jednotlivé posuny  $\Delta_j$  určeny, pak můžeme rektifikovaná spektra jednotlivých složek počítat podle

$$I_j(x) - C_j = 1 + (I'_j(x) - 1 - \Delta_j)/C_j. \quad (4.15)$$

Abychom mohli dekomponovaná spektra z KORELu srovnávat přímo s vypočítanými teoretickými profily spektrálních čar, byl výše zmíněný postup naprogramován dr. Hadravou. Vznikl tak program KORNOR, který z dekomponovaných spekter a poměrů světél, jež můžeme získat z vícebarevné fotometrie, vypočítá normalizovaná spektra.

# ZPRACOVÁNÍ POZOROVANÝCH DAT

## 5.1 Fotometrická data

Přestože byla V436 Per za dobu, kdy je známá jako fotometrická proměnná hvězda, mnohokrát pozorována, nebyla dosud její světelná křivka ve filtrech  $U$  a  $B$  Johnsonova systému v okolí primárního minima dostatečně pokryta.

V disertační práci bylo použito velké množství starších (celkem 1259 pozorování v barvách  $UBV$  a  $y$ ) dříve publikovaných, fotometrických měření z různých observatoří celého světa. K dřívějším bylo přidáno také nových 881 pozorování. K tomu všemu byla ještě vložena fotometrická data z družice Hipparcos, jejíž prvotním cílem sice byla přesná astrometrie, přesto i data pořízená touto družicí přispěla k sestavení úplné světelné křivky V436 Per. Seznam všech fotometrických měření, která byla použita v této práci, je uveden v tabulce 1.

Nová data byla získána na třech observatořích: Hvar, Chorvatsko (H. Božić, D. Sudar, D. Ruždjak a P. Harmanec; 0,65 m reflektor, detektor nechlazená EMI 6256), San Pedro Mártir, Mexiko (dále SPM; P. Eenens, P. Harmanec; 0,84 m reflektor, fotometr s detektorem RCA 31034 chlazený suchým ledem) a Tübitak National Observatory, Turecko (dále TNO; H. Ak; 0,40 m reflektor, fotometr SSP5A). Všechna pozorování byla provedena jako diferenční vzhledem ke hvězdě 4 Per (HD 12303) s kontrolní hvězdou 2 Per (HD 11291). Obě dvě hvězdy byly pozorovány stejně často jako samotná proměnná V436 Per.

Pozorování ze všech tří observatoří byla redukována pomocí redukčního programu HEC22 (verze 13 a 14), který používá nelineární vztah pro transformaci



## 5.1 Fotometrická data

**Tabulka 1:** Seznam fotoelektrických pozorování

Zdroj	Datum (HJD–2400000)	Počet pozor.	Barva	Srovnávací	Kontrolní
Kurtz 1977	42706,7–42744,7	91	<i>y</i>	HR 540	HR 502
North a kol. 1981	37190,5–42076,3	159	<i>UB</i>	all sky	–
	37190,5–44626,4	281	<i>V</i>	all sky	–
Poretti 1982	44919,3–45000,4	102	<i>V</i>	HR 540	4 Per
Poretti 1984 a Paper I	45621,4–45741,3	419	<i>V</i>	HR 540	4 Per
	46348,3–46348,5	48	<i>V</i>	HR 540	4 Per
Hipparcos	47871,9–49040,6	108	<i>V</i>	all sky	–
Hvar	50086,2–52561,5	196	<i>UB</i>	4 Per	2 Per
	50086,2–52561,5	195	<i>V</i>	4 Per	2 Per
Tübitak	51051,6–51059,5	92	<i>UBV</i>	4 Per	2 Per
San Pedro Mártir	51055,9–51057,0	6	<i>UBV</i>	4 Per	2 Per

z přirozených na standardní hvězdné velikosti mezinárodního systému *UBV* (Harmanec a kol. 1994, Harmanec a Horn 1998). Fotometrická data v instrumentálním širokopásmovém filtru  $H_p$  z družice Hipparcos publikovaná Perrymanem a kol. (1997), byla transformována na barvu *V* Johnsonova systému pomocí transformačního vztahu

$$V = H_p - 0,2964(B - V) + 0,0050(U - B) + 0,1110(B - V)^2 + 0,0157(B - V)^3 + 0,0072, \quad (5.1)$$

který odvodil Harmanec (1998).

Starší a již dříve publikovaná a analyzovaná pozorování V436 Per (Paper I) ve filtrech *UBV* a *y* byla použita až na tři výjimky. Vyřazena byla pozorování Güssowa (1929) a Percyho (1971), která pokrývají pouze fáze mimo zákryty a méně přesná pozorování Böhmeho (1984) v barvě *V*. Ženevská fotometrie (Kurtz 1977) byla transformována na standardní systém *UBV* užitím transformačních vztahů

$$V = V_G + 0,02161(B - V)_G + 0,01209(U - B)_G - 0,01658, \quad (5.2)$$

$$B = B_G + 0,21633(B - V)_G - 0,00252(U - B)_G - 0,01643(B - V)_G^2 + 0,00120(B - V)_G^3 + 0,78412, \quad (5.3)$$

$$U = U_G - 0,18411(B - V)_G - 0,26145(U - B)_G + 0,01763(B - V)_G^2 + 0,06330(B - V)_G^3 - 0,02095, \quad (5.4)$$

**Tabulka 2:** *UBV* data pro srovnávací a kontrolní hvězdu

$V$	$B - V$	$U - B$	Observatoř	poznámka
4 Per (srov.) (5,012±0,011) mag	-0,078 mag	-0,309 mag	Hvar	celá obloha
HR 540 (srov.) (6,450±0,006) mag	0,183 mag	0,108 mag	Hvar	celá obloha
2 Per (kontr.) (5,716±0,009) mag	-0,070 mag	-0,277 mag	Hvar	celá obloha
(5,715±0,009) mag	-0,070 mag	-0,278 mag	Hvar	rozd.
(5,711±0,006) mag	-0,071 mag	-0,268 mag	SPM	rozd.
(5,713±0,008) mag	-0,071 mag	-0,269 mag	TNO	rozd.

nalezených Harmancem a Božicem (2001).

Aby bylo možné převést všechna data z diferenčních na absolutní standardní hvězdné velikosti standardního systému *UBV*, byly proměřeny na Hvaru hvězdy 4 Per a HR 540 vzhledem ke hvězdám celé oblohy (viz tab. 2).

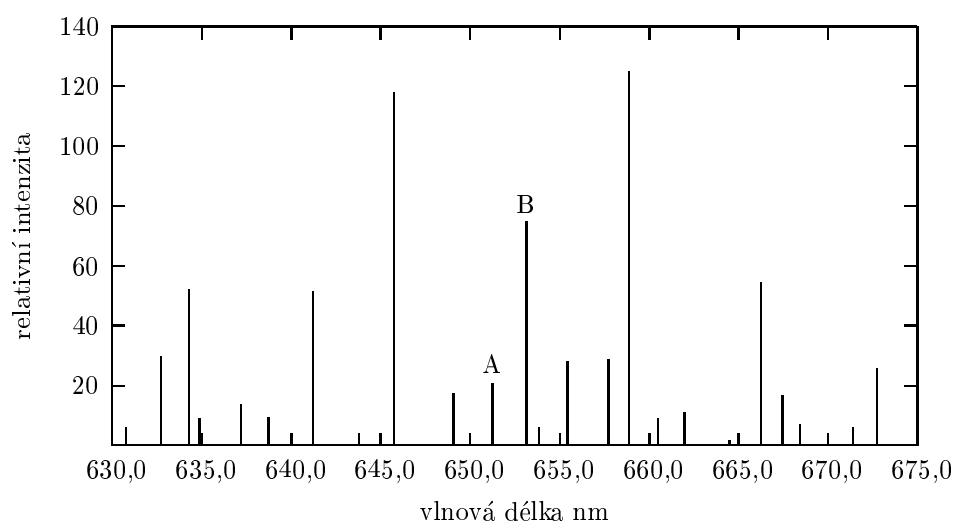
## 5.2 Spektroskopie

V práci bylo použito celkem 243 spekter V436 Per. Spektra byla pořízena na třech observatořích. První část spekter (16 spekter) byla získána pracovníky Stelárního oddělení Astronomického ústavu AV ČR v Ondřejově (P. Škoda, P. Harmanec, P. Hadrava, M. Tlamicha, P. Koubský, K. Kalaš), druhá (53 spekter) byla pořízena na dvou dalekohledech Dominion Astrophysical Observatory v Kanadě (S. Yang, dále DAO) a třetí, největší část (174 spekter), pochází z německé observatoře Thüringer Landessternwarte Tautenburg (H. Lehmann, dále TLS), viz tab. 3.

Většina spekter, která byla pořízena ondřejovským dvoumetrovým dalekohledem, byla již dříve zpracována. Zhruba polovina spekter z DAO byla také již dříve zpracována a publikována (Paper I, 30 spekter). Nových spekter bylo tedy získáno celkem 199, dvě v Ondřejově, 23 na DAO a největší část pochází z TLS (174 spekter). Původní redukce spekter a jejich převedení na jednorozměrný obraz provedli Stephenson Yang (DAO), který použil program IRAF, a Holger Lehmann (TLS) pomocí softwarového balíčku MIDAS. Všechna nově získaná spektra bylo nutné dále okalibrovat a rektifikovat. Těmto úpravám se souhrně říká *redukce spekter*. Na závěr bylo třeba spektra proměřit, a tím získat hodnoty radiálních rychlostí. Všechny výše zmíněné úpravy jsem provedl prostřednictvím software SPEFO

**Tabulka 3:** Poloha spektroskopických observatoří

Observatoř	Ondřejov	DAO	TLS
Zeměpisná poloha	14°47,0' v.d. 49°54,6' s.š.	123°25,0' z.d. 48°31,2' s.š.	11°42,8' v.d. 50°58,9' s.š.
Nadmořská výška	533 m	238 m	331 m



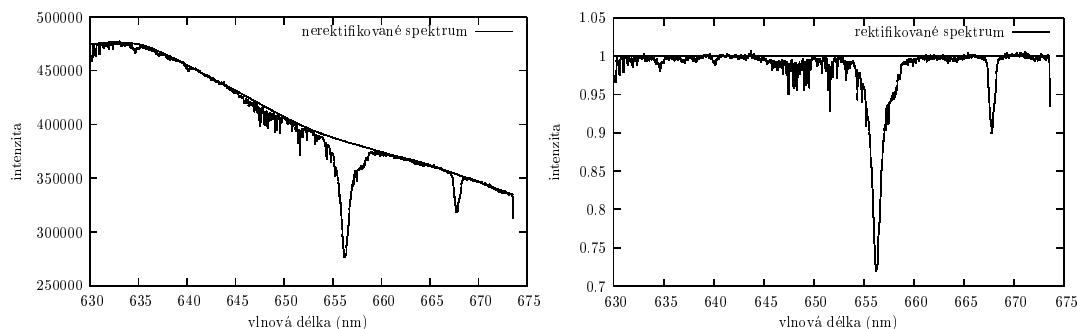
**Obrázek 5.1:** Ke kalibraci spekter bylo použito srovnávacího Th-Ar spektra, na kterém jsou vyznačeny dvě identifikované čáry o vlnových délkách 651,2364 nm (A) a 653,1341 nm (B)

(Horn a kol. 1996, Škoda 1996).

### 5.2.1 Th-Ar kalibrace

Na začátku (tj. před vlastní kalibrací spekter) bylo nutné všechna spektra opravit o správnou hodnotu heliocentrické korekce, jejíž hodnota byla vypočtena programem PREKOR6 (Hadrava E3), který pro přesnější výpočet bere v úvahu kromě vlastní rotace Země také i planetární korekce užitím procedury AABER1RV (Ron a Vondrák 1986). Takto vypočítané hodnoty heliocentrických korekcí pro všechna spektra je možné nalézt v tabulce 14.

Po tomto přiřazení následovala vlastní kalibrace spekter. Ke kalibraci posloužila vždy dvě srovnávací Th-Ar spektra (viz obr. 5.1), která jsou ke kalibraci vhodná,



**Obrázek 5.2:** Vlevo: část spektra V436 Per se spektrálními čarami  $H\alpha$ , He I 6678 a množstvím telurických čar před rektifikací a rektifikační spline funkce Vpravo: normované spektrum V436 Per po rektifikaci

protože mají v celém optickém oboru spektra velké množství čar, které jsou navíc rozmístěny rovnoměrně v celé šíři spektra. Spektra byla pořízena vždy tak, aby první bylo před expozicí samotného spektra hvězdy a druhé po ní. Tím bylo možné přesně určit vlnové délky spektrálních čar a vyloučit případné rozjuztování spektrografu mezi dvěma měřeními. Spektra z observatoře TLS byla již kalibrována, proto se pro ně tato kalibrace dělat nemusela.

### 5.2.2 Rektifikace spektrogramů

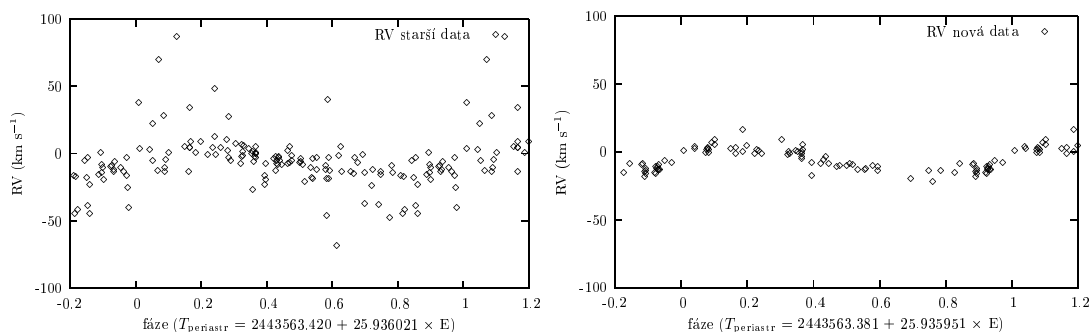
Redukce, která normuje průběh pozorované intenzity na kontinuum, se nazývá rektifikace. Průběhem záznamu intenzity na vlnové délce se proloží křivka, která se pak normuje na jednotku a podle ní se normuje na jedničku i průběh vlastního spektra. Proces rektifikace je znázorněn na obrázku 5.2. V levé části je zobrazeno zaznamenané spektrum a naznačen průběh křivky, vůči které se bude spektrum rektifikovat. Pravá část obrázku je již rektifikované a normované spektrum.

Občas se v některých spektrech nacházely ojedinělé body nad rektifikovaným kontinuem. Tyto body byly způsobeny sekundárním kosmickým zářením, které interagovalo se CCD detektorem spektrografu. Všechny artefakty („kosmíky“) způsobené kosmickými paprsky byly ze spekter odstraněny. Po těchto úpravách se již mohlo přejít k proměření spektrálních čar.

### 5.2.3 Proměření spekter

Po redukci spekter následovalo jejich proměření, ke kterému byl použit již zmíněný program SPEFO. Čárové spektrum V436 Per není v červené oblasti na spektrální čáry příliš bohaté. K detailnímu studiu tak posloužily pouze dvě intenzivní čáry vodíku  $H\alpha$  a neutrálního hélia He I 6678, u nichž jsem proměřil jejich jádra a křídla. Na obrázku 5.3 je zřetelně viditelná malá amplituda změn radiálních rychlostí,

## 5.2 Spektroskopie



**Obrázek 5.3:** Vlevo: historická křivka radiálních rychlostí (Paper I) Vpravo: křivka radiálních rychlostí nově proměřených spekter

**Tabulka 4:** Seznam spektroskopických pozorování

Data	Datum (HJD–2400000)	Počet spekter	Disperze ( $\text{\AA mm}^{-1}$ )
1	49327,3–50326,5	16	17.2
2	49744,6–51109,0	47	10.0
3	50056,9–50057,0	6	10.0
4	51245,2–51472,6	174	3.2

**Detailní popis zdrojových dat a použitých přístrojů** 1...Ondřejov 2,0-m reflektor, mřížkový coudé spektrograf s detektorem Reticon RL 1872F/30 s  $15 \mu\text{m}$  pixely; 2...DAO 1,22-m reflektor, mřížkový coudé spektrograf s detektorem Loral  $4096 \times 200$  CCD s  $15 \mu\text{m}$  pixely; 3...DAO 1,83-m reflektor, mřížkový Cassegrain spektrograf s detektorem Loral  $4096 \times 200$  CCD s  $15 \mu\text{m}$  pixely; 4...Tautenburg 2,0-m reflektor, coudé echelle spektrograf s detektorem Tektronix  $1024 \times 1024$  CCD s  $24 \mu\text{m}$  pixely

kteřá v jisté zkreslené formě odráží orbitální pohyb složek soustavy. Spektrální čáry obou komponent se vzájemně překrývají a to ve všech orbitálních fázích. Stupeň jejich překrývání ovšem také závisí na disperzi a rozlišovací schopnosti spektrografu. Kromě vlastních spektrálních čar V436 Per byly proměřeny i vybrané telurické čáry, které posloužily při korekci každého spektrogramu na nulový bod hodnot vlnové délky. Díky tomuto kroku byla všechna spektra (ze tří různých observatoří) bezpečně na stejné škále heliocentrických vlnových délek<sup>1</sup> mohla být použita k dalším výpočtům.

<sup>1</sup>V tabulce 14 jsou uvedeny také atmosférické korekce příslušné jednotlivým spektrům. U spekter z TLS jsou tyto hodnoty srovnatelné s vlastní heliocentrickou korekcí. To je dáno tím, že spektra byla kalibrována na laboratorní vlnovou délku. Za povšimnutí stojí také spektra 1L00211 – 1L00252, kde došlo k posunu vlnových délek o přibližně  $10 \text{ km s}^{-1}$ .

# DETAILNÍ ANALÝZA V436 PER

## 6.1 Sekulární změna periody

Prvním úkolem této práce bylo upřesnění periody a epochy dvojhvězdného systému V436 Per. Program FOTEL však není koncipován pro přímé hledání periody, ale pouze k jejímu zpřesnění. Při prvních výpočtech tak posloužila perioda podle Paper I. Hodně často se při hledání správné hodnoty periody objeví periody zdánlivé, kterým se také říká aliasy. V tomto případě je věc jednodušší, neboť fotometrická pozorování V436 Per pocházejí z různých míst světa a společně s měřeními z družice Hipparcos nám tyto fiktivní periody vyloučí.

V práci Harmance a kol. (1997) byla zjištěna nová skutečnost, která poukazuje na to, že se v systému vyskytuje apsidální pohyb s periodou  $(12\,300 \pm 1\,900)$  let. Autoři nicméně poznamenali, že by bylo vhodné toto zjištění v budoucnu dále ověřit. První krok jsem proto zaměřil na hledání možného apsidálního pohybu.

Fotometrická data, která byla použita v této práci (viz tab. 1), pokrývají větší časovou základnu než tomu bylo v již několikrát zmiňované práci (Paper I). Data jsem si nejdříve rozdělil na dva soubory; první pokrýval epochu mezi HJD 2436000 – 2447000, druhý HJD 2447000 – 2452570. Pro oba dva případy jsem počítal syntetickou světelnou křivku a hledal řešení s pomocí programu FOTEL. Řešení byla počítána při zafixované periodě  $P_{\text{sider}} = 25,935872$  d a excentricitě  $e = 0,3882$  (hodnoty z kombinovaného řešení, Harmanec a kol. (1997)) za předpokladu, že v systému není přítomný apsidální pohyb. V případě, že by se v systému apsidální pohyb vyskytoval, řešení by se měla navzájem lišit. Výsledná řešení jsou uvedena v tabulce 5, ze které je patrné, že se výsledky od sebe výrazně neodlišují a rozdílné

## 6.2 Neváňované a váňované řešení světelné křivky

**Tabulka 5:** Řešení světelné křivky pro soubory dat HJD 2436000 – 2447000 a HJD 2447000 – 2452570 se zafixovanou periodou  $P_{\text{sider}} = 25,935872$  d a excentricitou  $e = 0,3882$

Element	HJD 2436000 – 2447000	HJD 2447000 – 2452570
$T_{\text{periastr}}$ (d)	$2443563,4122 \pm 0,0023$	$2443563.4411 \pm 0,0006$
$\omega$ ( $^\circ$ )	$108,9 \pm 0,1$	$109.1 \pm 0,1$
$i$ ( $^\circ$ )	$88,15 \pm 0,01$	$88.07 \pm 0,01$

**Tabulka 6:** FOTEL simultánní řešení *UBV* světelné křivky s lineárním poklesem orbitální periody jako jedním z elementů. Všechny epochy jsou v HJD-2400000.

$P$ (d)	$25,935918 \pm 0,000009$
$dP/dt$ (s rok $^{-1}$ )	$0,28 \pm 0,07$
$T_{\text{periastr}}$	$43563,3803 \pm 0,0006$
$T_{\text{prim.min}}$	$43562,861$
$T_{\text{sek.min}}$	$43573,575$
$e$	$0,4025 \pm 0,0002$
$i$	$88,068 \pm 0,001$
$r_1$	$0,03465 \pm 0,0008$
$r_2$	$0,04703 \pm 0,0006$
stř. chyba jednoho poz.	$0,0100$

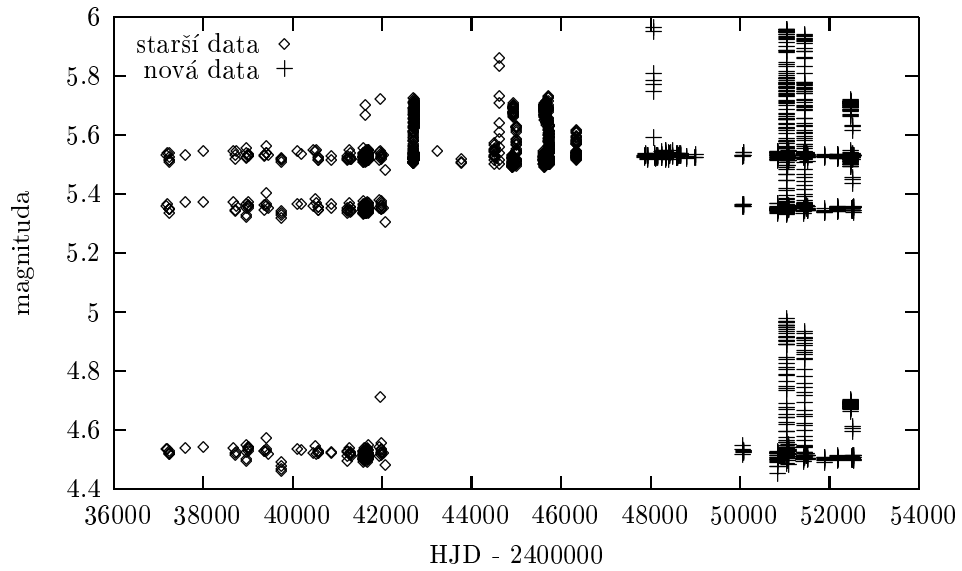
$$T_{\text{prim.min}} = 2443562.861 + 25.935918 \times E + 1.167364 \times 10^{-7} \times E^2$$

hodnoty epochy nebo délky výstupného uzlu jsou v rámci vlastních výpočetních chyb.

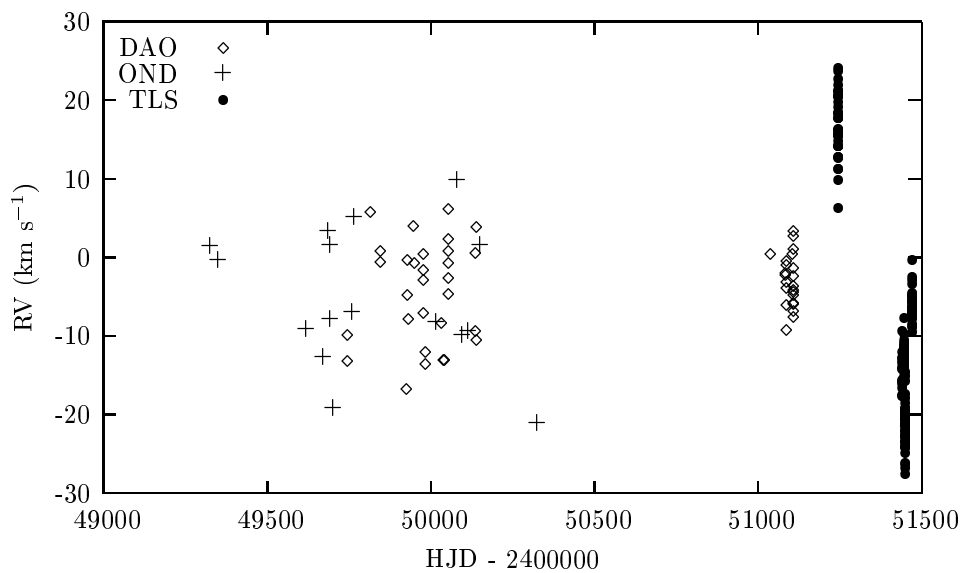
Abych mohl při dalších výpočtech skutečně apsidální pohyb zanedbat, provedl jsem ještě jedno řešení světelné křivky, tentokrát se všemi fotometrickými daty dohromady. Výpočet předpokládal, že dochází k lineárnímu zkracování periody. Z výsledků plyne, že v systému skutečně ke zkracování periody dochází, není to však jev tak významný, který bych musel při dalších výpočtech brát v úvahu (viz tab. 6).

## 6.2 Neváňované a váňované řešení světelné křivky

Další výpočty jsem provedl ve dvou krocích. Nejdříve jsem řešil světelnou křivku pro neváňovaná data (předpokládal jsem tedy, že všechna data mají stejnou váhu).



Obrázek 6.1: Časová řada fotometrických pozorování v barvách  $UBVy$



Obrázek 6.2: Závislost radiálních rychlostí získaných proměřením jader čar  $H\alpha$  a  $He\ I\ 6678$  v programu SPEFO na čase pořízení spektrogramu



V druhém kroku jsem přiřadil každé observatoři váhu, jejíž odhad jsem získal z prvního neváhovaného řešení. Váhy jsem pak bral nepřímou úměrnost kvadrátům chyb neváhovaného řešení. Koeficienty lineárního okrajového ztemnění byly při výpočtech zafixovány, hodnoty byly vzaty z článku Claret (2000): 0,390 pro  $U$ , 0,395 pro  $B$  a 0,340 pro barvu  $V$  Johnsonova standardního fotometrického systému. Program jsem nechal konvergovat automaticky až na strojovou přesnost. Výpočet se zastavil po několika stech iteracích. Obě řešení, neváhované i váhované, jsou uvedena v tabulce 7.

Na obrázku 6.3 jsou vykresleny světelné křivky v barvách  $U$ ,  $B$  a  $V + y$ , které odpovídají váhovanému řešení (viz tab. 7). Společně s nimi se ve spodní části obrázku 6.3 nachází také  $(O - C)$  diagram, který je vypočítán ze všech  $UBVy$  pozorování a výsledné teoretické světelné křivky.

### 6.3 Binsyn

Výsledky, které byly získány FOTELEM při výpočtech světelných křivek, byly ověřeny prof. Linnellem, který provedl jejich nezávislé modelování svým programem. BINSYN (Linnell a Hubeny 1996) je postaven na odlišném algoritmu než FOTEL. Jako vstupní parametry byly použity hodnoty, které jsem získal z programu FOTEL. V první simulaci probíhal výpočet za předpokladu lineárního okrajového ztemnění s koeficientem 0,340 stejně jako u FOTELu. Výsledek je srovnatelný,  $(O - C)$  diagram je téměř shodný s tím, který je na obrázku 6.3. Chyba měření pro barvu  $V$  jednoho pozorování je 0,0100, což je prakticky stejná hodnota, kterou jsme získali dříve. Ve druhé simulaci byl předpoklad lineárního okrajového ztemnění nahrazen nelineárním okrajovým ztemněním druhého řádu (Wade a Rucinski 1985). Tato simulační procedura nevedla k významnému zmenšení chyby, chyba jednoho měření pak byla 0,0099.

Velkým přínosem BINSYNU je určení barevné teploty jednotlivých složek nezávisle na FOTELu. Pro první komponentu pro střed primárního minima vychází teplota  $T_{\text{eff}} = 21\,530\text{ K}$  a  $T_{\text{eff}} = 22\,020\text{ K}$  pro druhou složku. Ve středu sekundárního minima odpovídá teplota první složky  $T_{\text{eff}} = 21\,500\text{ K}$  a  $T_{\text{eff}} = 22\,000\text{ K}$  pro složku druhou.

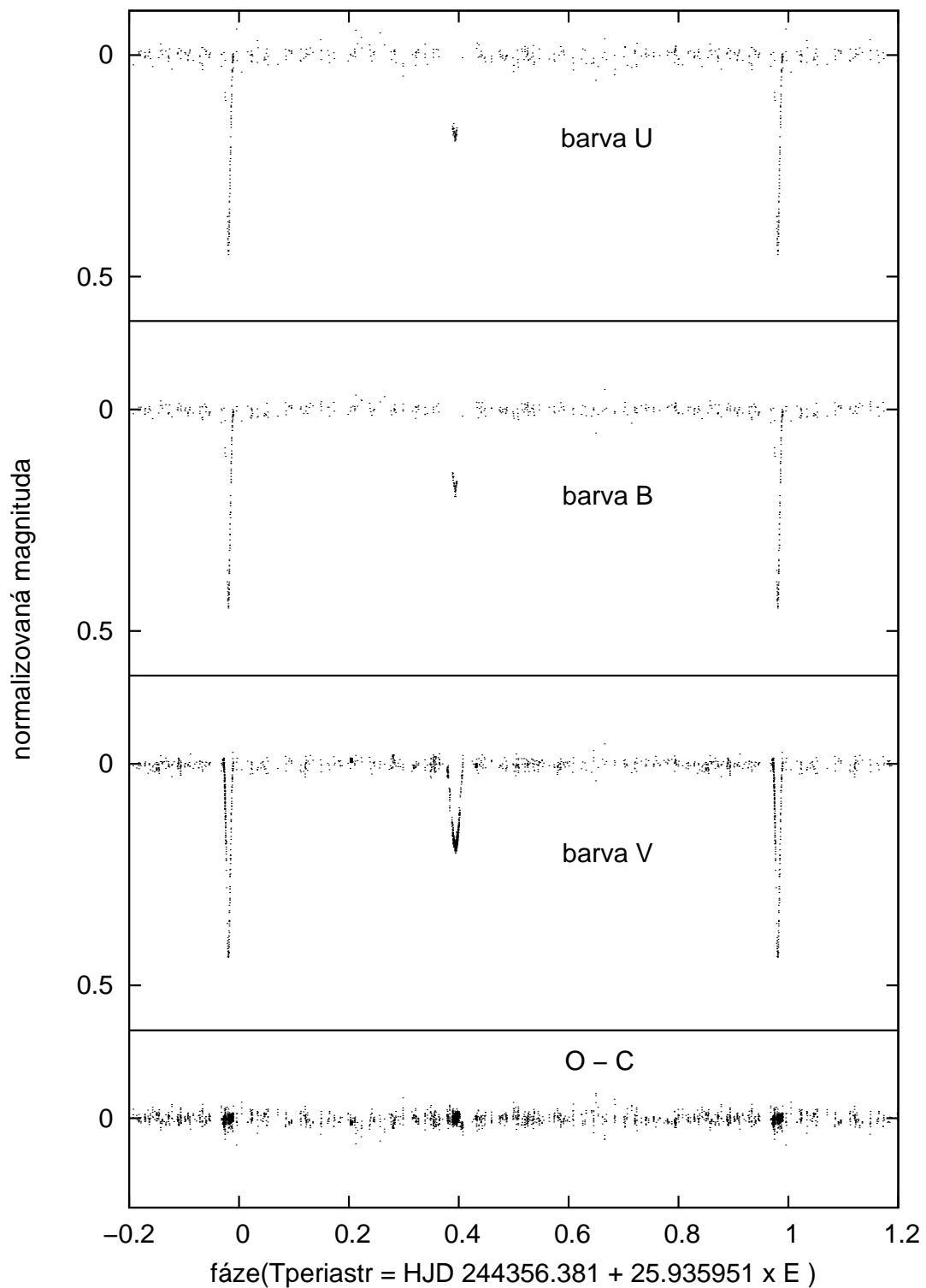
### 6.4 Rozpletení spekter

Přestože není čárové spektrum V436 Per v červené oblasti příliš bohaté na spektrální čáry, dá se ve spektrogramech nalézt kromě dvou zřetelných intenzivních čar  $H\alpha$  a He I 6678 také několik čar slabších. Mezi tyto slabší čáry patří dvě čáry Si II na vlnových délkách 634,7 a 637,1 nm, dále jedna čára Ne I na 640,2 nm a v červeném křídle čáry  $H\alpha$  se nalézají dvě uhlíkové čáry C II na vlnových délkách

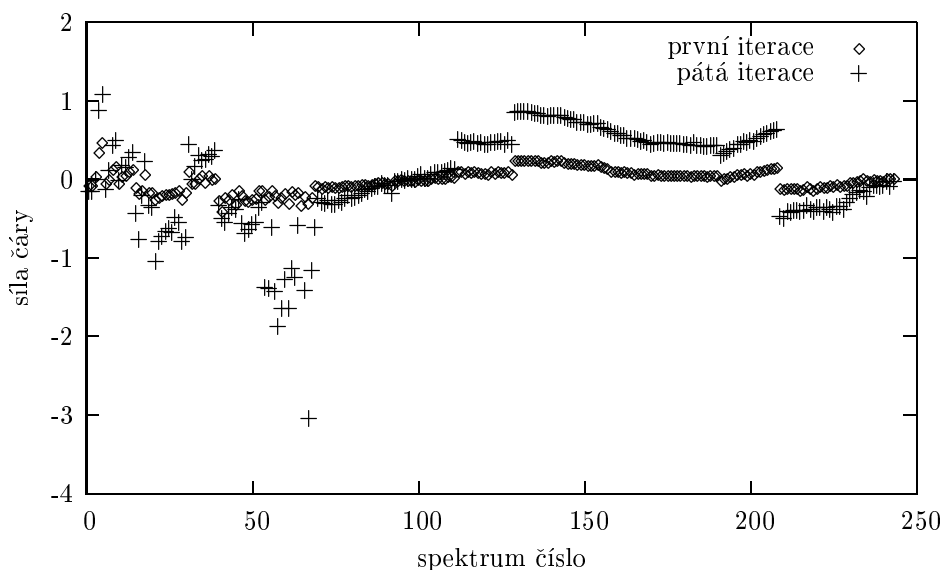
**Tabulka 7:** Simultánní řešení *UBV* světelné křivky za předpokladu konstantní orbitální periody. Všechny epochy jsou v HJD-2400000.

Element	nevážené řešení	vážené řešení
$P$ (d)	$25,935953 \pm 0,000003$	$25,935951 \pm 0,000003$
$T_{\text{periastr}}$	$43563,384 \pm 0,013$	$43563,381 \pm 0,009$
$T_{\text{prim.min}}$	43562,861	43562,861
$T_{\text{sek.min}}$	43573,574	43573,576
$e$	$0,4012 \pm 0,0037$	$0,4023 \pm 0,0025$
$\omega$ ( $^{\circ}$ )	$108,39 \pm 0,23$	$108,31 \pm 0,16$
$i$ ( $^{\circ}$ )	$88,073 \pm 0,002$	$88,049 \pm 0,002$
$r_1$	$0,03454 \pm 0,0012$	$0,03495 \pm 0,0010$
$r_2$	$0,04714 \pm 0,0007$	$0,04721 \pm 0,0007$
$V_{\text{McDonald}}$	$5,5236 \pm 0,0008$	$5,5235 \pm 0,0008$
rms	0,0077	0,0076
$V_{\text{Geneva}}$	$5,5322 \pm 0,0007$	$5,5320 \pm 0,0007$
rms	0,0115	0,0117
$V_{\text{Merate}}$	$5,5179 \pm 0,0004$	$5,5182 \pm 0,0004$
rms	0,0102	0,0103
$V_{\text{Hvar}}$	$5,5276 \pm 0,0005$	$5,5279 \pm 0,0005$
rms	0,0072	0,0068
$V_{\text{TNO}}$	$5,5257 \pm 0,0007$	$5,5252 \pm 0,0007$
rms	0,0066	0,0065
$V_{\text{SanPedroMartir}}$	$5,5252 \pm 0,0019$	$5,5252 \pm 0,0019$
rms	0,0047	0,0047
$V_{\text{Hipparcos}}$	$5,5299 \pm 0,0006$	$5,5298 \pm 0,0006$
rms	0,0061	0,0061
$B_{\text{Geneva}}$	$5,3545 \pm 0,0010$	$5,3545 \pm 0,0010$
rms	0,0128	0,0128
$B_{\text{Hvar}}$	$5,3498 \pm 0,0005$	$5,3499 \pm 0,0005$
rms	0,0071	0,0069
$B_{\text{TNO}}$	$5,3456 \pm 0,0008$	$5,3454 \pm 0,0008$
rms	0,0074	0,0073
$B_{\text{SanPedroMartir}}$	$5,3461 \pm 0,0018$	$5,3461 \pm 0,0018$
rms	0,0043	0,0043
$U_{\text{Geneva}}$	$4,5209 \pm 0,0013$	$4,5209 \pm 0,0013$
rms	0,0161	0,0161
$U_{\text{Hvar}}$	$4,5083 \pm 0,0008$	$4,5084 \pm 0,0008$
rms	0,0113	0,0113
$U_{\text{TNO}}$	$4,5248 \pm 0,0009$	$4,5246 \pm 0,0009$
rms	0,0084	0,0084
$U_{\text{SanPedroMartir}}$	$4,5286 \pm 0,0027$	$4,5286 \pm 0,0027$
rms	0,0067	0,0067
stř. rms	0,0101	0,0088

## 6.4 Rozpletení spekter



**Obrázek 6.3:** Světelné křivky V436 Per na základě všech pozorování v barvách  $UBVy$  a  $(O - C)$  diagram z teoretické světelné křivky podle váhovaného řešení z tabulky 7



**Obrázek 6.4:** Výsledek první a páté iterace sil telurických čar

657,8 a 658,3 nm. Na obrázcích 6.7 a 6.8 jsou zobrazena všechna napozorovaná spektra v okolí silných čar  $H\alpha$  a He I 6678, která byla v práci použita.

Spektra jsou silně blendována, což je z obrázků na první pohled patrné. Abych mohl využít metody rozplétání spekter (viz kapitola 4), bylo nutné spektrogramy rozdělit na dvě oblasti, které pokrývají vlastní čáry  $H\alpha$  a He I 6678 a jejich těsné okolí.

Důležitou informací, která mi umožnila zjednodušit a urychlit dekomponování spekter, byla zpřesněná hodnota periody, kterou jsem získal při řešení světelné křivky z napozorovaných fotometrických dat (viz tab. 7). Na rozdíl od spektroskopických pozorování má fotometrie mnohem větší časovou základnu ( $7\times$ , viz obr. 6.1), takže zjištěná perioda z fotometrie mohla být použita a navíc zafixována při rozplétání čar. Zafixování periody podpořil i ten fakt, že stáčení přímky apsid probíhá pozvolna a toto tempo nemá velký vliv na změnu periody v období, kdy byla spektra získána (viz obr. 6.2).

#### 6.4.1 Test nové verze KORELu

Při ověřování správné funkčnosti nové verze KORELu jsem nejdříve dekomponoval 69 spekter z DAO a Ondřejova (viz tab. 4) starou verzí KORELu s krokem  $4,5 \text{ km s}^{-1}$ . Pak jsem ke spektrům z DAO a Ondřejova přidal průměrovaná spektra z TLS pro jednotlivé noci (viz tab. 12), abych mohl i se starší verzí KORELu vyzkoušet, jak se tím změní dekomponovaný profil. Stejně jako v prvním případě jsem nastavil velikost kroku na  $4,5 \text{ km s}^{-1}$ .

U nové verze jsem mohl rozplétat najednou všech 243 spekter. Zde byl postup následující. Ke kontrole správného fungování programu jsem použil různé kroky výpočtu, a to 4,5, 5,0 a 6,0 km s<sup>-1</sup>. Na obrázku 6.5 jsou zobrazeny všechny profily čáry H $\alpha$  primární i sekundární složky, které byly takto získány. Jak je z obrázku na první pohled patrné, vzhled rozpletených spekter nezávisí na jemnosti zvoleného kroku, ale hlavním zjištěním je fakt, že nová verze programu rozplétá spektra shodně s verzí starou.

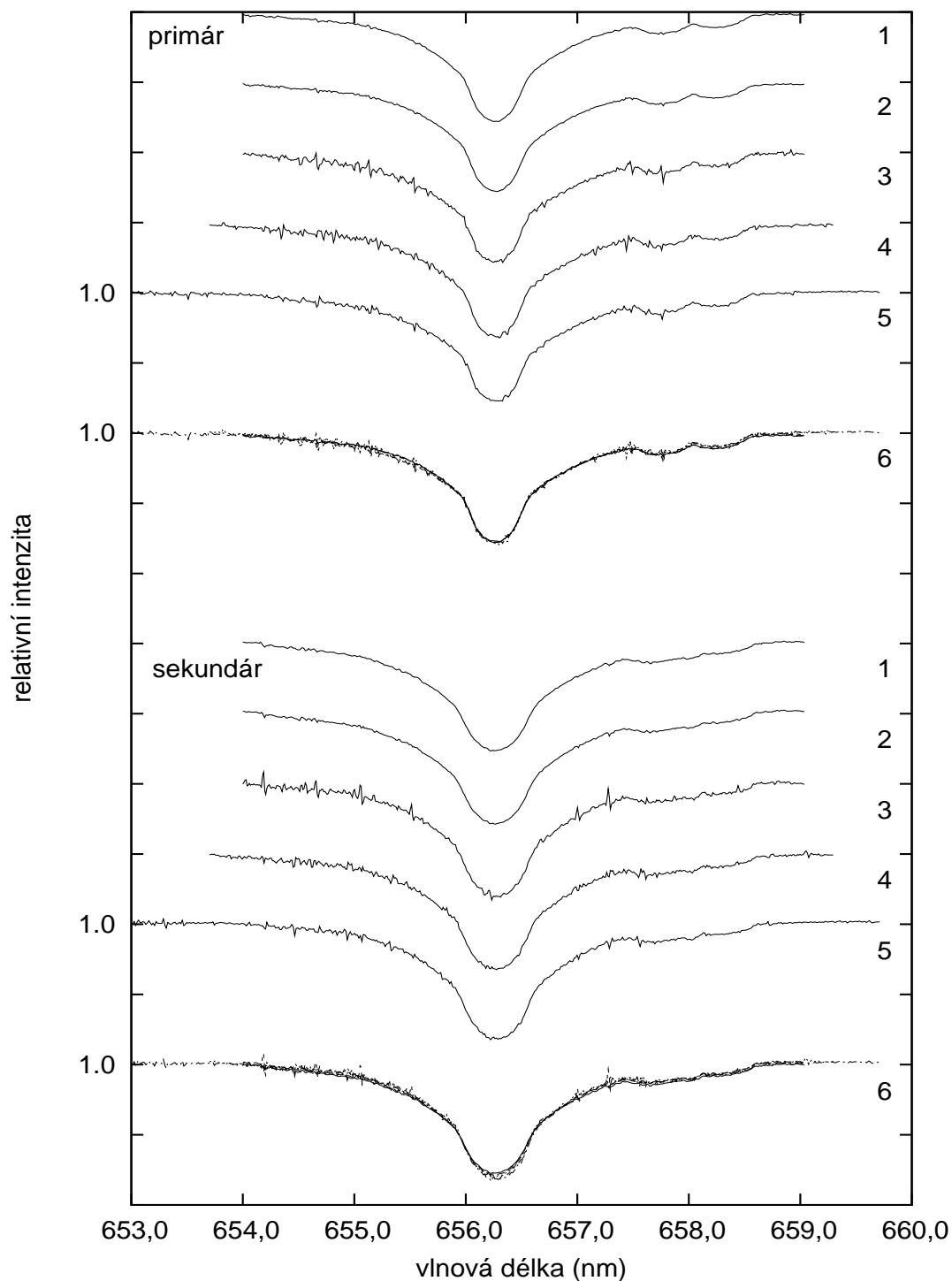
### 6.4.2 Čára H $\alpha$

První oblast ((653,8 – 659,4) nm, viz obr. 6.7) obsahuje čáru H $\alpha$ , uhlíkový dublet C II a mnoho telurických čar. Pro numerické řešení bylo potřeba zvýšit krok, se kterým byla tato oblast pokryta, protože čára H $\alpha$  je velice široká ve srovnání s čarou He I 6678. Krok byl tedy nastaven na 5,0 km s<sup>-1</sup> na pixel. Dekompozice této spektrální oblasti proběhla, jakoby se jednalo o třísložkový systém, protože za třetí složku byly brány telurické čáry.

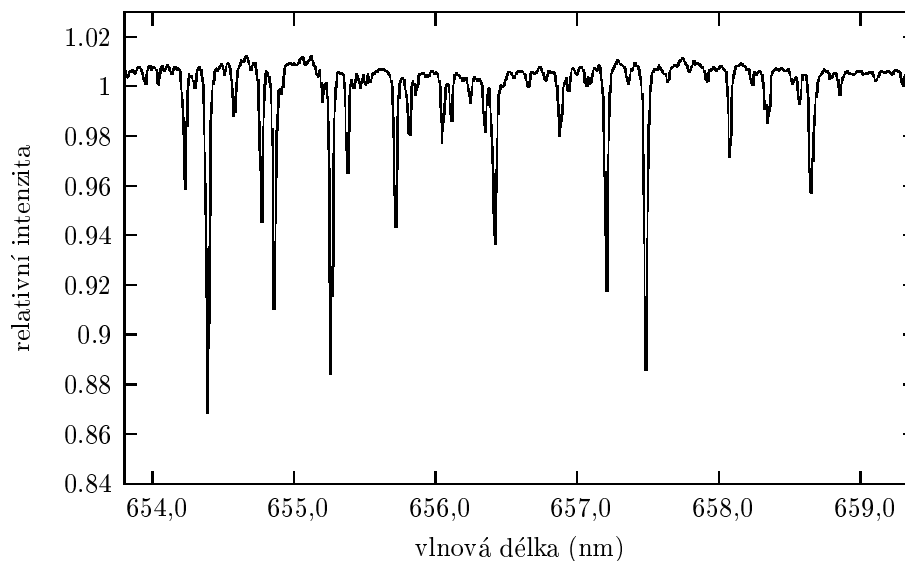
Dekompozice H $\alpha$  čáry proběhla následovně. V prvním kroku se provedl výpočet sil telurických čar, jejichž síly se následně zafixovaly. K tomu postačilo celkem 5 iterací. Na obrázku 6.4 je znázorněna síla čar po první a po konečné páté iteraci. Zřetelně jsou vidět tři oblasti. První náleží spektrům s pořadovým číslem 1 až 53, které odpovídají spektrům z DAO, druhá přísluší 16 spektrům z Ondřejova a spektra od pořadového čísla 70 jsou z TLS. Na první pohled je patrné, že ve spektrech z Ondřejova nejsou silné telurické čáry, které jsou v tomto případě reprezentovány čarami vody. Je to dáno tím, že se Ondřejov nachází ve vyšší nadmořské výšce (viz tab. 3) než další dvě observatoře. Za zmínku stojí i názorný příklad 53 spekter z TLS (noc HJD 2451450,3511 – 2451450,6635) s pořadovými čísly 155 – 208. V436 Per byla pozorována téměř celou noc, takže je na síle čar dobře vidět, jak se výška objektu měnila během noci. Nejdříve rostla a tím pádem klesala vzdušná hmota, což vedlo k zeslabení síly atmosférických čar. Diskontinuitu v hladkém průběhu síly čar narušilo přerušení pozorování na cca 2,5 hodiny. Výška V436 Per nad obzorem, kdy se opět začalo po přerušení pozorovat, začala klesat, což je opět zřetelně vidět na růstu síly telurických čar (narůstala vzdušná hmota).

S takto zafixovanými silami telurických čar se pak hledaly i síly čar obou složek společně s vhodnými parametry soustavy (epocha, délka periastra, excentricita atd.) tak, aby výsledné rozmotané profily obou složek co nejlépe odpovídaly naporozovaným blendovaným spektrům.

Orbitální elementy, které byly získány dekompozicí čáry H $\alpha$  jsou uvedeny v tabulce 8.



**Obrázek 6.5:** Test nové verze KORELu (1...69 spekter DAO + Ondřejov, stará verze  $4,5 \text{ km s}^{-1}$ ; 2...75 spekter DAO + Ondřejov + TLS, stará verze  $4,5 \text{ km s}^{-1}$ ; 3...243 spekter DAO + Ondřejov + TLS, nová verze  $4,5 \text{ km s}^{-1}$ ; 4...243 spekter DAO + Ondřejov + TLS, nová verze  $5,0 \text{ km s}^{-1}$ ; 5...243 spekter DAO + Ondřejov + TLS, nová verze  $6,0 \text{ km s}^{-1}$ ; 6...srovnání všech dekomponovaných profilů navzájem)



Obrázek 6.6: Dekomponované telurické čáry

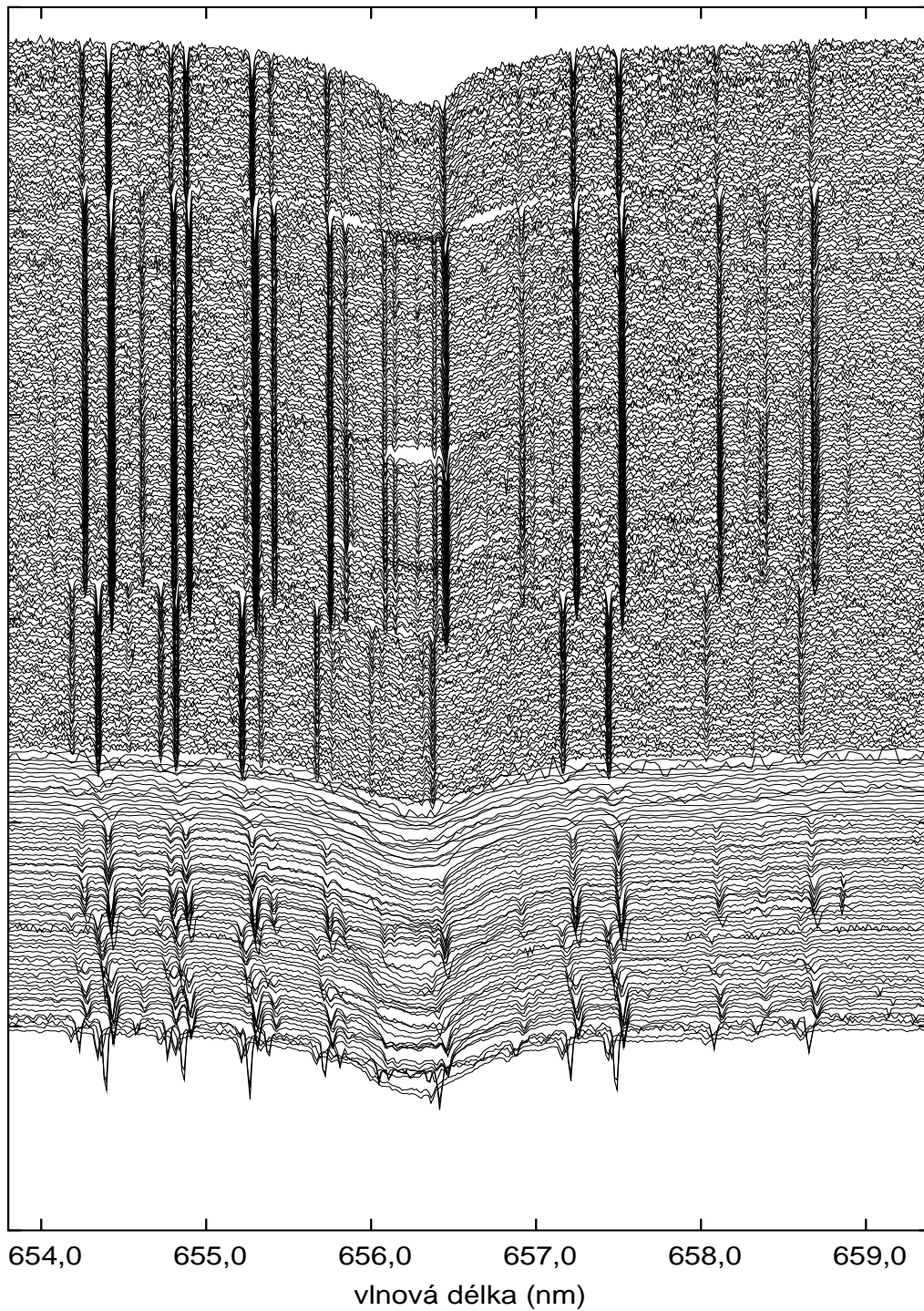
### 6.4.3 Čára He I 6678

Ve druhé oblasti ((667,0 – 668,7) nm, viz obr. 6.8) se nachází pouze samotná čára He I 6678, která není tak silná jako  $H\alpha$ . Proto mohla být tato oblast analyzována s jemnějším krokem  $1,5 \text{ km s}^{-1}$  na pixel. V čáře a okolí He I 6678 se nenalézají telurické čáry, proto byla dekompozice provedena pouze pro dvě složky.

Stejně jako v případě čáry  $H\alpha$  jsou i pro čáru He I 6678 orbitální parametry vypočtené KORELem uvedeny v tabulce 8. Takto získaná řešení pro obě spektrální oblasti jsou srovnatelná s výsledným váhovaným řešením, které je uvedeno v tabulce 7.

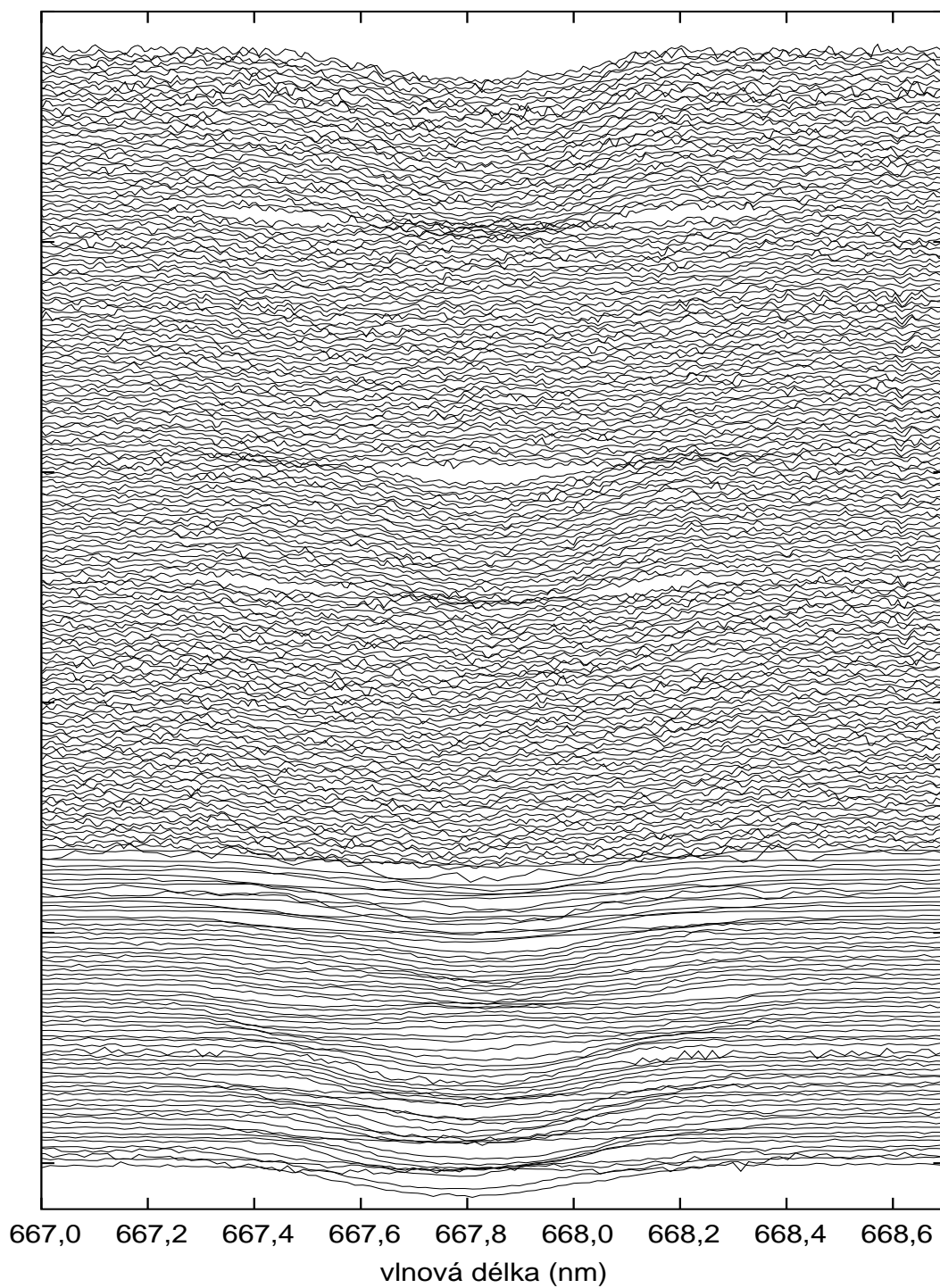
**Tabulka 8:** Orbitální parametry vypočítané KORELem. Všechny epochy jsou HJD-2400000, perioda je fixována  $P = 25,935951$  d.

Element	$H\alpha$	He I 6678
$P$ (d)	fixována	fixována
$T_{\text{periastr}}$	43563,362	43563,367
$e$	0,377	0,383
$\omega$ ( $^\circ$ )	108,6	108,8
$K_1$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	97,5	98,0
$K_2$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	90,0	93,1



**Obrázek 6.7:** Spektrální oblast (653,8 – 659,4) nm, ve které se nachází čára  $H\alpha$  a množství telurických čar, u kterých je vidět zřetelný posun, který souvisí s oběhem Země kolem Slunce





**Obrázek 6.8:** Spektrální oblast (667,0 – 668,7) nm, ve které je zřetelná pouze silně blendovaná čára He I 6678

## 6.5 Křivka radiálních rychlostí

Vedlejším výsledkem dekomponování spekter jsou velikosti radiálních rychlostí příslušné každému rozpletenému spektru v jisté fázi (viz kapitola KOREL). Na obrázku 6.11 je vykreslena křivka radiálních rychlostí získaná z telurických čar, která odráží pohyb Země kolem Slunce. Fáze byla vypočítána podle

$$T_{\text{perih}} = \text{HJD } 2451547,5206 + 365,25636 \times E. \quad (6.1)$$

Velké chyby, které přísluší radiálním rychlostem telurických čar v okolí nulové fáze jsou způsobeny malou intenzitou těchto čar (jde o spektra z ondřejovské observatoře). Střední chyba určení radiální rychlosti je rovna

$$s = \sqrt{(\bar{y}_i^2 - \bar{y}^2) \frac{n}{n-1}}, \quad (6.2)$$

kde  $\bar{y}_i^2$  je střední hodnota kvadrátu  $(O - C)$ ,  $\bar{y}^2$  je kvadrát střední hodnoty  $(O - C)$  a  $n$  je počet měření.

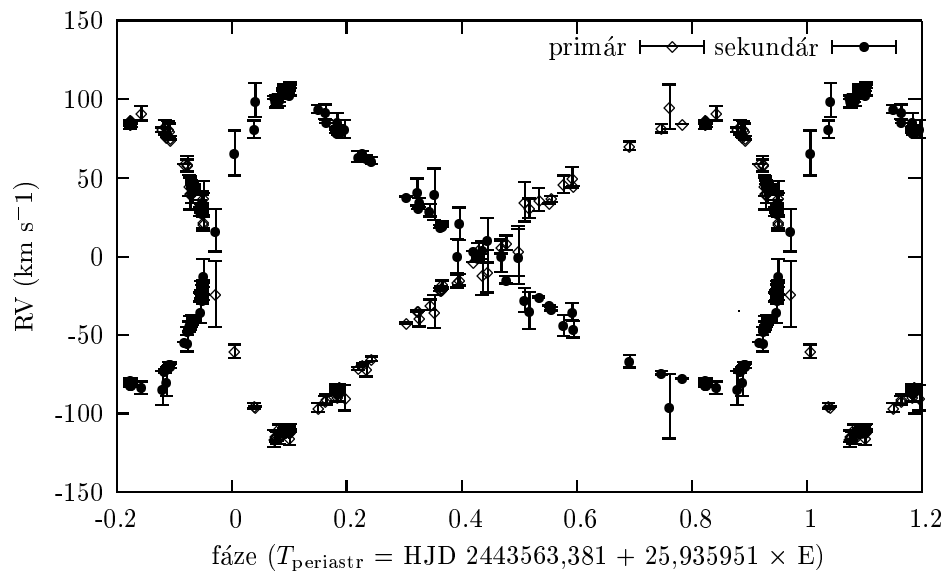
Ponecháme-li při výpočtu střední chyby i tři spektra kolem nulové fáze s větší chybou (HJD 2450081,2656 s chybou  $(O - C) = -10,54 \text{ km s}^{-1}$ , HJD 2450097,3604 s chybou  $(O - C) = 5,92 \text{ km s}^{-1}$  a HJD 2450114,3047 s chybou  $(O - C) = -7,84 \text{ km s}^{-1}$ ), je střední chyba určení radiální rychlosti podle 6.2 pro telurické čáry rovna  $1,58 \text{ km s}^{-1}$ . Použijeme-li však jinou metodu pro určení střední chyby eliminující tzv. odlehlé body (Mikulášek a kol. 2003) pak podle

$$s = 1,483 \sqrt{\frac{n}{n-1}} \text{median}(|\Delta y_i|), \quad (6.3)$$

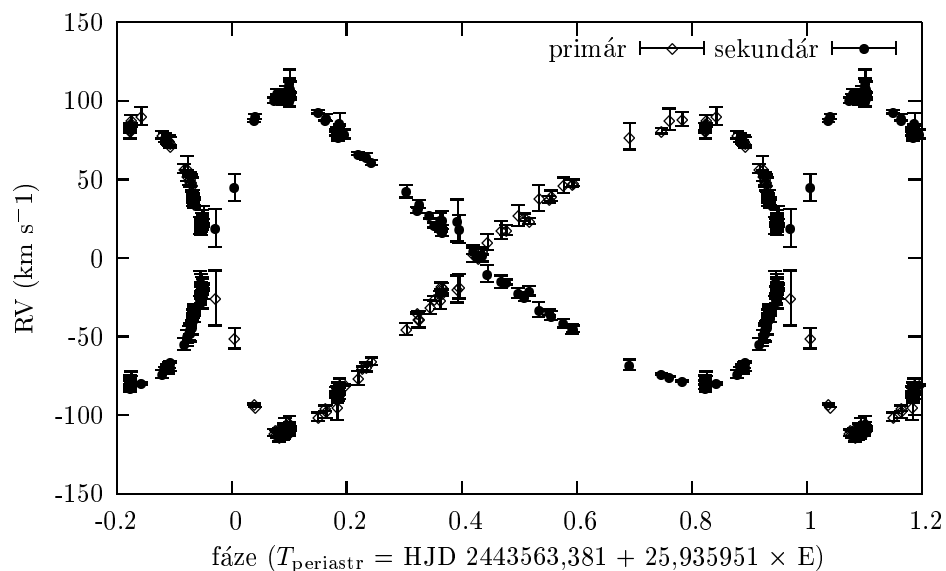
kde  $n$  je počet měření a  $|\Delta(y_i)|$  je absolutní hodnota odchylky jednoho měření  $\Delta y_i = y_i - \bar{y}$ , získáme střední chybu jen  $0,84 \text{ km s}^{-1}$ , která je mnohem reálnější.

Na obrázcích 6.9 a 6.10 jsou křivky radiálních rychlostí primární a sekundární složky V436 Per, které byly získány při dekompozici čar  $\text{H}\alpha$  a  $\text{He I } 6678$ . Primární složkou je v našem případě myšlena ta hvězda (ve fotometrickém smyslu), která je v době primárního minima zakrývána. Tohoto značení se budu v textu i dále držet, abych zachoval kontinuitu se značením složek podle článku (Harmanec a kol. 1997), přestože primár není v tomto případě jasnější ani hmotnější.

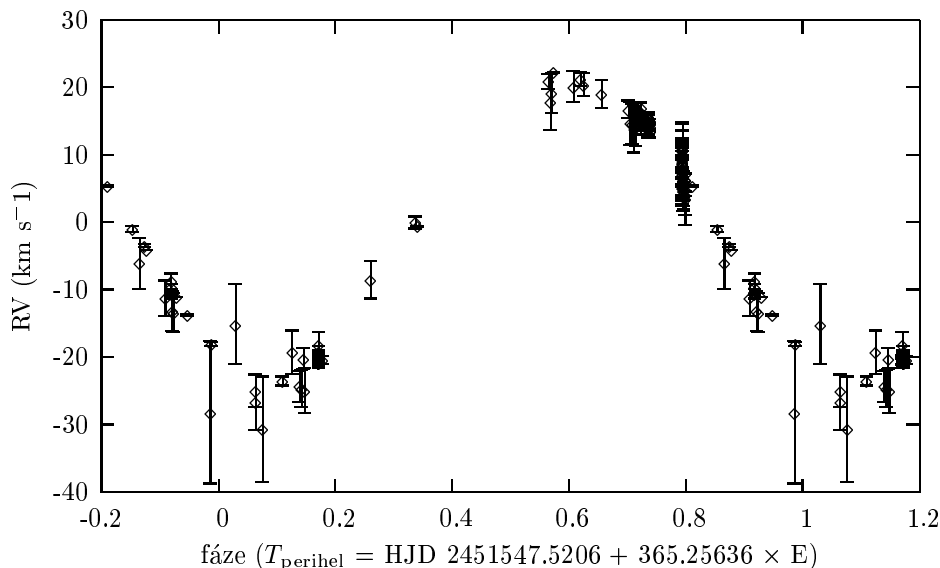
V okolí fází 0,0 a 0,4 mají hodnoty některých radiálních rychlostí větší chyby. To je dáno tím, že v těchto místech dochází k zákrytům, ať již primárnímu (ve fázi 0,0) nebo sekundárnímu (fáze 0,4). Přestože V436 Per není totálně zákrytovým systémem a zákryty jsou pouze částečné, dochází i v tomto případě k zeslabení nebo zesílení toku záření od primární či sekundární složky vzhledem k celkovému toku záření. To se následně projeví v době zákrytu zeslabením nebo zesílením síly čar  $\text{H}\alpha$  a  $\text{He I } 6678$  obou složek (podobný případ nastává u telurických čar,



Obrázek 6.9: Křivka radiálních rychlostí získaná dekompozicí čáry H $\alpha$



Obrázek 6.10: Křivka radiálních rychlostí získaná dekompozicí čáry He I 6678



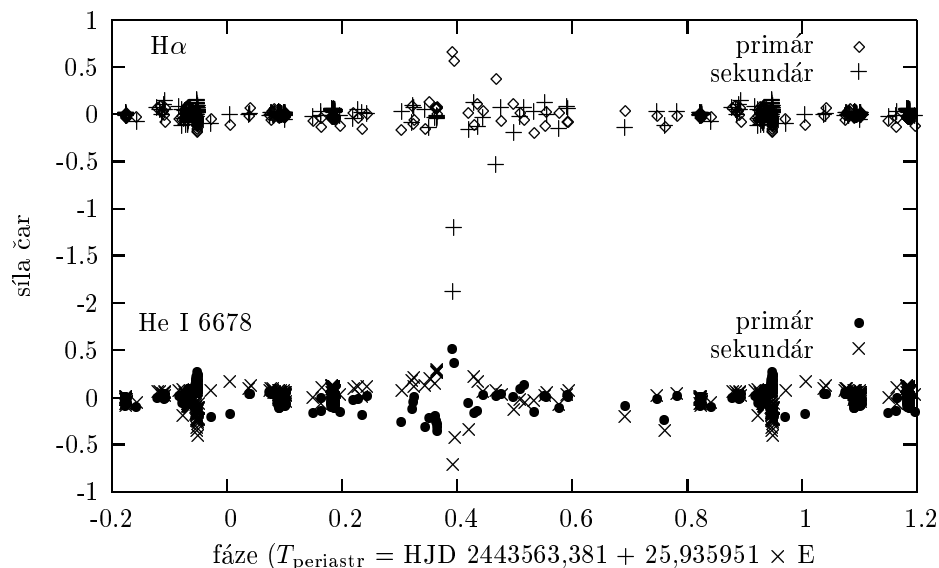
**Obrázek 6.11:** Křivka radiálních rychlostí Země získaná dekompozicí telurických čar ze spektrální čáry  $H\alpha$

viz obr. 6.4, kde však zesílení a zeslabení není způsobeno zákrytem, ale změnou vzdušné hmoty, která souvisí se změnou výšky objektu nad obzorem).

Přestože okolí čáry He I 6678 mělo při výpočtech přibližně 3x větší rozlišení, neprojevovalo se to na chybách velikostí radiálních rychlostí. Zatímco střední chyby určení radiálních rychlostí (podle 6.3) pro čáru  $H\alpha$  jsou rovny  $1,64 \text{ km s}^{-1}$  pro primární komponentu a  $1,56 \text{ km s}^{-1}$  pro komponentu sekundární, pro čáru He I 6678 je to  $2,38 \text{ km s}^{-1}$  pro primární a  $2,12 \text{ km s}^{-1}$  pro sekundární složku. Hodnoty všech radiálních rychlostí vypočítané KORELem jsou uvedeny v tabulkách 14 a 15.

## 6.6 Síla čar

U sledované soustavy V436 Per bylo již dříve (Hadrava 1997) pozorováno nejenom zeslabování sil čar (viz kapitola 4.1) zakrývané složky, ale také jejich zesilování. Tento na první pohled nepochopitelný jev lze snadno vysvětlit jako důsledek proměnnosti okrajového ztemnění v profilu spektrální čáry (Hadrava 1997). Ve fotosférách hvězd zpravidla klesá teplota s výškou, proto můžeme u hvězd v kontinuu pozorovat okrajové ztemnění. Zorný paprsek při okraji disku proniká jen do chladnějších vnějších vrstev atmosféry a pozorovaná specifická intenzita je tím pádem dána nižší vydatností těchto vrstev. V absorpčních čarách vidíme i ve středu hvězdného disku pouze do vyšších vnějších vrstev, takže okrajové ztemnění v čáře je daleko menší než v případě kontinua.



**Obrázek 6.12:** Závislost síly čar  $H\alpha$  a He I 6678 primární a sekundární složky (tzv. čárová fotometrie)

V případě, kterým je i zkoumaný systém V436 Per, dochází při zákrytu okrajovými částmi k úbytku podstatně větší poměrné části světla v čáře než v kontinuu, což má paradoxně za následek, že se tím čára relativně zesílí (viz obr. 6.12). U síly čar He I 6678 je před sekundárním minimem ve fázi 0,393 zřetelně viditelné jejich zesílení u zakrývané sekundární složky a zeslabení u složky primární, která je hvězdou zakrývající. Čáry zakrývající složky dvojhvězdy v průběhu zákrytu pak relativně zesílí vzhledem k zakrývané sekundární složce v důsledku postupného úbytku toku záření zakrývané složky k celkovému kontinuu soustavy.

U čáry  $H\alpha$  je na obrázku 6.12 vidět v sekundárním minimu daleko větší rozdíl mezi silami čar primární a sekundární složky, což je způsobeno tím, že v čáře  $H\alpha$ , která je silnější než čára He I 6678, se tento jev uplatní ve větším měřítku. Stejně jako u čáry He I 6678 je i u čáry  $H\alpha$  vidět před a po sekundárním minimu zesílení čar zakrývané a zeslabení čar zakrývající složky.

V případě, že se nějaký systém skládá z dvou téměř identických hvězd, je mnohdy obtížné říci, která složka je složkou primární, a která sekundární. Zcela to platí i o systému V436 Per. Závislost síly čar na orbitální fázi nám však dává do rukou velice silný nástroj, který obě složky jasně odliší, takže pak můžeme s jistotou říci, která složka je zakrývající, a která zakrývaná.

## 6.7 Simultánní řešení (fotometrie + RV)

Z naměřené světelné křivky můžeme určit nejen celou řadu orbitálních ale také fyzikálních parametrů systému. Mezi orbitální parametry patří např. perioda  $P$ , délka periastra  $\omega$ , excentricita  $e$ , sklon oběžné dráhy (tzv. inklinací úhel)  $i$ . Mezi fyzikálními parametry, které můžeme částečně odhadnout z fotometrické světelné křivky je poměr poloměrů složek k velké poloose orbitální dráhy  $\frac{R_{1,2}}{a}$  nebo poměr jasností  $\frac{I_1}{I_2}$  obou složek. Přidáme-li k fotometrickým datům i křivku radiálních rychlostí, jsme schopni určit i další fyzikální parametry systému (hmotnosti a poloměry složek). K simultánnímu řešení světelné křivky s křivkou radiálních rychlostí byl znovu použit program FOTEL.

Přestože jsou střední chyby určení radiálních rychlostí pro primární a sekundární složku pro čáru He I 6678 nepatrně větší, byly použity právě tyto hodnoty společně se všemi fotometrickými daty.

Srovnáme-li výsledky Harmance a kol. (Paper I) s výsledky z KORELU, zjistíme, že si obě složky vzájemně prohodily své role, tzn. že původně hmotnější a větší primár je méně hmotný a menší než sekundární složka. Kombinované řešení z FOTELu (viz tab. 9) nám dává dvě možná řešení, která se vzájemně odlišují pouze délkou periastra  $\Delta\omega = \pm 180^\circ$ . Zde přichází ke slovu právě síla spektrálních čar H $\alpha$  a He I 6678, z nichž jsme schopni jednoznačně obě složky od sebe odlišit.

V primárním minimu je tedy zakrývána menší (méně hmotná a chladnější) hvězda hvězdou větší (hmotnější a teplejší), přestože to obvykle bývá právě naopak. Primární minimum je důsledkem geometrie dráhy, která je silně excentrická. Primární zákryt nastává poblíž periastra, kdy je vzdálenost obou složek minimální, takže je při zákrytu zakryta větší část primární komponenty, než zakrytá část složky sekundární v sekundárním minimu, kdy je vzájemná vzdálenost složek maximální. Relativní rozdíl zakrytých ploch hvězd je důležitější při formování hloubek minim než malé rozdíly efektivních teplot a poloměrů obou hvězd.

## 6.8 Fyzikální parametry systému

Kombinované řešení světelné křivky společně s křivkou radiálních rychlostí nám přineslo informace o základních fyzikálních parametrech systému (viz tab. 10). Ze známých poloměrů a hmotností hvězd jsme schopni určit i velikosti povrchových zrychlení jako  $\log g$  [CGS] ze vztahu (Harmanec 1988)

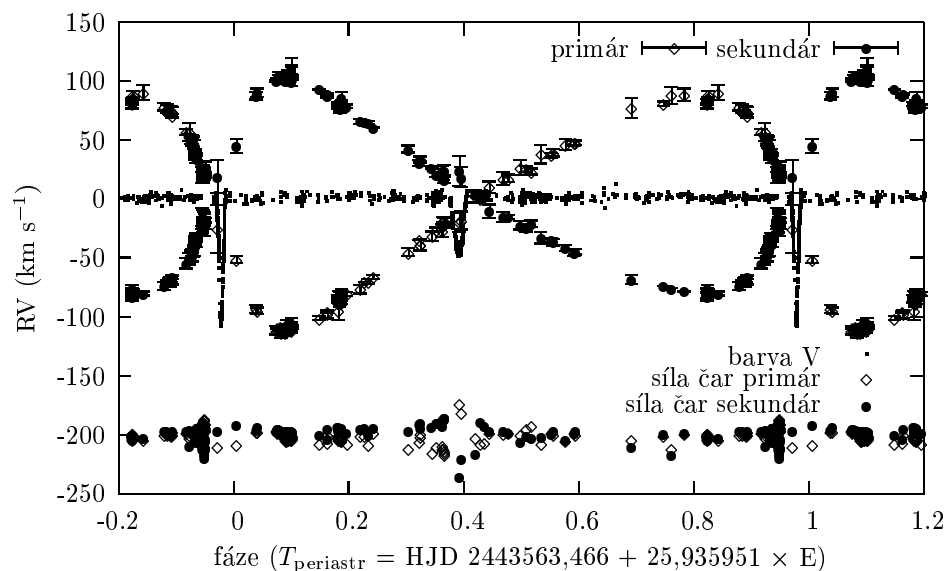
$$\log g = 4,438 + \log M/M_\odot - 2 \log R/R_\odot, \quad (6.4)$$

která potřebujeme znát, abychom mohli následně vypočítat vhodné syntetické spektrum a to pak porovnat se spektrem napozorovaným. Pro primární komponentu tak vychází  $\log g = 4,25$  a pro sekundární  $\log g = 4,14$ . Z postavení hvězd v H-R diagramu je zřejmé, že se jedná o hvězdy hlavní posloupnosti (viz obr. 6.15).

## 6.8 Fyzikální parametry systému

**Tabulka 9:** Kombinované řešení  $UBVy + RV$  světelné křivky za předpokladu fixované konstantní orbitální periody  $P = 25,935951$  d. Všechny epochy jsou v HJD-2400000.

Element	1. řešení	2. řešení
$T_{\text{periastr}}$	$43563,466 \pm 0,005$	$43563,464 \pm 0,007$
$T_{\text{prim.min}}$	43562,861	43573,577
$T_{\text{sek.min}}$	43573,577	43562,861
$e$	$0,3768 \pm 0,0014$	$0,3775 \pm 0,0019$
$\omega$ ( $^\circ$ )	$109,83 \pm 0,10$	$289,78 \pm 0,13$
$K_1$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	$97,4 \pm 0,1$	$91,2 \pm 0,1$
$K_2$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	$91,2 \pm 0,1$	$97,4 \pm 0,1$
$i$ ( $^\circ$ )	$88,048 \pm 0,002$	$88,050 \pm 0,002$
$r_1$	$0,03676 \pm 0,00024$	$0,04324 \pm 0,0005$
$r_2$	$0,04308 \pm 0,00050$	$0,03669 \pm 0,0018$
$L_1(U)$	0,409	0,591
$L_1(B)$	0,410	0,590
$L_1(V)$	0,412	0,588
rms ( $\text{km s}^{-1}$ )	2,92	2,92
rms (mag.)	0,0089	0,0090



**Obrázek 6.13:** Světelná křivka v barvě  $V$  společně s křivkou radiálních rychlostí a silou čar He I 6678 v závislosti na fázi

**Tabulka 10:** Základní fyzikální parametry V436 Per

Element	primár	sekundár
$M/M_{\odot}^*$	6,95	7,42
$R/R_{\odot}^*$	3,29	3,86
$\log g$ [CGS]	4,25	4,14
$T_{\text{eff}}$ (K)	21500	22000
$M_{\text{bol}}$ (mag.)	-3,60	-4,05
$M_V$ (mag.)	-1,37	-1,77
$v_{\text{obs}} \sin i$ (km s <sup>-1</sup> )**	115	140
$P_{\text{rot}}$ (d)	1,45	1,40

\*) na základě kombinovaného řešení RV a světelné křivky FOTELEM

\*\*\*) na základě rotačního rozšíření NLTE čárových profilů

## 6.9 Odčervenání

Z váhovaného fotometrického řešení světelné křivky jsem vypočítal hvězdné velikosti v barvách  $U$ ,  $B$  a  $V$  jako váhovanou střední hodnotu všech hvězdných velikostí pro jednotlivé barvy, které byly vypočítány FOTELEM.

V Johnsonově fotometrickém systému obvykle pro hvězdy hlavní posloupnosti, kterými v našem případě obě komponenty V436 Per jsou, lze zčervenání dobře určit. Podle článků (Johnson a Morgan 1953, Johnson 1958) můžeme pro horké hvězdy s teplotami nad 10 000 K definovat veličinu

$$Q = (U - B) - \frac{E(U - B)}{E(B - V)}(B - V), \quad (6.5)$$

která je na mezihvězdném zčervenání nezávislá. Veličina  $E(B - V)$  se nazývá zčervenání barevného indexu a je definována jako

$$E(B - V) = (B - V) - (B - V)_0 \quad (6.6)$$

a podobně pro  $E(U - B)$

$$E(U - B) = (U - B) - (U - B)_0. \quad (6.7)$$

Z hodnoty  $Q$  můžeme spočítat přímo nezčervenalou hodnotu barevného indexu  $(B - V)_0$  podle vztahu

$$(B - V)_0 = 0,332Q. \quad (6.8)$$

Současně lze definovat

$$\frac{E(U - B)}{E(B - V)} = 0,72 - 0,05E(B - V), \quad (6.9)$$



**Tabulka 11:** Pozorované *UBV* hvězdné velikosti V436 Per a odčervenale hvězdné velikosti a barevné indexy pro obě komponenty

barva	pozorovaná	primár	sekundár
<i>V</i>	5,5264 mag	6,3254 mag	5,9564 mag
<i>B</i>	5,3471 mag	6,0840 mag	5,7392 mag
<i>U</i>	4,5238 mag	5,2390 mag	4,8718 mag
<i>B – V</i>	-0,1793 mag	-0,2414 mag	-0,2172 mag
<i>U – B</i>	-0,8233 mag	-0,8450 mag	-0,8674 mag
<i>E(B – V)</i>	-	0,0294 mag	0,0667 mag
<i>E(U – B)</i>	-	0,0211 mag	0,0478 mag

neboť zčervenání v diagramu (*U – B*) v závislosti na (*B – V*) je přibližně přímka vyjádřená touto rovnicí. Kombinací rovnic 6.5, 6.8 a 6.9 pak získáme rovnici pro výpočet nezčervenaleho barevného indexu (*B – V*)<sub>0</sub>

$$(B - V)_0 = \frac{0,332(U - B) - 0,239(B - V) - 0,0166(B - V)^2}{1 - 0,0166(B - V)}. \quad (6.10)$$

Mezihvězdnou absorpci ve žluté barvě lze velmi dobře popsat jako

$$A_V = 3,2E(B - V), \quad (6.11)$$

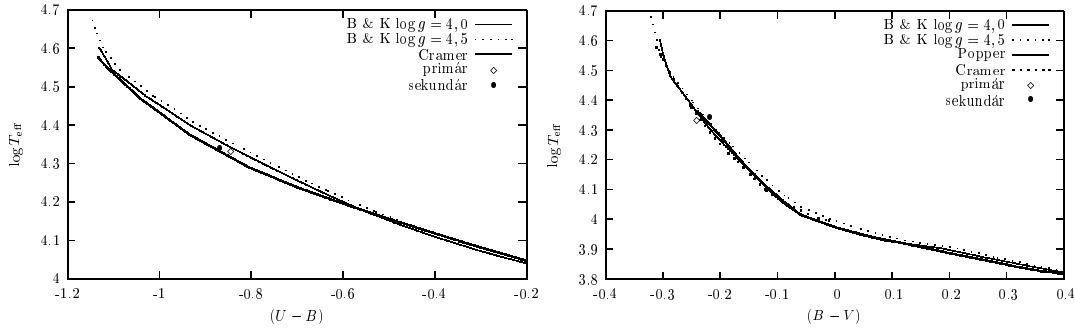
což společně s rovnicí 6.10 vede k výpočtu nezčervenale hvězdné velikosti v barvě *V*

$$V_0 = V - A_V. \quad (6.12)$$

V tabulce 11 jsou uvedeny pozorované hvězdné velikosti a barevné indexy V436 Per a odčervenale hvězdné velikosti, zčervenání a velikosti barevných indexů primární a sekundární složky.

## 6.10 Určení efektivních teplot

První určení efektivních teplot nám přineslo řešení světelné křivky programem BINSYN (viz kapitola 6.3). Abychom však mohli takto vypočítané hodnoty efektivních teplot primární a sekundární složky s něčím porovnat, z odčervenalých barevných indexů a závislosti mezi (*B – V*) a  $\log T_{\text{eff}}$  podle Poppera (1980) a Busera s Kuruczem (1978) jsem získal efektivní teplotu pro primární komponentu  $T_{\text{eff}} = (21\,500 \pm 250)$  K a pro komponentu sekundární  $T_{\text{eff}} = (22\,000 \pm 250)$  K (viz



**Obrázek 6.14:** Vlevo: závislosti logaritmu efektivní teploty na barevném indexu  $(U-B)$  (Buser a Kurucz 1978 a Cramer 1984) Vpravo: závislost logaritmu efektivní teploty na barevném indexu  $(V-B)$  (Buser a Kurucz 1978, Popper 1980 a Cramer 1984)

obr. 6.14), což je v dobré shodě s výsledky z BINSYNU. Tyto hodnoty také velmi dobře korespondují se spektrálním typem B2.

Dalším nezávislým zdrojem určení efektivních teplot jednotlivých složek bylo porovnání spočtených teoretických profilů s profily spektrálních čar, které byly rozpleteny KORELem (více v kapitole 6.14).

## 6.11 Vzdálenost V436 Per

Z měření astrometrické družice Hipparcos (Perryman a kol. 1997) byla určena vzdálenost V436 Per na  $d = (315 \pm 66)$  pc. Ze zjištěných efektivních teplot a odčervenalých hvězdných velikostí v barvě  $V$  jsem byl schopen provést nezávislé určení vzdálenosti systému. Ze vztahů

$$M_{\text{bol}} = 42,368 - 5 \log R/R_{\odot} - 10 \log T_{\text{eff}} \quad (6.13)$$

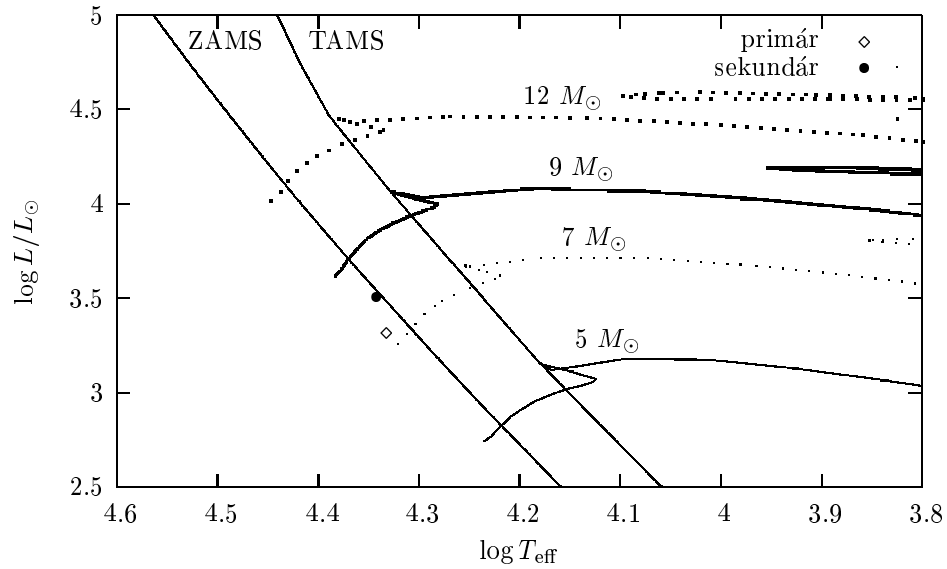
a

$$M_{\text{bol}} = M_V + BC, \quad (6.14)$$

kde  $M_V$  je absolutní hvězdná velikost v barvě  $V$  a  $BC$  je tzv. bolometrická korekce, která byla brána jako interpolace hodnot podle práce Codeho a kol. (1976). Pro primární komponentu vychází bolometrická korekce  $-2,18$  mag a pro sekundár  $-2,23$  mag (viz obr. 6.16). Tak jsem mohl ze vztahu pro modul vzdálenosti

$$M_V = V_0 + 5 - 5 \log d, \quad (6.15)$$

vypočítat vzdálenost V436 Per  $d = (340 \pm 15)$  pc.



**Obrázek 6.15:** Primární a sekundární složka v HR diagramu společně s naznačenou ZAMS, TAMS a vývojovými stopami hvězd s hmotnostmi 5, 7, 9 a 12  $M_{\odot}$

## 6.12 Určení poloměrů

Přesné určení paralax družicí Hipparcos (Perryman a kol. 1997) umožňují nezávislé určení poloměrů v případě, že jsme schopni získat správné hodnoty odčervenání v barvě  $V_0$ . Tento postup jsem u soustavy V436 Per mohl použít. Spojením vztahů 6.13, 6.14 společně s bolometrickou korekcí získáme rovnici

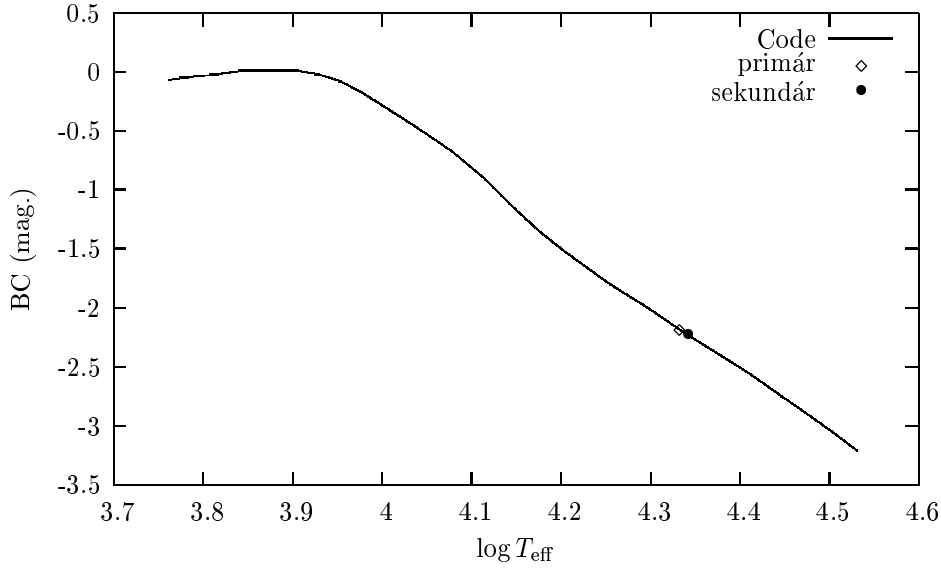
$$\log(R/R_{\odot}) = 7,474 - 2 \log T_{\text{eff}} - 0,2BC - 0,2V_0 + \log d. \quad (6.16)$$

Dosažením efektivních teplot, bolometrických korekcí a odčervenalých hvězdných velikostí primární a sekundární komponenty společně se vzdáleností, kterou změřila družice Hipparcos, získáme poloměry pro primární složku  $R_{\text{prim}} = 3,04 R_{\odot}$  a  $R_{\text{sek}} = 3,60 R_{\odot}$  pro sekundár, které jsou v dobré shodě s poloměry určenými z kombinovaného řešení fotometrické světelné křivky a RV (viz tab. 10).

## 6.13 Synchronizace systému

Systém V436 Per patří mezi ty, které mají výstřednou dráhu, což má za následek, že během oběhu hvězd se jejich úhlová oběžná rychlost silně mění. Největší hodnoty dosáhnou při průchodu periastrum, kdy dochází k největšímu silovému působení mezi složkami. Ze známých vztahů

$$P_{\text{krit}} = 0,1159 R \left(\frac{R}{M}\right)^{1/2} \quad (6.17)$$



**Obrázek 6.16:** Bolometrická korekce pro primární a sekundární složku podle Codeho a kol. (2000)

a

$$v_{\text{krit}} = 436,6 \left(\frac{M}{R}\right)^{1/2}, \quad (6.18)$$

kde  $R$  a  $M$  jsou v jednotkách Slunce, můžeme vypočítat kritické hodnoty periody a rychlosti rotace. Po dosazení pro primární složku ( $M = 6,95 M_{\odot}$ ,  $R = 3,28 R_{\odot}$ ) dostáváme kritickou rotační periodu rovnou  $P_{\text{krit}} = 0,26$  d a kritickou obvodovou rychlost  $v_{\text{krit}} = 636 \text{ km s}^{-1}$ . Pro sekundární složku ( $M = 7,42 M_{\odot}$ ,  $R = 3,87 R_{\odot}$ ) pak vychází kritické hodnoty  $0,32$  d a  $605 \text{ km s}^{-1}$ .

Jak dokázal Harmanec (1988), dochází u mnoha hvězd s výstřednou drahou k synchronizaci úhlových rotačních rychlostí jednotlivých složek s úhlovou oběžnou rychlostí právě v periastru. Pak lze obvodovou rotační rychlost, která by odpovídala synchronizaci složek, vypočítat podle vztahu

$$v_{\text{PS}} \sin i = \frac{(1+e)^{1/2}}{(1-e^2)^{3/2}} v_S \sin i, \quad (6.19)$$

kde

$$v_S = 50,602 \frac{R/R_{\odot}}{P}. \quad (6.20)$$

Pokud do vztahu dosadíme poloměr v poloměrech Slunce a periodu ve dnech, získáme obvodovou rotační rychlost v  $\text{km s}^{-1}$ . Ze vztahu 6.20 a rotačních rychlostí, které jsem získal porovnáním rozpletených spekter s teoreticky vypočítanými, můžeme vypočítat rotační periody jednotlivých složek. Pro primár vychází rotační

perioda  $P_{\text{rot}} = 1,44$  d a u sekundáru  $P_{\text{rot}} = 1,40$  d. Naproti tomu synchronizace v periastru by si vyžadovala, aby rotační periody obou hvězd byly 10,9 d.

Máme tak dvojhvězdný systém se dvěma téměř identickými hvězdami, které však rotují mnohem rychleji, než by odpovídalo synchronizaci. Jejich rotační rychlosti jsou téměř shodné, nejde-li přímo o identické rotační periody.

## 6.14 Syntetická spektra

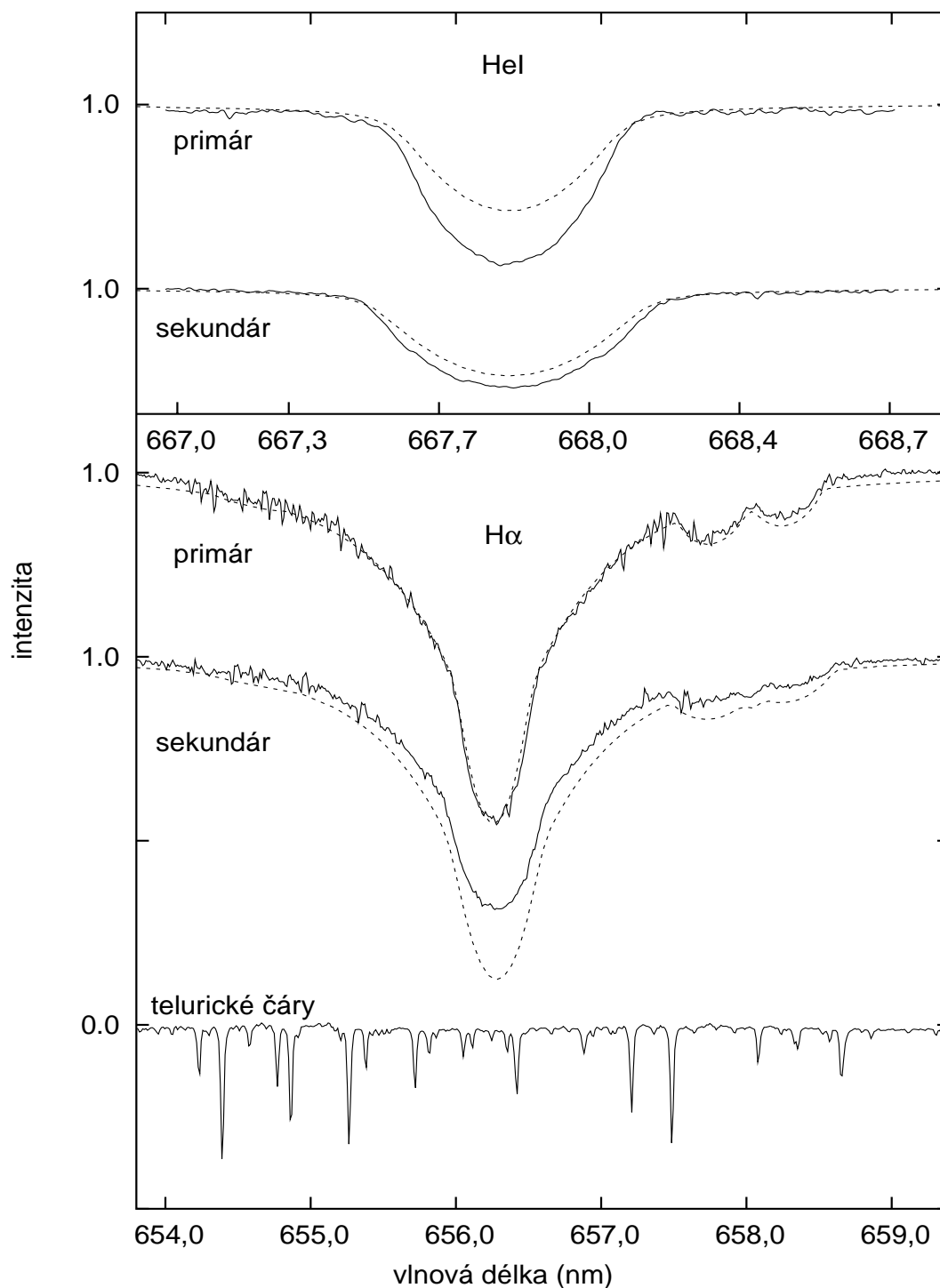
K ověření odhadu efektivních teplot primární a sekundární složky, které jsem získal z hodnot odčervenálních barevných indexů, byla použita teoretická syntetická spektra. Rozpletené spektrální čáry  $H\alpha$  a He I 6678 obou složek byly právě s nimi porovnávány.

Ivan Hubený na můj popud vypočítal nový model pro NLTE čárově zakrytou atmosféru svým programem TLUSTY (Hubeny 1988, Hubeny a Lanz 1995) a za přispění dalšího programu SYNSPEC (Hubeny a kol. 1994) pak následně vypočítal model záření atmosféry. Při výpočtech byla použita aproximace planparalelní vrstvy stejně jako předpoklad hydrostatické a zářivé rovnováhy. Modely byly počítány pro hodnoty  $\log g = 4,15$  a  $\log g = 4,25$ , které jsem vypočetl podle vztahu 6.4 a pro teploty v rozmezí  $T_{\text{eff}} = (18\,000 \text{ až } 24\,000)$  K. Tyto modely byly následně konvolovány pro rotační rychlosti  $v \sin i = 115$  a  $140 \text{ km s}^{-1}$ .

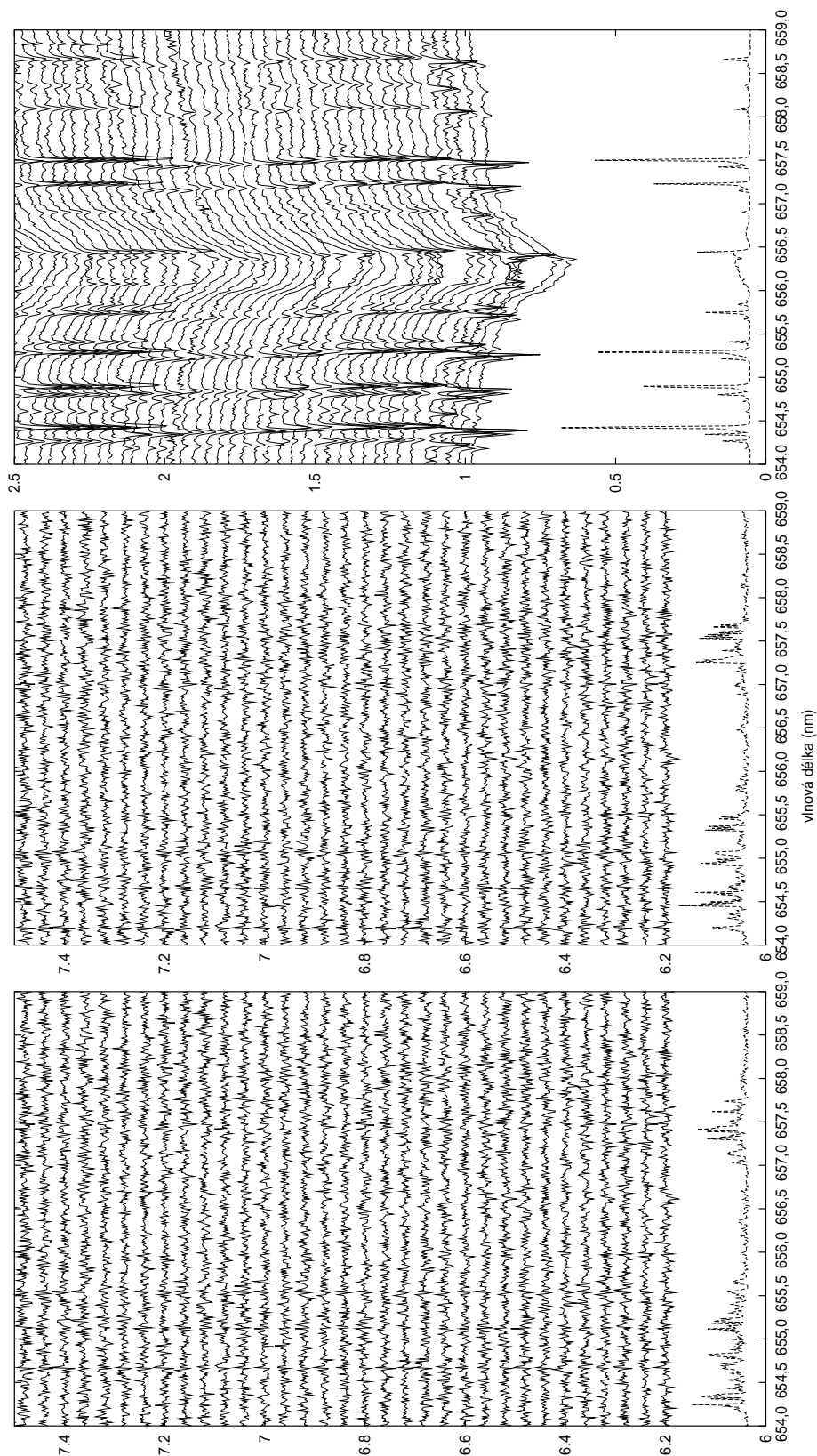
Srovnáním čárových profilů, které jsem získal rozpletením v KORELU, jsem tak mohl také určit velikost  $v \sin i$  pro obě hvězdy. Pozorované (rozpletené) a následně normované profily v programu KORNO a syntetické teoretické modely jsou na obrázku 6.17.

NLTE model atmosféry nejlépe odpovídá parametrům primární hvězdy s teplotou  $T_{\text{eff}} = 21\,500$  K,  $\log g = 4,25$  a rotační rychlostí  $v \sin i = 115 \text{ km s}^{-1}$ . Dekomponované spektrum sekundární složky se pak nejlépe shoduje se syntetickým spektrem pro teplotu  $T_{\text{eff}} = 22\,000$  K,  $\log g = 4,14$  a rotační rychlostí  $v \sin i = 140 \text{ km s}^{-1}$ .

Velice dobrou shodu jsem získal pro spektrální čáru  $H\alpha$  primární složky a uspokojivě dopadlo srovnání mezi čarami He I 6678 u sekundární složky. Velký problém však způsobil rozdíl v profilu čáry  $H\alpha$ , který se výrazněji odchyluje od vypočítaného modelu. Tento rozdíl se nepodařilo odstranit změnou efektivní teploty sekundární složky, neboť při její změně zase docházelo ke zvětšování rozdílu mezi dekomponovaným a teoretickým profilem spektrální čáry He I 6678 sekundární složky. Tuto disproporci si můžeme vysvětlit tak, že při normování dekomponovaných profilů vstupují do hry poměry světél, které jsou určeny z fotometrického řešení světelné křivky. A zde je problém. Přestože došlo ke zlepšení pokrytí sekundárního i primárního minima, bylo by žádoucí, aby v budoucnosti byla pořízena další fotometrická měření, protože pro přesnější určení poměrů světél je v tomto případě lepší pokrytí minim napozorovanými daty nutné.



**Obrázek 6.17:** Dekomponované čáry  $H\alpha$  a He I 6678 a jejich srovnání s nejlepším nařitováním pomocí teoreticky vypočítaných profilů (primár:  $T_{\text{eff}} = 21\,500$  K,  $\log g = 4,25$ ; sekundár:  $T_{\text{eff}} = 22\,000$  K,  $\log g = 4,14$ ). Rotační rychlosti, které odpovídají teoretickým profilům, jsou  $115 \text{ km s}^{-1}$  a  $140 \text{ km s}^{-1}$ . Nejspodnější křivka na obrázku přísluší střednímu spektru telurických čar.



**Obrázek 6.18:** Část rozdílových spekter škálovaných vzhledem k primáru a jejich TVS spektrum. Uprostřed: Část rozdílových spekter škálovaných vzhledem k sekundáru a jejich TVS spektrum. Vpravo: Část pozorovaných spekter V436 Per a jejich TVS spektrum, ve kterém jsou zřetelně viditelné změny telurických čar a také hroblek v jádru čáry  $H\alpha$ , který však není způsoben rychlými změnami profilu, ale změnami RV obou složek v důsledku jejich orbitálního pohybu

## 6.15 Hledání rychlých změn

Hlavním cílem práce bylo potvrzení či případné vyvrácení rychlých změn v profilu spektrálních čar, které bylo pozorováno Harmancem a kol. (1997). Při hledání těchto změn byly použity dvě metody: metoda diferenčních spekter (viz kapitola 6.15.1) a metoda „temporal variance spectrum“, což by se do češtiny dalo přeložit jako metoda „časově proměnného spektra“ (viz kapitola 6.15.2).

### 6.15.1 Diferenční spektra

Metoda diferenčních spekter (např. Walker a kol. 1982), je založena na rozdílu po sobě následujících spekter od jejich středního profilu. Rozdílová spektra jsou následně vykreslena do grafu, ve kterém se pak dají identifikovat rychlé změny.

Metoda byla aplikována na rozdílová spektra, která byla získána při dekompozici spektrálních čar  $H\alpha$  a  $He I 6678$ . Při výstupu z KORELU bylo možné, aby škála vlnových délek diferenčních spekter byla vztažena vzhledem k primární nebo sekundární složce. Při počítání jsem tak získal celkem 4 sady různých diferenčních spekter. Ani u jednoho z nich jsem však nenalezl při prohlížení náznaků nějakých rychlých změn. Příklad diferenčních spekter pro čáru  $H\alpha$  je na obr. 6.18.

### 6.15.2 Metoda TVS

Dřívější hledání rychlých změn v profilech čar bylo koncipováno obvykle na překreslování jednotlivých spekter (např. Conti a Frost 1977) nebo na metodě diferenčních spekter, které byla věnována předchozí kapitola. Je jednoduché rozeznat těmito procedurami rychlé změny, jestliže jsou změny profilu o hodně větší než šum a také velmi dobře rozmístěny v čase. Když tomu tak není, je detekce těchto změn tvrdým oříškem.

Proto byla vymyšlena nová detekční technika, které se říká „temporal variance spectrum“ (dále TVS, Fullerton 1996). Tato metoda srovnává odchylky pozorované ve spektrech vzhledem ke kontinuu statistickou cestou. Když jsou odchylky ve spektrální čáře větší než odchylky, které očekáváme na základě rozptylu v kontinuu, pak je možná detekce s určitou statistickou hladinou pravděpodobnosti. Na druhou stranu, jsou-li pozorované odchylky menší než očekávané, tzn. amplitudy změn jsou menší nebo špatně umístěny v čase, pak je metoda TVS schopna určit horní meze, kdy je ještě možné tyto změny spolehlivě nalézt.

TVS metoda závisí na znalosti základního statistického rozdělení spektrálních odchylek v případě absence skutečných rychlých změn. Jestliže máme časovou sérii  $N$  redukovaných spekter, která si převedeme do matice  $S$ , ve které element  $S_{ij}$  reprezentuje  $j$ -tý bod vlnové délky  $i$ -tého spektra, pak odchylky ve všech vlnových délkách mohou být kvantifikovány vzniklou maticí rozdílových spekter

$$d_{ij} = S_{ij} - \bar{s}_j, \quad (6.21)$$



kde

$$\bar{s}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_{ij} \quad (6.22)$$

reprezentuje střední hodnotu pixelu  $j$  v časové sérii. Předpokládá se, že jednotlivé hodnoty  $d_{ij}$  mají Gaussovo rozdělení. To je velice dobrý předpoklad, který pro dnešní moderní detektory platí (Fullerton 1996).

Pro tuto chvíli předpokládejme, že rozptyl reprezentovaný elementy rozdílové matice je nezávislý na vlnové délce a čase, tj.  $\sigma_{ij} = \sigma$ . Když je pro  $j$ -tý pixel definováno

$$TVS_j = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N d_{ij}^2, \quad (6.23)$$

pak statistické rozdělení  $TVS_j$  se řídí redukovaným rozdělením chí kvadrát s  $N-1$  stupni volnosti a je škálováno s odchylkou  $\sigma^2$ .

Metodu jsem odzkoušel na příkladu známé hvězdy  $\epsilon$  Per<sup>2</sup>, u které jsou rychlé změny v profilu čáry známy již dávno (Smith, Fullerton a Percy 1987). Na obrázku 6.19 je vykreslené TVS spektrum společně s průměrným spektrem hvězdy. Změny v profilu spektrální čáry jsou zřetelně viditelné.

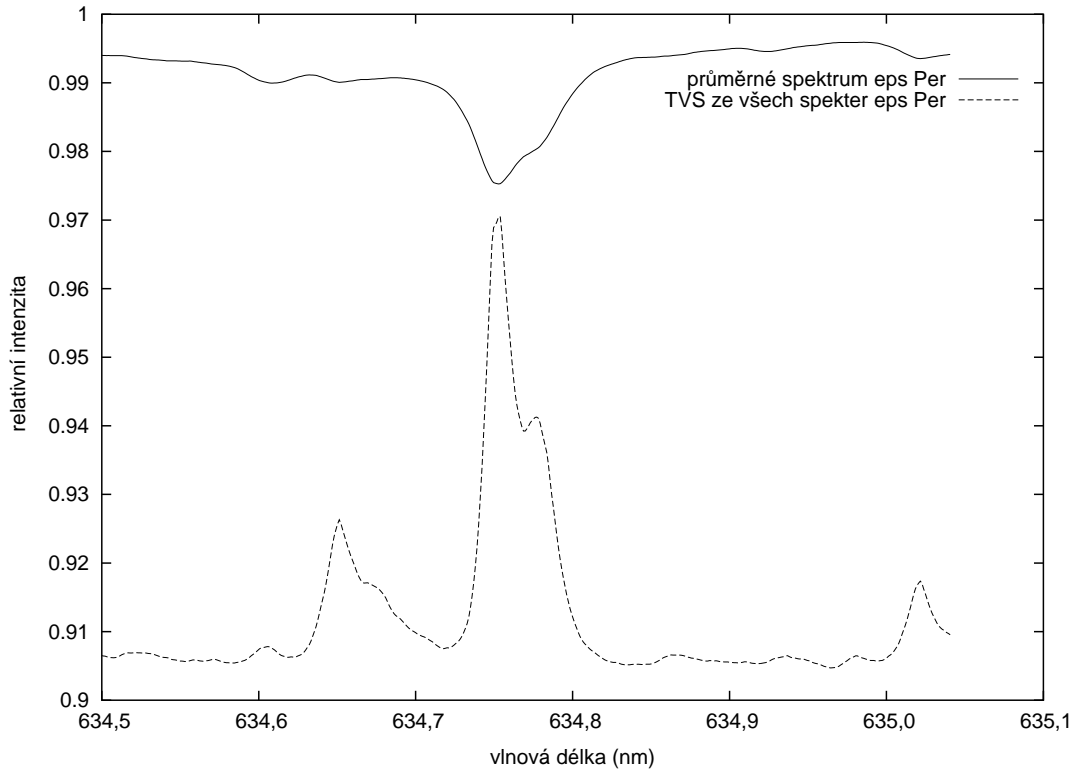
Hledání rychlých změn jsem metodou TVS prováděl na pěti nocích z TLS. Spektra z této observatoře mají nejmenší disperzi, srovnáme-li ji s disperzí spekter z DAO, která je  $10 \text{ \AA mm}^{-1}$  nebo s Ondřejovem, kde je disperze rovna  $17,2 \text{ \AA mm}^{-1}$ , pak mají spektra z TLS třikrát respektive pětkrát lepší disperzi. Další výhodou pro hledání změn v profilech čar právě u spekter z TLS byla ta skutečnost, že během jednotlivých nocí bylo napozorováno velké množství spekter. Pro srovnání, nejdelší série spekter z DAO pro jednu noc obsahuje „pouze“ sedm spekter, zatímco nejdelší série z TLS má 53 spektroskopických pozorování.

Pro jednotlivé noci jsem tedy vypočítal průměrné a TVS spektrum pro obě spektrální oblasti ( $H\alpha$  a He I 6678). Stejně jako v případě metody diferenčních spekter jsem nenalezl ani u jedné z prověřovaných nocí žádné rychlé změny v profilu spektrální čáry. Na obrázku 6.20 je takto zobrazeno průměrné a TVS spektrum pro noc HJD = 2451450.

Metoda TVS byla také aplikována při hledání změn v diferenčních spektrech z KORELu (viz obr. 6.18). TVS metoda potvrdila první zjištění, že ani u jednoho řešení diferenčních spekter pro čáry  $H\alpha$  a He I 6678 nejsou přítomny rychlé změny profilu.

---

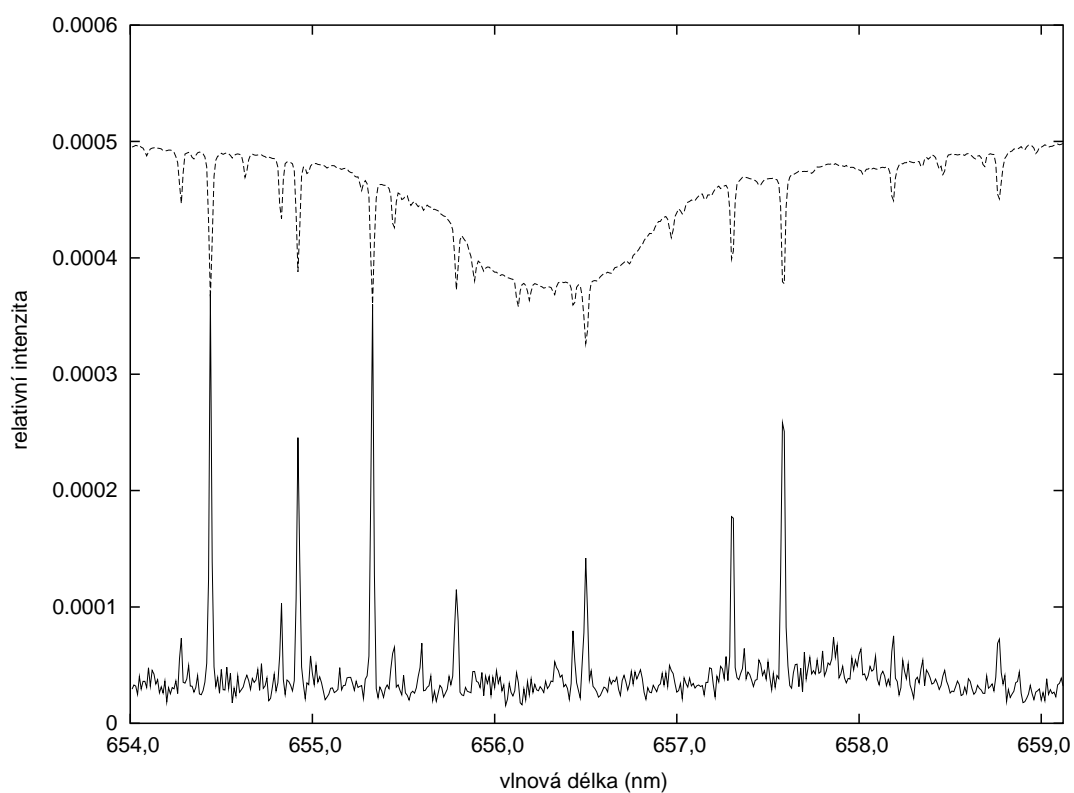
<sup>2</sup>Na tomto místě bych rád poděkoval Janu Libichovi za poskytnutí pozorovacího materiálu, na kterém jsem TVS metodu mohl odzkoušet.



**Obrázek 6.19:** Průměrné a TVS spektrum hvězdy  $\epsilon$  Per, na kterém je zřetelně viditelný efekt rychlých změn profilu

**Tabulka 12:** Seznam spekter z TLS

Epocha (HJD-2400000)	počet pozorování
51245.2405 - 51245.3851	42
51443.4225 - 51443.4785	17
51446.2506 - 51446.3414	27
51450.3511 - 51450.6635	53
51472.5393 - 51472.6586	35



**Obrázek 6.20:** Dole je TVS spektrum čáry  $H\alpha$  pro sérii spekter z noci mezi HJD 2451450,3511 a HJD 2451450,6635. Nahoře je střední profil spektrální čáry  $H\alpha$  s blízkým okolím, ve kterém je celá řada telurických čar. V TVS spektru jsou viditelné pouze změny v telurických čarách, které souvisí s rotací Země (změna intenzity telurických čar v závislosti na výšce pozorovaného objektu nad obzorem).

## ZÁVĚR

Dvojhvězdný systém V436 Per je po astrofyzikální stránce velice zajímavým objektem, který se skládá z dvou téměř identických hvězd, jejichž trajektorie má velkou excentricitu.

Zpracováním nových fotometrických pozorování v barvách fotometrického systému *UBV* společně s dříve publikovanými měřeními byla vypočítána programem FOTEL světelná křivka systému. Byly upřesněny základní orbitální parametry jako perioda, čas průchod periastrum, délka výstupního uzlu atp. Také byla prověřena možnost výskytu stáčení přímky apsid v systému, která se však z napozorovaných dat nedala prokázat.

V práci bylo použito také velké množství spektroskopických pozorování (většinou nových, nepublikovaných). Aby bylo možné takové množství najednou vyhodnotit, bylo potřeba upravit program KOREL, který dokáže rozplést silně blendovaná spektra až na jednotlivé složky. Dekomponováním spekter byla také zjištěna křivka radiálních rychlostí a určeny další parametry systému (např. poměr hmot).

Spojením fotometrických a spektroskopických pozorování jsem mohl vypočítat opět s pomocí programu FOTEL simultánní řešení, ze kterého jsem získal informace o fyzikálních parametrech hvězd. Velkým překvapením bylo zjištění, že v primárním minimu je zakrývána menší a chladnější složka, což nebývá obvyklé. Tento paradox je důsledkem velké výstřednosti dráhy a její prostorové orientace. V době primárního minima jsou hvězdy poblíž periastra a jejich vzdálenost je minimální. Relativní rozdíl zakrytých ploch hvězd v periastru a apoastru má větší vliv na hloubku minim než malé rozdíly v efektivních teplotách a poloměrech hvězd.

Řešením světelné křivky jsem také získal barevné indexy obou složek. Jejich následným odčervenáním a porovnáním se závislostí barevného indexu na  $\log T_{\text{eff}}$

---

podle Poppera (1980) a Busera s Kuruczem (1978) jsem získal efektivní teploty obou složek. Ze známých fyzikálních parametrů pak byla určena vzdálenost V436 Per, která byla porovnána s hodnotou určenou na základě pozorování družice Hipparcos.

Obě hvězdy leží na hlavní posloupnosti HR diagramu, jejich poloměry, hmotnosti, a efektivní teploty odpovídají stejně jako dekomponovaná spektra hvězdám spektrálního typu B2.

Dekomponovaná spektra posloužila také ke srovnání s teoreticky vypočítanými modely Dr. Ivana Hubeného, který je pro zjištěná gravitační zrychlení složek namodeloval. Velmi dobré shody bylo dosaženo při srovnání čáry  $H\alpha$  primární složky a uspokojivě dopadla také héliová čára He I 6678 sekundární složky. Jistá disproporce, která nebyla dořešena, zůstává u čáry  $H\alpha$  sekundární složky. Při hledání optimální shody dekomponovaných a syntetických spekter byl rovněž učiněn pokus, kdy se uměle měnil poměr světél. Tento pokus bohužel nevedl k lepší shodě.

Hlavním cílem práce bylo potvrzení či případné vyvrácení rychlých změn v profilu čáry, které byly u této soustavy pozorovány. K tomuto účelu posloužily dvě metody. První byla metoda diferenčních spekter, druhou TVS metoda, která byla použita také i na vlastní diferenční spektra. Ani jednou z uvedených metod se přítomnost rychlých změn nepotvrdila. S ohledem na zjištěné skutečnosti nelze jednoznačně tvrdit, že silně excentrická dráha dvojhvězdy stačí k excitaci vynucených oscilací. Ke vzniku vynucených oscilací tak bude třeba ještě splnění dalších podmínek, které v tomto případě splněny nejsou.

Porovnáme-li zjištěné parametry systému V436 Per s dvojhvězdami ( $\beta$  Sco A: Holmgren a kol. 1997, AR Cas: Holmgren a kol. 1999,  $\eta$  Ori: De Mey a kol. 1996, Spica: Smith 1985, EN Lac: Lehmann a kol. 2001, Aertsová a kol. 2003,  $\lambda$  Sco: De Mey a kol. 1997 a  $\epsilon$  Per : Tarasov a kol. 1995), u kterých byla rychlá změna v profilech čar pozorována (viz tab. 13), zjistíme významné rozdíly v rotačních rychlostech hvězd pro jednotlivé systémy. Zatímco u V436 Per jsou rotační rychlosti obou složek téměř identické a výrazně větší, než by odpovídalo synchronní rotaci (7,5 krát), u ostatních systémů rotuje jedna hvězda rychleji a druhá pak synchronně (či subsynchronně). U systémů AR Cas,  $\eta$  Ori a Spicy jsou pak v rezonančním poměru 3:1, 4:1 a 2:1 periody rotace primární složky k orbitální periodě. Poměr 4:1 je taktéž u systému  $\lambda$  Sco. Podle prací Tassoula (1987 a 1988) by účinným mechanismem pro synchronizaci a cirkularizaci mohly být právě vynucené oscilace. Proč se je však v systému V436 Per nepodařilo napozorovat by tak mohla objasnit příliš rychlá rotace složek, která nasvědčuje tomu, že dosud v systému k významnému přenosu momentu hybnosti nedošlo.

**Tabulka 13:** Srovnání V436 Per a systémů, u kterých byla změna v profilu čáry pozorována

	V436 Per		$\beta$ Sco A		AR Cas		$\eta$ Ori	
$P$ [d]	25,935951 $\pm$ 0,000003		6,828245 $\pm$ 0,000001		6,066380 $\pm$ 0,000005		7,989255 $\pm$ 0,000005	
$e$	0,377 $\pm$ 0,001		0,291 $\pm$ 0,006		0,240		0,011	
$i$	88,1 $\pm$ 0,1		111,8 $\pm$ 0,7		85,3 $\pm$ 0,5		85,0	
$P_{\text{synch.rot}}$ [d]	10,9		3,6		3,6		7,8	
	primár	sekundár	primár	sekundár	primár	sekundár	primár	sekundár
$m$ [ $M_{\odot}$ ]	7,0 $\pm$ 0,2	7,4 $\pm$ 0,2	13,5 $\pm$ 0,9	9,6 $\pm$ 0,4	5,9 $\pm$ 0,2	1,9 $\pm$ 0,1	11,0 $\pm$ 0,5	10,6 $\pm$ 0,7
$R$ [ $R_{\odot}$ ]	3,3 $\pm$ 0,2	3,9 $\pm$ 0,4	6,8 $\pm$ 0,4	4,2 $\pm$ 0,3	5,1 $\pm$ 0,1	1,6 $\pm$ 0,1	6,3 $\pm$ 0,6	5,2 $\pm$ 0,4
$T_{\text{eff}}$ [K]	21 500	22 000	28 000	26 400	17 200	8 150	26 600	26 600
$v \sin i$ [km s $^{-1}$ ]	115	140	90	135	120	13	20	130
$P_{\text{rot}}$ [d]	1,45	1,40	4,11	1,69	2,13	6,24	16,0	2,03

	Spica		EN Lac		$\lambda$ Sco		$\epsilon$ Per	
$P$ [d]	4,01454 $\pm$ 0,00003		12,096864 $\pm$ 0,000011		5,959		14,075897 $\pm$ 0,000064	
$e$	0,146		0,0539 $\pm$ 0,0026		0,29 $\pm$ 0,04		0,540 $\pm$ 0,045	
$i$	65,9 $\pm$ 1,8		83,3 $\pm$ 0,8		39,0		pro 90,0	
$P_{\text{synch.rot}}$ [d]	3,0		10,8		2,9		3,5	
	primár	sekundár	primár	sekundár	primár	sekundár	primár	sekundár
$M$ [ $M_{\odot}$ ]	10,8	6,8	9,7	1,25	10,5	-	13,5 $\pm$ 2,0	1,05
$R$ [ $R_{\odot}$ ]	8,0 $\pm$ 0,2	4,4 $\pm$ 0,7	6,3 $\pm$ 0,3	1,2 $\pm$ 0,3	7,0 $\pm$ 1,0	-	6,9 $\pm$ 0,2	1,2
$T_{\text{eff}}$ [K]	24 000	17 000	22 000	-	23 500	-	27 600	-
$v \sin i$ [km s $^{-1}$ ]	160	70	30	-	145	-	150	-
$P_{\text{rot}}$ [d]	2,3	2,9	10,6	-	1,47	-	2,32	-

---

Práce přinesla celou řadu zajímavých zjištění. Ukázalo se, jak silným nezávislým důkazem mohou být právě síly čar v případech, kdy jsou si hvězdy natolik podobné, že čistě z fotometrie a následného řešení světelné křivky nelze rozhodnout, která hvězda je která.

Jiným zajímavým podnětem pro další studium se ukazují oblasti minim, kdy dochází u síly spektrálních čar k jejich zesilování či zeslabování. Kdybychom mohli získat spektra s dostatečně dobrým časovým rozlišením právě v okolí minim, mohli bychom z určených sil čar a rozmotaných spekter zkoumat profil atmosfér obou hvězd a ten pak porovnávat s teoretickými modely.

V budoucnu by bylo dobré pořídit spektrogramy nejenom v červené oblasti, která je na čáry chudší, ale i v oblasti modré, kde je čar o poznání více a s jejichž pomocí by se pak dala určit efektivní teplota lépe.

## DODATKY

V následujících dvou tabulkách jsou obsaženy hodnoty a chyby radiálních rychlostí primární a sekundární složky získané z dekompozice spektrálních čar He I 6678 a  $H\alpha$ . První tabulka kromě toho ještě obsahuje informace o hodnotách heliocentrických a atmosférických korekcí, o které byla spektra opravena. Ve druhé tabulce lze pro změnu nalézt hodnoty a chyby radiálních rychlostí získaných dekompozicí telurických čar, které byly blendovány společně s čarami  $H\alpha$  primární a sekundární složky. V tabulkách jsou také uvedeny hodnoty sil všech čar. Spektra s názvy začínajícími 1P jsou z DAO, 1O z Ondřejova a začáteční kombinace 1L přísluší spektrům z TLS.



**Tabulka 14:** RV a síly čar z KORELU pro čáru He I 6678 a hodnoty korekcí všech spekter

číslo spektra	T	hel.kor.	atm.kor.	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>
1P00287	49744,6420	-22,69	,61	-38,92	-5,11	-0,03556	31,53	-0,09	0,20885
1P00288	49744,6632	-22,71	,84	-38,91	-5,38	0,01858	34,20	2,84	0,12018
1P04263	49816,6703	-11,56	-4,09	-109,51	0,16	0,00420	111,14	8,59	0,05049
1P05443	49844,7253	-1,11	,30	-94,76	-8,41	-0,04533	80,63	-0,11	0,09533
1P05591	49845,7039	-,75	,74	-76,37	-4,46	-0,01654	66,20	-1,03	0,09989
1P08483	49927,9616	22,01	,30	-19,70	-8,43	0,52639	23,91	13,38	-0,71354
1P08827	49928,9203	22,12	,55	0,07	-0,09	-0,15013	1,61	1,76	0,21991
1P09296	49929,9467	22,17	1,24	17,68	5,82	0,02443	-14,94	-3,85	0,07084
1P09682	49930,9880	22,19	,49	25,78	2,55	0,10619	-24,51	-2,79	-0,01648
1P10343	49947,9756	22,28	,74	-97,60	-4,28	0,00450	89,23	1,96	0,10498
1P10662	49950,0235	22,12	,67	-65,83	-2,43	0,02619	60,66	1,38	0,11850
1P12720	49978,0157	17,96	,21	-35,00	-0,52	-0,11297	30,50	-1,74	0,17800
1P13003	49978,8098	17,99	-,38	-25,82	-1,75	-0,20739	20,83	-1,69	0,19994
1P13415	49979,9180	17,62	,05	-18,07	-7,82	0,37684	18,49	8,91	-0,41758
1P13778	49980,9779	17,30	-,08	4,60	2,29	-0,13292	1,64	3,80	0,16629
1P14161	49983,9786	16,53	,58	37,05	2,11	0,02895	-34,54	-1,87	0,01498
1P14492	49984,9971	16,24	1,13	47,60	2,46	0,03496	-45,27	-3,06	0,02796
1P15579	50033,0856	-,73	,17	10,10	5,07	0,03827	-10,06	-5,36	0,06218
1P16021	50040,9156	-3,84	,19	80,89	1,58	-0,00685	-73,52	0,64	0,01589
1P16497	50041,8440	-4,15	-,53	88,53	4,50	0,02174	-78,00	0,58	0,04615
1P13493	50056,8651	-9,95	,83	-26,62	-5,70	-0,18792	24,07	4,51	0,14918
1P13540	50056,9055	-9,99	1,96	-20,14	0,27	-0,24388	18,07	-1,02	0,25855
1P13541	50056,9248	-10,00	,90	-17,87	2,29	-0,24233	17,86	-0,99	0,26313
1P13542	50056,9422	-10,01	-,36	-18,01	1,94	-0,27404	16,35	-2,30	0,27493
1P13543	50056,9596	-10,02	-1,39	-22,05	-2,32	-0,30020	19,60	1,16	0,29694
1P13544	50056,9692	-10,02	-,53	-21,13	-1,53	-0,34982	24,06	5,73	0,28705
1P00690	50137,6661	-22,24	,32	17,76	3,32	0,04721	-15,23	-1,74	0,03848
1P01149	50138,6880	-22,12	,75	23,40	-2,10	0,14696	-20,86	2,98	-0,05323

**Tabulka 14:** pokračování

číslo spektra	T	hel.kor.	atm.kor.	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>
1P01665	50139,6982	-22,00	,23	39,56	3,56	0,01308	-36,43	-2,77	0,06057
1P02013	50140,6808	-21,86	,79	47,86	2,05	0,01262	-44,93	-2,09	0,07504
1P14013	51038,9446	22,47	,57	-70,19	-1,06	-0,01138	65,71	1,07	0,11740
1P16940	51085,9117	14,87	,70	-93,08	-0,44	0,05168	87,67	1,05	0,09007
1P16970	51085,9883	14,77	,64	-94,63	0,19	0,05471	90,09	1,43	0,12833
1P17309	51086,8275	14,69	1,47	-111,19	-2,34	0,07168	100,28	-1,50	0,07010
1P17325	51086,8755	14,63	,67	-109,17	0,00	0,04362	102,08	0,00	0,09788
1P17343	51086,9339	14,55	,08	-111,83	-2,34	0,04940	103,38	0,99	0,09110
1P17372	51086,9862	14,48	,33	-110,00	-0,26	0,04710	104,88	2,27	0,07021
1P17388	51087,0289	14,43	,49	-109,00	0,90	0,05002	105,06	2,30	0,05703
1P17407	51087,0588	14,40	,34	-113,38	-3,39	0,06665	102,74	-0,11	0,06600
1P19191	51107,7201	7,75	-,49	78,32	2,33	0,00385	-73,61	-2,55	0,06602
1P19291	51107,8487	7,57	-,15	76,71	2,70	0,01444	-70,11	-0,90	0,06528
1P19337	51107,9294	7,46	-,64	73,91	1,25	0,04426	-69,97	-2,03	0,01808
1P19366	51107,9724	7,40	-,36	75,08	3,20	0,01746	-70,28	-3,06	0,04541
1P19386	51108,0149	7,36	-,53	74,67	3,57	-0,00687	-68,11	-1,62	0,05118
1P19406	51108,0496	7,34	-,41	70,91	0,47	0,00111	-68,82	-2,95	0,06352
1P19410	51108,0771	7,33	-,74	73,53	3,62	0,05139	-66,00	-0,64	0,02274
1P19627	51108,7042	7,39	-,77	56,81	2,75	0,02702	-54,58	-4,03	0,07982
1P19731	51108,8581	7,18	-,42	52,27	3,24	-0,00437	-49,98	-4,14	0,08675
1P19794	51108,9300	7,08	-,39	49,74	3,23	0,02807	-47,84	-4,36	0,05733
1P19797	51108,9483	7,06	-,65	50,10	4,25	0,04310	-47,99	-5,12	0,04105
1P19810	51108,9776	7,02	-,72	48,07	3,29	0,03932	-45,16	-3,29	0,03695
1P19840	51109,0259	6,98	-,83	48,14	5,16	0,04043	-44,71	-4,52	0,03946
1P19854	51109,0526	6,96	-,30	46,44	4,48	0,03275	-43,92	-4,68	0,02294
1O03560	49327,3429	-10,17	3,49	-69,50	-2,89	-0,17761	64,64	2,36	0,01008
1O03615	49351,4227	-17,91	5,40	-95,35	-1,67	-0,12948	87,54	-0,06	-0,06192
1O06047	49619,4855	16,44	2,85	26,87	6,55	0,01175	-22,26	-3,26	-0,12539

Tabulka 14: pokračování

číslo spektra	T	hel.kor.	atm.kor.	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>
1O07027	49672,2551	-2,22	2,49	38,11	8,25	-0,14519	-32,71	-4,79	-0,03223
1O07112	49688,2518	-8,48	2,16	-100,93	-2,79	-0,15163	92,94	1,17	0,00142
1O07203	49693,2989	-10,40	2,83	-31,27	-4,42	-0,30075	26,94	1,83	0,13234
1O07256	49695,2575	-11,07	4,74	2,62	5,26	-0,04221	4,52	2,05	-0,33191
1O07303	49702,3178	-13,55	3,61	77,27	8,36	-0,08005	-68,03	-3,60	-0,19797
1O07508	49761,4195	-23,09	5,16	-25,35	-17,57	-0,19716	19,12	11,84	0,07526
1O07572	49767,2677	-22,71	4,23	-80,55	0,68	-0,14751	78,78	2,83	0,03618
1O09538	50017,4404	5,56	3,39	90,33	5,72	-0,08792	-79,78	-0,66	-0,04735
1O09727	50081,2656	-17,61	-1,89	-45,09	-3,92	-0,24536	42,36	3,86	0,07229
1O09781	50097,3604	-21,20	,66	56,87	8,00	-0,04288	-50,91	-5,21	-0,19008
1O09946	50114,3047	-23,01	,77	46,27	4,81	-0,10214	-41,37	-2,60	-0,07818
1O10181	50151,3586	-20,06	3,67	-50,95	6,51	-0,16501	44,80	-8,93	0,16804
1O11620	50326,5583	21,09	1,34	88,12	6,79	-0,22430	-75,47	0,57	-0,34878
1L00211	51245,2405	-20,41	-30,45	-84,36	2,37	-0,05637	80,63	-0,46	0,12782
1L00212	51245,2440	-20,41	-30,67	-85,68	1,00	-0,05964	79,41	-1,64	0,12936
1L00213	51245,2476	-20,41	-30,59	-86,91	-0,29	-0,05180	79,23	-1,77	0,11993
1L00214	51245,2511	-20,41	-30,66	-87,68	-1,10	-0,08807	81,11	0,16	0,09504
1L00215	51245,2547	-20,41	-30,75	-85,41	1,11	-0,01562	81,15	0,25	0,06082
1L00216	51245,2582	-20,42	-30,73	-85,73	0,74	-0,01992	81,16	0,31	0,12022
1L00217	51245,2617	-20,42	-30,77	-87,16	-0,74	-0,05033	80,88	0,07	0,11923
1L00218	51245,2653	-20,42	-30,67	-87,55	-1,18	-0,05541	79,55	-1,21	0,10092
1L00219	51245,2688	-20,42	-30,59	-86,59	-0,27	-0,03148	80,80	0,09	0,10813
1L00220	51245,2723	-20,42	-30,73	-87,35	-1,08	-0,05752	81,38	0,71	0,10282
1L00221	51245,2759	-20,42	-30,65	-83,95	2,26	-0,04711	79,30	-1,31	0,07149
1L00222	51245,2794	-20,42	-30,66	-85,30	0,86	-0,03882	81,37	0,80	0,05387
1L00223	51245,2829	-20,42	-30,27	-86,92	-0,80	-0,08206	81,83	1,31	0,10090
1L00224	51245,2865	-20,42	-30,20	-85,54	0,52	-0,04592	79,18	-1,30	0,04746
1L00225	51245,2900	-20,42	-30,25	-82,40	3,61	-0,00625	81,26	0,83	0,09209

**Tabulka 14:** pokračování

číslo spektra	T	hel.kor.	atm.kor.	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>
1L00226	51245,2935	-20,42	-30,22	-82,78	3,18	-0,03421	79,37	-1,00	0,09251
1L00227	51245,2969	-20,42	-30,23	-86,97	-1,06	-0,01773	81,62	1,29	0,07757
1L00228	51245,3004	-20,42	-30,35	-83,76	2,10	-0,09285	81,41	1,12	0,11509
1L00229	51245,3039	-20,42	-30,45	-86,02	-0,21	-0,08014	78,48	-1,76	0,07246
1L00230	51245,3075	-20,42	-30,52	-88,92	-3,16	-0,07636	77,81	-2,38	0,10655
1L00231	51245,3110	-20,42	-30,60	-83,87	1,84	-0,04688	78,43	-1,71	0,07173
1L00232	51245,3145	-20,42	-30,70	-85,74	-0,08	-0,02650	78,99	-1,11	0,08225
1L00233	51245,3180	-20,42	-30,66	-85,37	0,24	-0,06861	79,94	-0,10	0,09113
1L00234	51245,3215	-20,42	-30,61	-85,81	-0,25	-0,05176	78,43	-1,56	0,06728
1L00235	51245,3250	-20,42	-30,71	-85,66	-0,15	-0,06763	78,28	-1,67	0,11266
1L00236	51245,3285	-20,42	-30,66	-85,72	-0,26	-0,02438	81,12	1,22	0,09958
1L00237	51245,3321	-20,42	-30,68	-84,92	0,48	-0,02414	77,99	-1,87	0,06887
1L00238	51245,3356	-20,42	-30,41	-84,05	1,30	-0,03036	76,96	-2,84	0,06353
1L00239	51245,3392	-20,42	-30,36	-87,99	-2,69	-0,01570	78,35	-1,40	0,05075
1L00240	51245,3427	-20,42	-30,29	-83,90	1,35	-0,04536	79,12	-0,59	0,10673
1L00241	51245,3462	-20,42	-30,35	-85,10	0,10	-0,07430	80,14	0,48	0,09965
1L00242	51245,3497	-20,41	-30,17	-83,74	1,40	-0,04939	79,07	-0,54	0,10148
1L00243	51245,3533	-20,41	-30,26	-83,55	1,54	-0,04948	80,69	1,12	0,04542
1L00244	51245,3568	-20,41	-30,24	-87,38	-2,34	-0,02978	79,45	-0,07	0,07416
1L00245	51245,3603	-20,41	-30,45	-83,70	1,29	-0,10000	78,93	-0,54	0,11087
1L00246	51245,3639	-20,41	-30,33	-85,73	-0,80	-0,01624	77,46	-1,96	0,11901
1L00247	51245,3674	-20,41	-30,70	-86,16	-1,27	-0,03246	79,03	-0,34	0,07522
1L00248	51245,3710	-20,41	-30,61	-85,63	-0,79	-0,04134	78,46	-0,87	0,07487
1L00249	51245,3745	-20,40	-30,76	-82,20	2,58	-0,06279	85,82	6,54	0,05173
1L00250	51245,3781	-20,40	-30,70	-82,46	2,27	-0,04511	82,25	3,03	0,06494
1L00251	51245,3816	-20,40	-30,61	-80,79	3,89	-0,04711	81,62	2,44	0,06414
1L00252	51245,3851	-20,40	-30,52	-82,44	2,18	-0,09949	79,44	0,31	0,07713
1L00526	51443,4225	17,11	15,49	83,36	-2,46	0,02084	-79,02	1,23	-0,02525

Tabulka 14: pokračování

číslo spektra	T	hel.kor.	atm.kor.	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>
1L00527	51443,4261	17,10	15,50	83,51	-2,31	-0,07758	-77,68	2,56	0,00989
1L00528	51443,4295	17,10	15,35	83,51	-2,31	-0,02276	-77,68	2,56	-0,00238
1L00529	51443,4330	17,09	15,55	82,63	-3,19	-0,07042	-77,36	2,88	-0,00981
1L00530	51443,4365	17,09	15,47	82,86	-2,95	0,01654	-81,65	-1,41	-0,06552
1L00531	51443,4400	17,09	15,54	80,87	-4,94	-0,02662	-82,56	-2,33	0,01023
1L00532	51443,4435	17,08	15,38	84,01	-1,79	-0,00948	-78,39	1,84	-0,06183
1L00533	51443,4470	17,08	15,33	84,82	-0,98	-0,02797	-80,11	0,12	-0,00330
1L00534	51443,4505	17,07	15,39	84,12	-1,68	-0,04446	-80,77	-0,55	-0,02175
1L00535	51443,4540	17,07	15,32	83,82	-1,98	-0,03200	-81,07	-0,85	-0,08706
1L00536	51443,4575	17,07	15,42	85,24	-0,55	0,01605	-78,22	2,00	-0,01901
1L00537	51443,4610	17,06	15,40	84,27	-1,51	-0,00888	-78,04	2,17	-0,02374
1L00538	51443,4646	17,06	15,28	81,03	-4,75	-0,01307	-78,07	2,14	-0,02427
1L00539	51443,4680	17,05	15,28	84,47	-1,31	-0,02835	-76,21	4,00	-0,02263
1L00540	51443,4715	17,05	15,44	88,31	2,53	-0,05036	-77,66	2,55	-0,03365
1L00541	51443,4750	17,05	15,41	85,55	-0,23	-0,01135	-79,44	0,76	-0,03898
1L00542	51443,4785	17,04	15,40	84,71	-1,05	-0,00115	-77,66	2,53	-0,04999
1L00627	51446,2506	16,43	18,01	39,06	-1,72	0,05438	-37,25	0,89	-0,06131
1L00628	51446,2541	16,43	18,25	38,45	-2,20	-0,00327	-39,23	-1,23	-0,03308
1L00629	51446,2576	16,43	18,26	39,07	-1,43	0,06364	-36,32	1,56	-0,01340
1L00630	51446,2611	16,43	18,12	39,05	-1,32	0,04687	-36,20	1,55	-0,01372
1L00631	51446,2645	16,43	18,16	38,26	-1,98	0,04818	-34,92	2,71	-0,06466
1L00632	51446,2680	16,43	18,30	40,65	0,55	0,06356	-37,58	-0,09	-0,06660
1L00633	51446,2715	16,43	18,33	38,48	-1,48	0,05462	-37,19	0,18	-0,05948
1L00634	51446,2750	16,42	18,27	38,87	-0,95	0,06484	-37,11	0,13	-0,04143
1L00635	51446,2785	16,42	18,29	38,06	-1,62	0,07575	-37,46	-0,35	-0,03404
1L00636	51446,2820	16,42	18,26	36,45	-3,10	0,09961	-35,90	1,08	-0,08291
1L00637	51446,2854	16,42	18,32	39,41	0,00	0,09057	-36,85	0,00	-0,06248
1L00638	51446,2889	16,42	18,39	37,25	-2,02	0,09607	-35,01	1,71	-0,08436

**Tabulka 14:** pokračování

číslo spektra	T	hel.kor.	atm.kor.	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>
1L00639	51446,2924	16,42	18,37	38,64	-0,49	0,09470	-35,74	0,85	-0,09099
1L00640	51446,2959	16,42	18,40	37,38	-1,62	0,03117	-34,86	1,60	-0,04339
1L00641	51446,2994	16,42	18,34	37,67	-1,18	0,05199	-32,88	3,46	-0,04220
1L00642	51446,3029	16,42	18,35	40,99	2,28	0,10052	-35,91	0,29	-0,07341
1L00643	51446,3064	16,41	18,34	36,99	-1,58	0,04254	-35,45	0,62	-0,04129
1L00644	51446,3100	16,41	18,48	38,43	0,00	0,10286	-35,93	0,00	-0,09679
1L00645	51446,3134	16,41	18,39	37,22	-1,07	0,06209	-33,66	2,14	-0,03557
1L00646	51446,3169	16,41	18,32	38,15	0,00	0,08747	-35,68	0,00	-0,05666
1L00647	51446,3204	16,41	18,15	37,87	-0,14	0,05728	-34,26	1,28	-0,02618
1L00648	51446,3239	16,41	18,40	37,73	-0,14	0,06568	-34,61	0,80	-0,07387
1L00649	51446,3274	16,40	18,41	37,78	0,05	0,06532	-37,91	-2,63	-0,10540
1L00650	51446,3309	16,40	18,35	38,13	0,55	0,03785	-35,12	0,02	-0,01494
1L00651	51446,3344	16,40	18,36	34,40	-3,04	0,05490	-32,61	2,40	-0,03686
1L00652	51446,3379	16,40	18,30	35,37	-1,93	0,09627	-34,00	0,87	-0,09761
1L00653	51446,3414	16,40	18,21	37,22	0,06	0,04667	-35,74	-1,00	-0,04312
1L00750	51450,3511	15,29	14,35	-109,75	0,50	-0,04971	103,41	0,32	0,04077
1L00751	51450,3546	15,28	14,45	-109,54	0,71	-0,05965	100,17	-2,92	0,04518
1L00752	51450,3580	15,28	14,25	-111,20	-0,95	-0,06672	100,61	-2,48	-0,01304
1L00753	51450,3615	15,28	14,49	-112,83	-2,59	-0,05658	103,00	-0,09	0,07578
1L00754	51450,3650	15,28	14,73	-109,54	0,70	-0,08871	103,25	0,17	0,04021
1L00755	51450,3685	15,27	14,74	-109,48	0,77	-0,05298	101,89	-1,19	0,00508
1L00756	51450,3720	15,27	14,71	-107,79	2,46	-0,09825	103,75	0,67	-0,00665
1L00757	51450,3755	15,27	14,81	-110,68	-0,44	-0,05278	101,49	-1,59	-0,00029
1L00758	51450,3790	15,26	14,88	-110,76	-0,52	-0,10241	103,34	0,26	0,07691
1L00759	51450,3824	15,26	14,72	-109,89	0,34	-0,02565	101,42	-1,66	0,01027
1L00760	51450,3859	15,26	14,91	-112,66	-2,43	-0,04023	102,07	-1,01	0,01765
1L00761	51450,3895	15,25	15,10	-110,86	-0,63	0,01015	104,05	0,97	0,03133
1L00762	51450,3929	15,25	14,92	-111,22	-0,99	-0,03288	101,71	-1,36	0,04855

Tabulka 14: pokračování

číslo spektra	T	hel.kor.	atm.kor.	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>
1L00763	51450,3964	15,25	15,10	-109,30	0,93	-0,03647	103,41	0,34	0,03786
1L00764	51450,4000	15,24	15,05	-109,43	0,80	-0,06390	103,93	0,86	0,00082
1L00765	51450,4034	15,24	15,02	-109,12	1,11	-0,01246	103,25	0,18	0,03198
1L00766	51450,4069	15,23	15,05	-112,65	-2,43	-0,05745	102,06	-1,01	0,03154
1L00767	51450,4105	15,23	15,12	-107,88	2,34	-0,00094	103,83	0,77	0,04073
1L00768	51450,4140	15,23	14,92	-109,83	0,38	-0,02569	104,89	1,84	0,04422
1L00769	51450,4175	15,22	15,17	-109,12	1,09	0,00396	104,06	1,01	0,07739
1L00770	51450,4210	15,22	15,02	-109,83	0,37	-0,00306	104,94	1,89	0,03885
1L00771	51450,4246	15,21	14,80	-109,03	1,17	0,00859	102,27	-0,78	0,06045
1L00772	51450,4281	15,21	15,03	-109,30	0,89	-0,04788	104,83	1,79	0,03632
1L00773	51450,4315	15,21	15,09	-108,40	1,80	-0,03665	103,70	0,67	-0,00530
1L00774	51450,4350	15,20	14,90	-109,93	0,26	-0,04466	105,09	2,06	0,02353
1L00775	51450,4385	15,20	14,91	-108,06	2,12	-0,02337	103,49	0,46	0,02266
1L00776	51450,4420	15,19	15,13	-106,01	4,17	-0,00165	104,78	1,76	0,05014
1L00777	51450,4455	15,19	15,02	-108,86	1,32	-0,06225	103,75	0,74	0,00101
1L00778	51450,4490	15,19	15,11	-109,86	0,31	-0,02110	103,01	0,00	0,05339
1L00779	51450,4525	15,18	15,12	-109,85	0,31	-0,03303	101,94	-1,07	-0,01056
1L00781	51450,4785	15,15	14,81	-109,54	0,58	-0,06208	102,09	-0,87	0,00284
1L00782	51450,4820	15,14	14,83	-109,20	0,91	-0,03512	106,17	3,20	0,02639
1L00783	51450,4855	15,14	14,80	-110,11	0,00	-0,06461	102,95	0,00	0,00485
1L00784	51450,4890	15,13	14,95	-109,36	0,73	-0,07362	104,70	1,75	-0,01263
1L00785	51450,4925	15,13	14,94	-109,36	0,73	-0,07360	104,69	1,75	-0,01266
1L00799	51450,6036	14,99	13,15	-108,36	1,42	-0,01628	103,23	0,58	0,07612
1L00800	51450,6071	14,98	13,19	-110,50	-0,73	-0,01894	101,96	-0,68	0,04123
1L00801	51450,6106	14,98	13,36	-109,07	0,69	-0,01266	102,52	-0,11	0,01896
1L00802	51450,6141	14,97	13,40	-109,04	0,70	-0,06502	102,88	0,26	0,05457
1L00803	51450,6176	14,97	13,12	-111,42	-1,69	-0,05054	102,06	-0,55	-0,01945
1L00804	51450,6211	14,97	13,47	-107,69	2,02	-0,00906	103,09	0,50	0,03738

**Tabulka 14:** pokračování

číslo spektra	T	hel.kor.	atm.kor.	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>
1L00805	51450,6246	14,96	13,44	-109,24	0,47	-0,00901	102,38	-0,20	0,03729
1L00806	51450,6281	14,96	13,34	-109,53	0,16	-0,03194	104,40	1,84	-0,00592
1L00807	51450,6317	14,95	13,24	-108,83	0,85	-0,06552	99,41	-3,14	0,03221
1L00808	51450,6352	14,95	13,27	-107,82	1,85	-0,03099	101,88	-0,67	-0,01192
1L00809	51450,6387	14,95	12,92	-109,57	0,08	-0,05163	102,06	-0,47	-0,01152
1L00810	51450,6423	14,94	13,19	-107,02	2,62	-0,07277	108,30	5,79	0,00959
1L00811	51450,6458	14,94	13,25	-108,30	1,32	-0,00586	101,74	-0,76	0,03180
1L00812	51450,6494	14,94	13,14	-104,91	4,69	-0,07642	103,30	0,81	-0,02124
1L00813	51450,6529	14,93	13,32	-108,66	0,93	-0,04813	107,38	4,91	0,02849
1L00814	51450,6564	14,93	13,24	-108,26	1,32	-0,02175	101,70	-0,76	0,04839
1L00815	51450,6599	14,93	13,06	-109,10	0,47	-0,07013	103,87	1,42	-0,03457
1L00816	51450,6635	14,92	13,15	-109,55	0,00	-0,03968	103,58	1,14	0,02707
1L01098	51472,5393	7,71	7,53	20,52	-5,26	0,13934	-16,15	7,95	-0,10565
1L01099	51472,5428	7,71	7,11	25,17	-0,45	0,06051	-23,85	0,10	-0,07132
1L01100	51472,5463	7,70	7,38	22,61	-2,84	0,06195	-21,04	2,76	-0,00835
1L01101	51472,5499	7,70	7,51	25,58	0,30	0,05861	-24,58	-0,94	-0,04102
1L01102	51472,5534	7,69	7,29	23,93	-1,19	0,16015	-26,18	-2,69	-0,09809
1L01103	51472,5569	7,69	7,28	24,96	0,00	0,19728	-26,50	-3,16	-0,18087
1L01104	51472,5605	7,68	7,40	25,35	0,56	0,07030	-22,77	0,41	-0,05018
1L01105	51472,5640	7,68	7,53	22,51	-2,12	0,15633	-24,59	-1,56	-0,17169
1L01106	51472,5676	7,68	7,31	23,50	-0,96	0,20196	-21,82	1,06	-0,23832
1L01107	51472,5711	7,67	7,20	19,47	-4,83	0,15684	-16,44	6,28	-0,15179
1L01108	51472,5746	7,67	7,26	23,93	-0,21	0,18043	-24,26	-1,69	-0,23062
1L01109	51472,5781	7,66	7,18	22,38	-1,59	0,18421	-19,47	2,94	-0,17877
1L01110	51472,5817	7,66	7,45	21,05	-2,76	0,23121	-18,96	3,29	-0,23907
1L01111	51472,5851	7,66	7,17	20,36	-3,28	0,19275	-20,01	2,10	-0,18277
1L01112	51472,5886	7,65	7,33	23,55	0,07	0,14979	-23,70	-1,75	-0,15013
1L01113	51472,5922	7,65	7,42	26,79	3,48	0,18259	-26,94	-5,14	-0,22281



Tabulka 14: pokračování

číslo spektra	T	hel.kor.	atm.kor.	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>
1L01114	51472,5956	7,64	7,36	20,97	-2,18	0,24397	-21,23	0,42	-0,31671
1L01115	51472,5991	7,64	7,21	24,69	1,70	0,08975	-22,44	-0,95	-0,15227
1L01116	51472,6026	7,64	7,17	20,84	-1,98	0,05660	-18,63	2,71	-0,03439
1L01117	51472,6061	7,63	7,26	21,16	-1,50	0,27828	-16,57	4,62	-0,35040
1L01118	51472,6096	7,63	7,18	22,71	0,22	0,13910	-21,07	-0,04	-0,14050
1L01119	51472,6131	7,63	7,23	25,48	3,16	0,17535	-26,59	-5,72	-0,15572
1L01120	51472,6166	7,62	7,14	23,89	1,73	0,12519	-19,02	1,69	-0,14650
1L01121	51472,6201	7,62	7,12	22,61	0,62	0,24996	-19,95	0,62	-0,25151
1L01122	51472,6237	7,62	7,34	19,85	-1,97	0,19977	-18,55	1,85	-0,27627
1L01123	51472,6272	7,61	7,26	21,29	-0,36	0,08010	-18,53	1,71	-0,14169
1L01124	51472,6307	7,61	7,57	21,46	-0,03	0,14052	-16,68	3,41	-0,22461
1L01125	51472,6342	7,61	7,28	21,32	0,00	0,24291	-19,93	0,00	-0,39711
1L01126	51472,6377	7,60	7,27	22,17	1,02	0,05879	-19,19	0,59	-0,10221
1L01127	51472,6412	7,60	7,30	24,26	3,28	0,12837	-21,20	-1,58	-0,11386
1L01128	51472,6447	7,60	7,33	21,41	0,59	0,12815	-17,86	1,60	-0,11116
1L01129	51472,6482	7,60	7,29	21,19	0,54	0,08977	-19,87	-0,56	-0,06324
1L01130	51472,6517	7,59	7,34	26,82	6,35	0,07929	-22,65	-3,50	-0,10162
1L01131	51472,6551	7,59	7,42	22,44	2,13	0,13256	-19,89	-0,89	-0,21663
1L01132	51472,6586	7,59	7,23	19,97	-0,17	0,17920	-18,03	0,81	-0,22864

**Tabulka 15:** RV a síly čar z KORELu pro telurické čáry a čáru H $\alpha$ 

číslo spektra	T	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>	RV <sub>telur</sub>	(O-C) <sub>telur</sub>	s <sub>telur</sub>
1P00287	49744,6420	-34,53	-0,14	-0,08234	30,75	-1,01	0,09900	-25,03	-2,42	-0,19816
1P00288	49744,6632	-39,28	-5,17	-0,04399	34,37	2,87	0,07853	-26,68	-4,07	-0,18713
1P04263	49816,6703	-115,56	-4,37	0,01264	104,02	1,37	-0,05165	-8,60	2,75	-0,02396
1P05443	49844,7253	-89,51	-2,57	-0,02968	85,71	5,44	-0,01134	-0,06	0,93	0,85614
1P05591	49845,7039	-71,21	1,14	0,02276	63,46	-3,34	-0,03989	-0,63	-0,02	1,04939
1P08483	49927,9616	-15,99	-3,90	0,67690	0,47	-10,69	-1,87924	20,84	-1,08	-0,19664
1P08827	49928,9203	3,91	4,71	-0,10729	-0,87	-1,60	0,12734	17,83	-4,16	0,07508
1P09296	49929,9467	6,25	-4,52	0,39146	0,07	10,01	-0,53170	19,16	-2,91	0,40477
1P09682	49930,9880	34,79	12,76	0,03174	-27,85	-7,51	-0,01728	22,23	0,10	0,46807
1P10343	49947,9756	-90,73	3,34	-0,02313	85,77	-1,07	0,02686	21,22	-1,02	-0,04550
1P10662	49950,0235	-65,18	-1,35	0,01376	61,02	2,10	0,01032	20,42	-1,72	0,14143
1P12720	49978,0157	-34,48	0,57	0,10123	40,96	8,60	-0,08738	16,74	-1,28	0,11082
1P13003	49978,8098	-35,06	10,31	0,14789	39,49	16,64	-0,13541	14,68	-3,16	0,24065
1P13415	49979,9180	-14,88	-3,80	0,57563	20,76	10,53	-1,19694	14,58	-3,00	0,30289
1P13778	49980,9779	-11,72	13,05	0,12173	4,21	5,44	-0,12598	13,85	-3,47	-0,46425
1P14161	49983,9786	33,86	0,21	-0,11210	-30,81	0,25	0,13007	15,86	-0,70	-0,80046
1P14492	49984,9971	50,24	6,42	-0,07344	-35,08	5,37	0,08469	15,41	-0,89	-0,23083
1P15579	50033,0856	-9,41	13,42	0,04622	10,21	13,91	-0,02861	-1,02	-0,39	0,20182
1P16021	50040,9156	81,45	2,67	-0,00470	-73,85	-1,13	0,02921	-3,51	0,24	-0,36602
1P16497	50041,8440	84,09	0,00	-0,00723	-77,63	0,00	0,03387	-4,11	0,00	-0,38764
1P13493	50056,8651	-20,87	0,76	0,07421	19,13	-0,84	-0,03249	-10,35	-0,49	-1,10892
1P13540	50056,9055	-20,02	1,10	0,07959	19,81	0,31	-0,02648	-10,61	-0,74	-0,85286
1P13541	50056,9248	-20,84	0,04	0,07529	19,65	0,38	-0,03316	-10,29	-0,41	-0,77634
1P13542	50056,9422	-20,62	0,04	0,08556	19,45	0,38	-0,04447	-10,30	-0,41	-0,72007
1P13543	50056,9596	-20,07	0,37	0,07424	20,02	1,14	-0,02984	-9,58	0,31	-0,67669
1P13544	50056,9692	-17,74	2,59	0,01377	20,66	1,89	-0,01416	-8,76	1,13	-0,70938
1P00690	50137,6661	8,50	-4,82	-0,05813	-14,85	-2,56	0,07441	-24,36	-2,30	-0,52153
1P01149	50138,6880	30,65	6,38	-0,05047	-34,29	-11,88	0,07833	-24,69	-2,75	-0,57873

Tabulka 15: pokračování

číslo spektra	T	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>	RV <sub>telur</sub>	(O-C) <sub>telur</sub>	s <sub>telur</sub>
1P01665	50139,6982	36,68	1,98	0,03369	-33,27	-1,23	0,00437	-20,26	1,55	-0,82466
1P02013	50140,6808	44,62	0,14	-0,06716	-46,35	-5,28	0,06198	-24,98	-3,30	-0,77022
1P14013	51038,9446	-68,88	0,69	-0,02486	65,56	1,34	0,05750	20,14	-2,26	0,41359
1P16940	51085,9117	-95,08	-1,51	-0,01223	80,79	-5,59	-0,00285	14,00	-0,86	-0,03041
1P16970	51085,9883	-95,70	0,19	0,07516	99,29	10,76	0,00998	13,67	-1,17	0,12508
1P17309	51086,8275	-115,80	-5,22	0,00941	101,00	-1,09	-0,00997	14,95	0,36	0,27843
1P17325	51086,8755	-114,28	-3,38	-0,04471	98,57	-3,81	0,02243	13,56	-1,02	0,22767
1P17343	51086,9339	-114,05	-2,82	0,03467	98,55	-4,13	0,01737	14,55	-0,02	0,22457
1P17372	51086,9862	-115,19	-3,73	0,04284	99,24	-3,66	0,00478	13,59	-0,96	0,28815
1P17388	51087,0289	-109,14	2,47	0,05151	100,59	-2,45	-0,01287	14,13	-0,41	0,26017
1P17407	51087,0588	-115,43	-3,73	0,07209	99,46	-3,66	0,01248	13,57	-0,96	0,32989
1P19191	51107,7201	80,68	1,40	0,07512	-83,89	-10,69	0,07803	5,65	-1,93	-0,40230
1P19291	51107,8487	82,27	4,73	0,10357	-72,67	-1,08	0,05637	4,58	-2,95	-0,56598
1P19337	51107,9294	76,12	-0,20	0,03590	-79,42	-8,96	0,00591	5,38	-2,12	-0,58214
1P19366	51107,9724	80,82	5,18	0,04947	-69,81	0,01	0,04936	4,94	-2,55	-0,47396
1P19386	51108,0149	79,65	4,72	0,00346	-68,26	0,91	0,10231	4,53	-2,94	-0,41868
1P19406	51108,0496	75,62	1,30	0,08020	-68,03	0,59	0,05731	6,71	-0,75	-0,44664
1P19410	51108,0771	73,86	0,03	-0,06241	-69,50	-1,34	0,15428	4,66	-2,79	-0,31320
1P19627	51108,7042	59,02	0,00	-0,03866	-54,49	0,00	0,08679	7,22	0,00	-0,60649
1P19731	51108,8581	57,88	3,69	-0,05100	-47,52	2,50	0,05371	6,35	-0,81	-0,71736
1P19794	51108,9300	45,03	-6,71	0,05828	-44,52	3,25	-0,04340	3,36	-3,77	-0,66693
1P19797	51108,9483	40,26	10,85	0,02074	-46,37	0,81	0,04356	5,52	-1,61	-0,61210
1P19810	51108,9776	39,89	10,17	0,08602	-42,16	4,06	-0,10763	6,24	-0,87	-0,56839
1P19840	51109,0259	47,26	-1,05	-0,01603	-44,19	0,41	0,04167	4,05	-3,05	-0,39731
1P19854	51109,0526	40,58	-6,73	0,06969	-40,73	2,95	-0,06745	5,83	-1,26	-0,32592
1O03560	49327,3429	-71,71	-4,68	-0,14688	62,92	1,03	0,02043	-13,20	-2,99	-1,33446
1O03615	49351,4227	-91,71	2,72	-0,11743	91,89	4,72	-0,01424	-18,09	-0,28	-1,37269
1O06047	49619,4855	3,34	15,80	0,11867	-0,14	17,53	-0,19635	15,71	-0,65	-0,63092

Tabulka 15: pokračování

číslo spektra	T	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>	RV <sub>telur</sub>	(O-C) <sub>telur</sub>	s <sub>telur</sub>
1O07027	49672,2551	36,01	7,41	-0,18587	-25,69	0,70	0,03595	-6,12	-3,73	-1,37523
1O07112	49688,2518	-96,18	2,84	-0,05780	93,91	2,49	-0,02524	-11,26	-2,64	-1,87044
1O07203	49693,2989	-30,73	-3,22	-0,13843	29,23	3,84	0,05218	-13,40	-2,93	-1,63369
1O07256	49695,2575	-3,57	0,00	0,03232	3,30	0,00	-0,15059	-11,17	0,00	-1,24276
1O07303	49702,3178	70,41	2,56	0,04072	-66,65	-4,01	-0,13756	-13,74	-0,16	-1,59300
1O07508	49761,4195	-24,00	20,90	-0,04003	16,37	13,51	-0,08970	-23,57	-0,65	-1,11225
1O07572	49767,2677	-89,84	-8,09	-0,11472	81,19	5,72	-0,01109	-19,33	3,24	-1,23965
1O09538	50017,4404	91,03	4,70	-0,02012	-83,42	-3,71	-0,07994	5,37	-0,15	-0,58861
1O09727	50081,2656	-42,25	-0,57	-0,15541	38,15	-0,33	0,02742	-28,18	-10,54	-4,26570
1O09781	50097,3604	58,78	4,74	-0,00665	-55,11	-5,22	-0,11904	-15,17	5,92	-1,35613
1O09946	50114,3047	45,75	5,60	0,02229	-43,84	-6,78	-0,14813	-30,73	-7,84	-2,66634
1O10181	50151,3586	-60,16	-4,35	-0,09785	65,76	14,23	-0,00672	-20,48	-0,61	-1,14722
1O11620	50326,5583	95,21	14,23	-0,12761	-95,37	-20,60	-0,11874	18,97	-2,08	-0,57635
1L00211	51245,2405	-84,19	3,14	-0,02326	81,26	0,63	0,05100	-20,63	-0,39	-0,29172
1L00212	51245,2440	-84,98	2,30	-0,01365	80,42	-0,15	0,04986	-18,23	2,01	-0,33752
1L00213	51245,2476	-85,88	1,34	-0,03443	80,73	0,21	0,05322	-20,29	-0,06	-0,34985
1L00214	51245,2511	-84,97	2,20	-0,02392	79,35	-1,13	0,06334	-20,74	-0,50	-0,31147
1L00215	51245,2547	-84,81	2,30	-0,01292	80,89	0,46	0,04504	-20,10	0,13	-0,35911
1L00216	51245,2582	-87,07	0,00	-0,01768	80,38	0,00	0,04840	-20,23	0,00	-0,36002
1L00217	51245,2617	-86,38	0,64	-0,02612	80,71	0,38	0,06521	-19,99	0,24	-0,31904
1L00218	51245,2653	-86,70	0,26	-0,02246	79,61	-0,68	0,04613	-20,03	0,20	-0,33736
1L00219	51245,2688	-86,31	0,61	-0,03779	80,31	0,07	0,05568	-20,67	-0,44	-0,28930
1L00220	51245,2723	-85,77	1,09	-0,03586	80,53	0,34	0,05831	-20,42	-0,19	-0,25452
1L00221	51245,2759	-84,77	2,03	-0,02044	81,16	1,02	0,05544	-19,64	0,59	-0,29176
1L00222	51245,2794	-84,34	2,42	-0,03035	81,25	1,16	0,06294	-20,26	-0,03	-0,27892
1L00223	51245,2829	-85,56	1,15	-0,01471	81,14	1,09	0,04910	-20,70	-0,47	-0,24658
1L00224	51245,2865	-86,46	0,19	-0,01373	79,53	-0,47	0,03954	-20,59	-0,37	-0,21870
1L00225	51245,2900	-84,24	2,36	-0,01310	81,24	1,29	0,05058	-20,76	-0,53	-0,17451

Tabulka 15: pokračování

číslo spektra	T	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>	RV <sub>telur</sub>	(O-C) <sub>telur</sub>	s <sub>telur</sub>
1L00226	51245,2935	-83,92	2,63	-0,01847	81,35	1,44	0,05445	-20,82	-0,59	-0,20358
1L00227	51245,2969	-85,19	1,31	-0,02371	78,44	-1,42	0,05330	-20,08	0,14	-0,16593
1L00228	51245,3004	-84,99	1,46	-0,00708	79,75	-0,06	0,05011	-20,92	-0,69	-0,13588
1L00229	51245,3039	-85,08	1,31	-0,01934	79,20	-0,56	0,03938	-20,92	-0,70	-0,12868
1L00230	51245,3075	-85,60	0,74	-0,00446	80,41	0,69	0,04455	-20,71	-0,48	-0,09586
1L00231	51245,3110	-84,48	1,81	-0,01381	80,68	1,01	0,05396	-19,62	0,61	-0,12653
1L00232	51245,3145	-84,70	1,54	-0,00552	80,09	0,47	0,04488	-20,00	0,22	-0,12656
1L00233	51245,3180	-85,92	0,26	-0,03038	80,75	1,18	0,06021	-19,78	0,44	-0,23120
1L00234	51245,3215	-84,32	1,81	-0,01966	80,54	1,01	0,03971	-19,61	0,61	-0,07555
1L00235	51245,3250	-85,21	0,87	-0,01580	78,70	-0,77	0,03570	-19,62	0,60	-0,06824
1L00236	51245,3285	-83,99	2,04	-0,03264	79,08	-0,34	0,04296	-20,73	-0,51	-0,03880
1L00237	51245,3321	-84,17	1,81	-0,03134	80,39	1,01	0,04786	-19,61	0,61	-0,05493
1L00238	51245,3356	-83,87	2,05	-0,03939	79,50	0,17	0,05632	-19,30	0,92	-0,03204
1L00239	51245,3392	-85,80	0,07	-0,00761	79,82	0,54	0,03235	-19,95	0,27	-0,04762
1L00240	51245,3427	-83,89	1,93	-0,01786	80,98	1,75	0,05629	-19,85	0,37	-0,04202
1L00241	51245,3462	-85,48	0,29	-0,03851	79,98	0,80	0,04703	-20,40	-0,18	0,00008
1L00242	51245,3497	-84,71	1,01	-0,01405	80,41	1,27	0,04074	-19,89	0,32	0,01602
1L00243	51245,3533	-86,00	-0,34	-0,02094	80,07	0,98	0,04580	-20,57	-0,36	-0,03383
1L00244	51245,3568	-83,75	1,87	-0,01334	79,57	0,53	0,02583	-20,71	-0,49	-0,02319
1L00245	51245,3603	-85,87	-0,31	-0,03316	79,30	0,30	0,06180	-20,85	-0,64	0,01613
1L00246	51245,3639	-83,44	2,07	-0,03489	79,04	0,10	0,03522	-20,80	-0,58	0,04285
1L00247	51245,3674	-85,02	0,44	-0,01628	78,55	-0,35	0,04086	-19,89	0,32	0,05386
1L00248	51245,3710	-85,14	0,26	-0,02873	78,28	-0,57	0,03668	-20,65	-0,44	0,04938
1L00249	51245,3745	-83,67	1,68	-0,03191	80,97	2,17	0,04746	-20,18	0,03	0,06022
1L00250	51245,3781	-83,74	1,56	-0,02241	78,67	-0,08	0,03751	-19,61	0,60	0,07787
1L00251	51245,3816	-84,73	0,52	-0,01556	80,27	1,57	0,03019	-19,70	0,50	0,10482
1L00252	51245,3851	-83,33	1,87	-0,03677	79,19	0,53	0,05695	-20,70	-0,49	0,08677
1L00526	51443,4225	86,36	-0,53	0,02030	-78,67	1,55	-0,00479	15,76	-1,20	0,47800

Tabulka 15: pokračování

číslo spektra	T	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>	RV <sub>telur</sub>	(O-C) <sub>telur</sub>	s <sub>telur</sub>
1L00527	51443,4261	84,10	-2,79	0,00297	-81,51	-1,29	0,00277	16,39	-0,58	0,46365
1L00528	51443,4295	85,59	-1,30	0,01309	-79,45	0,78	-0,00877	15,37	-1,60	0,43873
1L00529	51443,4330	85,69	-1,21	-0,02591	-81,12	-0,89	0,02198	16,57	-0,39	0,43570
1L00530	51443,4365	85,79	-1,11	-0,00571	-80,19	0,03	0,01313	15,59	-1,37	0,45062
1L00531	51443,4400	86,08	-0,82	0,00858	-80,04	0,19	-0,00626	15,94	-1,02	0,45874
1L00532	51443,4435	85,94	-0,96	-0,00463	-78,98	1,25	-0,00027	16,64	-0,32	0,43591
1L00533	51443,4470	85,04	-1,86	0,01300	-80,23	0,00	-0,00446	16,19	-0,77	0,44773
1L00534	51443,4505	84,11	-2,79	-0,00498	-81,52	-1,29	0,00755	16,38	-0,58	0,42626
1L00535	51443,4540	86,08	-0,82	-0,00344	-80,04	0,19	0,00114	15,94	-1,02	0,42506
1L00536	51443,4575	86,80	-0,10	-0,03212	-80,50	-0,27	0,01952	16,24	-0,71	0,43998
1L00537	51443,4610	85,95	-0,96	0,00311	-78,98	1,25	-0,00003	16,64	-0,32	0,44565
1L00538	51443,4646	86,80	-0,10	-0,01637	-80,50	-0,27	0,00615	16,24	-0,71	0,45800
1L00539	51443,4680	86,54	-0,37	-0,00554	-81,56	-1,33	0,00535	16,50	-0,45	0,45639
1L00540	51443,4715	85,95	-0,96	-0,01329	-78,98	1,25	0,01931	16,64	-0,32	0,42612
1L00541	51443,4750	85,70	-1,21	0,00979	-81,12	-0,89	-0,00735	16,56	-0,39	0,46249
1L00542	51443,4785	84,69	-2,21	-0,01641	-79,38	0,85	-0,00536	14,14	-2,81	0,41818
1L00627	51446,2506	46,13	-0,03	0,08821	-40,80	1,82	-0,06873	14,89	-1,34	0,82476
1L00628	51446,2541	45,44	-0,58	0,07469	-40,68	1,81	-0,05996	14,84	-1,39	0,82691
1L00629	51446,2576	45,31	-0,58	0,06573	-40,55	1,81	-0,05094	14,84	-1,39	0,82797
1L00630	51446,2611	45,17	-0,58	0,09858	-40,43	1,81	-0,08562	14,84	-1,39	0,82852
1L00631	51446,2645	45,04	-0,58	0,06554	-40,31	1,81	-0,05834	14,84	-1,39	0,82944
1L00632	51446,2680	44,91	-0,58	0,07659	-40,18	1,81	-0,06078	14,83	-1,39	0,82048
1L00633	51446,2715	44,77	-0,58	0,10933	-40,06	1,81	-0,10305	14,83	-1,39	0,80525
1L00634	51446,2750	45,31	0,09	0,06617	-40,87	0,88	-0,05532	16,99	0,77	0,80805
1L00635	51446,2785	45,56	0,47	0,08032	-40,73	0,90	-0,06851	15,53	-0,69	0,78775
1L00636	51446,2820	44,04	-0,91	0,06245	-41,18	0,32	-0,04578	15,76	-0,46	0,78696
1L00637	51446,2854	44,81	0,00	0,07505	-41,37	0,00	-0,06121	16,22	0,00	0,77654
1L00638	51446,2889	44,87	0,20	0,03355	-39,25	2,00	-0,02871	14,84	-1,38	0,78995

Tabulka 15: pokračování

číslo spektra	T	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>	RV <sub>telur</sub>	(O-C) <sub>telur</sub>	s <sub>telur</sub>
1L00639	51446,2924	45,09	0,54	0,03259	-39,85	1,27	-0,01523	15,02	-1,20	0,78787
1L00640	51446,2959	44,95	0,54	0,00876	-39,73	1,27	0,00431	15,02	-1,20	0,77810
1L00641	51446,2994	44,81	0,54	-0,01720	-39,60	1,27	0,02457	15,02	-1,20	0,78194
1L00642	51446,3029	44,13	0,00	0,01732	-40,74	0,00	-0,01007	16,22	0,00	0,76330
1L00643	51446,3064	43,99	0,00	0,01680	-40,61	0,00	0,00677	16,22	0,00	0,74628
1L00644	51446,3100	44,60	0,76	-0,00497	-40,27	0,21	0,02218	16,17	-0,05	0,72853
1L00645	51446,3134	43,80	0,08	0,01570	-38,94	1,42	0,00028	15,53	-0,69	0,73127
1L00646	51446,3169	43,82	0,24	0,01480	-39,96	0,27	0,00171	15,64	-0,57	0,69924
1L00647	51446,3204	43,44	0,00	0,00631	-40,10	0,00	0,00940	16,21	0,00	0,70040
1L00648	51446,3239	44,47	1,17	0,00245	-39,88	0,09	0,00703	14,61	-1,60	0,69357
1L00649	51446,3274	44,33	1,17	0,01429	-39,75	0,09	-0,00666	14,61	-1,60	0,66815
1L00650	51446,3309	44,19	1,17	-0,01466	-39,62	0,09	0,02959	14,61	-1,60	0,67545
1L00651	51446,3344	44,05	1,17	-0,01585	-39,49	0,09	0,02745	14,61	-1,60	0,68258
1L00652	51446,3379	43,91	1,17	0,04737	-39,36	0,09	-0,02741	14,61	-1,60	0,68464
1L00653	51446,3414	45,24	2,65	0,02247	-39,24	0,08	-0,01471	16,24	0,04	0,63373
1L00750	51450,3511	-111,13	0,77	-0,00986	104,22	0,92	0,02292	14,62	-0,47	0,61986
1L00751	51450,3546	-109,32	2,58	-0,01684	104,72	1,42	0,01498	14,46	-0,63	0,60594
1L00752	51450,3580	-111,48	0,41	-0,00391	105,11	1,81	0,02256	14,67	-0,43	0,58042
1L00753	51450,3615	-109,63	2,26	-0,00108	104,97	1,68	0,01692	14,45	-0,64	0,55046
1L00754	51450,3650	-110,46	1,43	-0,02068	104,52	1,23	0,02583	14,07	-1,02	0,55282
1L00755	51450,3685	-109,12	2,77	-0,03003	104,03	0,74	0,03268	14,96	-0,14	0,53051
1L00756	51450,3720	-111,88	0,00	-0,01273	103,29	0,00	0,01573	15,09	0,00	0,53535
1L00757	51450,3755	-111,16	0,72	-0,01472	105,86	2,57	0,01668	14,56	-0,53	0,50135
1L00758	51450,3790	-110,83	1,05	-0,01780	106,21	2,93	0,02081	14,58	-0,51	0,49796
1L00759	51450,3824	-111,08	0,79	-0,00992	105,36	2,08	0,03672	14,61	-0,48	0,48997
1L00760	51450,3859	-110,97	0,90	-0,00668	105,64	2,36	0,01683	14,54	-0,54	0,47859
1L00761	51450,3895	-110,63	1,24	-0,00357	104,58	1,31	0,01152	14,82	-0,26	0,45897
1L00762	51450,3929	-110,82	1,05	-0,01420	106,20	2,93	0,01694	14,58	-0,51	0,46313

Tabulka 15: pokračování

číslo spektra	T	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>	RV <sub>telur</sub>	(O-C) <sub>telur</sub>	s <sub>telur</sub>
1L00763	51450,3964	-111,27	0,59	0,00671	105,45	2,18	0,00741	14,63	-0,45	0,45052
1L00764	51450,4000	-109,08	2,78	-0,00863	104,49	1,23	0,01288	15,11	0,02	0,42660
1L00765	51450,4034	-111,85	0,00	-0,00822	103,26	0,00	0,01513	15,08	0,00	0,43695
1L00766	51450,4069	-110,80	1,05	-0,00783	106,18	2,93	0,01648	14,57	-0,51	0,44340
1L00767	51450,4105	-109,07	2,77	0,00072	103,99	0,74	0,01963	14,94	-0,14	0,43635
1L00768	51450,4140	-110,91	0,92	-0,00644	105,83	2,59	0,02021	14,63	-0,45	0,42949
1L00769	51450,4175	-109,06	2,77	-0,00250	103,98	0,74	0,02286	14,94	-0,14	0,44175
1L00770	51450,4210	-111,83	0,00	0,00060	103,24	0,00	0,01097	15,08	0,00	0,43159
1L00771	51450,4246	-111,19	0,63	0,01725	105,48	2,24	0,00279	14,62	-0,46	0,43227
1L00772	51450,4281	-110,83	0,99	0,01081	105,83	2,60	0,01418	14,48	-0,60	0,43018
1L00773	51450,4315	-110,76	1,05	-0,00595	106,15	2,93	0,01557	14,57	-0,51	0,43275
1L00774	51450,4350	-110,88	0,92	0,00741	105,80	2,59	0,00641	14,62	-0,45	0,41383
1L00775	51450,4385	-110,75	1,05	-0,00016	106,14	2,93	0,01476	14,56	-0,51	0,42090
1L00776	51450,4420	-110,75	1,05	0,00436	106,13	2,93	0,00674	14,56	-0,51	0,40265
1L00777	51450,4455	-110,74	1,05	0,00949	106,13	2,93	0,01150	14,56	-0,51	0,43878
1L00778	51450,4490	-109,84	1,94	-0,00303	105,34	2,14	0,01094	14,52	-0,55	0,39628
1L00779	51450,4525	-110,01	1,76	-0,01589	104,91	1,73	0,01145	14,56	-0,51	0,41095
1L00781	51450,4785	-110,73	0,99	0,00408	105,73	2,60	0,00404	14,46	-0,60	0,39376
1L00782	51450,4820	-111,71	0,00	0,00640	103,13	0,00	0,00233	15,06	0,00	0,39197
1L00783	51450,4855	-110,70	1,00	-0,00482	105,35	2,23	0,00340	15,17	0,12	0,40629
1L00784	51450,4890	-109,93	1,76	-0,01324	104,84	1,73	0,00881	14,55	-0,51	0,40666
1L00785	51450,4925	-109,92	1,76	-0,01315	104,83	1,73	0,00876	14,55	-0,51	0,40658
1L00799	51450,6036	-109,52	1,80	-0,00573	104,50	1,73	0,02165	13,96	-1,06	0,27755
1L00800	51450,6071	-109,26	2,05	0,00282	105,90	3,15	0,01271	14,64	-0,39	0,30593
1L00801	51450,6106	-110,40	0,89	0,00835	104,35	1,61	0,00325	14,27	-0,75	0,32860
1L00802	51450,6141	-108,98	2,30	0,00001	104,48	1,75	0,00909	13,84	-1,18	0,34825
1L00803	51450,6176	-110,16	1,11	-0,01484	104,06	1,34	0,02570	14,05	-0,97	0,36784
1L00804	51450,6211	-111,24	0,01	-0,00533	105,13	2,43	0,01048	15,47	0,45	0,41967



Tabulka 15: pokračování

číslo spektra	T	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>	RV <sub>telur</sub>	(O-C) <sub>telur</sub>	s <sub>telur</sub>
1L00805	51450,6246	-111,22	0,01	-0,00549	105,12	2,43	0,01021	15,47	0,45	0,41875
1L00806	51450,6281	-111,56	-0,34	-0,00827	104,84	2,17	0,02194	14,38	-0,64	0,45614
1L00807	51450,6317	-111,19	0,01	-0,01185	105,09	2,43	0,01749	15,46	0,45	0,43916
1L00808	51450,6352	-111,18	0,01	0,00336	105,08	2,43	0,01490	15,46	0,45	0,47503
1L00809	51450,6387	-109,03	2,14	-0,01589	103,97	1,34	0,01635	14,85	-0,16	0,45713
1L00810	51450,6423	-111,16	0,00	0,00970	102,62	0,00	-0,00647	15,01	0,00	0,49498
1L00811	51450,6458	-111,13	0,01	0,03016	105,03	2,43	-0,01353	15,46	0,45	0,51806
1L00812	51450,6494	-110,40	0,73	0,00406	105,39	2,80	0,00484	15,69	0,68	0,54187
1L00813	51450,6529	-110,42	0,69	-0,00363	106,61	4,03	0,01614	15,56	0,55	0,56330
1L00814	51450,6564	-111,15	-0,05	0,02164	104,90	2,34	-0,00001	14,42	-0,59	0,57532
1L00815	51450,6599	-110,38	0,69	0,01571	106,58	4,03	-0,00336	15,56	0,55	0,59542
1L00816	51450,6635	-108,84	2,22	0,02083	105,89	3,36	-0,00065	14,32	-0,69	0,61296
1L01098	51472,5393	28,46	-2,80	0,02527	-25,93	2,93	-0,04033	7,86	0,12	-0,50995
1L01099	51472,5428	29,39	-1,71	0,01321	-25,06	3,65	-0,00122	7,96	0,22	-0,52887
1L01100	51472,5463	29,79	-1,15	-0,00835	-25,07	3,49	0,03389	8,61	0,87	-0,44675
1L01101	51472,5499	33,36	2,59	0,01565	-35,17	-6,76	0,01824	5,77	-1,97	-0,45662
1L01102	51472,5534	29,06	-1,54	0,03409	-24,79	3,46	0,00325	8,80	1,06	-0,43813
1L01103	51472,5569	29,93	-0,52	0,05326	-25,74	2,37	-0,01593	9,36	1,63	-0,43492
1L01104	51472,5605	29,03	-1,24	0,04768	-25,20	2,76	-0,00460	10,70	2,97	-0,44365
1L01105	51472,5640	30,03	-0,09	0,04662	-25,89	1,91	-0,00438	9,61	1,88	-0,44206
1L01106	51472,5676	30,00	0,06	0,01353	-25,32	2,32	0,02412	9,97	2,24	-0,37633
1L01107	51472,5711	29,88	0,10	-0,00228	-25,35	2,14	0,02896	9,83	2,10	-0,42207
1L01108	51472,5746	29,53	-0,09	0,05835	-25,43	1,91	-0,02392	9,61	1,88	-0,44664
1L01109	51472,5781	31,34	1,88	0,02887	-24,49	2,70	-0,00449	10,58	2,85	-0,40477
1L01110	51472,5817	31,20	1,92	-0,06939	-24,71	2,32	0,08406	9,96	2,23	-0,39146
1L01111	51472,5851	34,02	4,90	-0,09706	-21,36	5,53	0,10937	6,68	-1,05	-0,45354
1L01112	51472,5886	30,24	1,29	-0,02502	-25,02	1,72	0,05093	10,12	2,39	-0,40387
1L01113	51472,5922	29,55	0,76	-0,07706	-24,49	2,08	0,09362	8,49	0,76	-0,42737

Tabulka 15: pokračování

číslo spektra	T	RV <sub>prim</sub>	(O-C) <sub>prim</sub>	s <sub>prim</sub>	RV <sub>sek</sub>	(O-C) <sub>sek</sub>	s <sub>sek</sub>	RV <sub>telur</sub>	(O-C) <sub>telur</sub>	s <sub>telur</sub>
1L01114	51472,5956	30,00	1,37	-0,11556	-26,12	0,31	0,11741	9,11	1,39	-0,45896
1L01115	51472,5991	28,36	-0,10	-0,14609	-23,92	2,35	0,12208	8,82	1,10	-0,38237
1L01116	51472,6026	28,29	0,00	-0,09658	-26,12	0,00	0,11006	7,72	0,00	-0,38552
1L01117	51472,6061	29,63	1,50	-0,18127	-24,26	1,71	0,16057	9,57	1,85	-0,41306
1L01118	51472,6096	30,71	2,75	-0,15764	-24,28	1,53	0,14771	9,59	1,87	-0,34032
1L01119	51472,6131	27,79	0,00	-0,09766	-25,66	0,00	0,09367	7,72	0,00	-0,29658
1L01120	51472,6166	28,83	1,21	-0,04620	-21,89	3,61	0,05032	7,24	-0,47	-0,23350
1L01121	51472,6201	34,47	7,02	-0,02238	-25,13	0,22	0,02653	5,16	-2,55	-0,20470
1L01122	51472,6237	33,31	6,02	-0,03311	-21,44	3,75	0,02003	5,03	-2,68	-0,18124
1L01123	51472,6272	30,18	3,07	-0,09999	-23,57	1,46	0,07477	11,28	3,57	-0,19973
1L01124	51472,6307	33,33	6,38	-0,07735	-27,46	-2,58	0,05436	6,50	-1,21	-0,25751
1L01125	51472,6342	29,64	2,87	-0,04786	-22,92	1,80	0,04787	9,76	2,05	-0,14349
1L01126	51472,6377	33,97	7,36	-0,01690	-26,53	-1,96	0,02015	5,59	-2,12	-0,11153
1L01127	51472,6412	33,97	7,53	-0,04376	-24,19	0,22	0,05664	5,82	-1,88	-0,11836
1L01128	51472,6447	22,16	-4,11	-0,06434	-19,74	4,51	0,05548	7,49	-0,21	-0,12544
1L01129	51472,6482	28,06	1,96	-0,04248	-26,08	-1,98	0,04544	11,13	3,43	-0,12021
1L01130	51472,6517	33,11	7,18	-0,03501	-20,46	3,48	0,03935	7,01	-0,69	-0,07099
1L01131	51472,6551	21,16	-4,60	-0,11951	-21,52	2,27	0,08896	5,85	-1,85	-0,12470
1L01132	51472,6586	36,65	11,06	-0,06809	-12,57	11,06	0,05294	5,44	-2,26	-0,06396

## Reference

- Adams, W.S. 1912, ApJ, 35, 172
- Aerts, C., Mathias, P., Gillet, D., Waelkens, C. 1994, A & A, 286, 109
- Aerts, C., Lehmann, H., Briquet, M., Scufflaire, R., Dupret, M. A., De Ridder, J., Thoul, A. 2003, A & A, 399, 639
- Baade, D. 1983, Hvar Obs.Bull., 7, 185
- Baade, D. 1987, in *IAU Colloquium 92, Physics of Be Stars*, ed. A. Slettebak and T. P. Snow (Cambridge University Press), p. 361
- Balona, L.A. 1990, MNRAS, 245, 92
- Beardsley, W.R. 1969, Publ. Allegheny Obs. 8, No. 7
- Blaauw, A., van Albada, T.S. 1963, ApJ, 137, 791
- Böhme, D. 1984, Inf. Bull. Var. Stars, No. 2507
- Božić, H. Harmanec, P., Horn, J., Koubský, P., Scholz, G., McDavid, D., Hubert, A.-M., Hubert, H. 1995, A & A, 304, 235
- Bradstreet, D. H., Steelman, D. P. 2002, A & AS, 201, 7502
- Buser, R., Kurucz, R.L. 1978, A & A, 70, 555
- Claret, A. 2000, A & A, 363, 1081
- Code, A.D., Bless, R.C., Davis, J., Brown, R.H. 1976, ApJ, 203, 417
- Code, A.D., Davis, J., Bless, R.C., Brown, R.H. 1976 ApJ, 203, 417
- Conti, P.S., Frost, S.A. 1977, ApJ, 212, 728
- Cramer, N. 1984, A & A, 132, 283
- De Mey, K., Aerts, C., Waelkens, C., Van Winckel, H. 1996, A & A, 310, 164
- De Mey, K., Aerts, C., Waelkens, C., Cranmer, S. R., Schrijvers, C., Telting, J. H., Daems, K., Meeus, G. 1997, A & A, 324, 1096
- Djurašević, G. 1991, Ispitivanje aktivnih tesnih dvojnih sistema na osnovu fotometrijskih merenja, P.O.A.B. No.42,1-215
- Figer, A., Maurin, L. 1979, GEOS Circular on Eclipsing Binaries EB2, Paris, January 12, 1979
- Figer, A. 1980, Note Circulaire GEOS NC 253, Paris, Oct. 2, 1980
- Fitch, W.S. 1967, ApJ, 148, 481

- Fitch, W.S. 1969, *ApJ*, 158, 269
- Fullerton, A.W., Gies, D.R., Bolton, C.T. 1996, *ApJ*, 103, 475
- Gaspani, A. 1982, *Inf. Bull. Var. Stars*, No. 2077
- Güssow, M. 1929, *Astron. Nachr.*, 237, 321
- Hadrava, P. 1990, *Contr. Astron. Obs. Skalnaté Pleso*, 20, 23
- Hadrava, P. 1995, *A & AS*, 114, 393
- Hadrava, P. 1997, *A & AS*, 122, 581
- Harmanec, P. 1988, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.*, 39, 329
- Harmanec, P. 1989, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.*, 40, 201
- Harmanec, P., Tarasov, A.E. 1990, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.*, 41, 273
- Harmanec, P., Horn, J., Juza, K. 1994, *A & AS*, 104, 121
- Harmanec, P., Hadrava, P., Yang, S., Holmgren, D., North, P., Koubský, P., Kubát, J., Porreti E. 1997, *A & A*, 317, 867
- Harmanec, P. 1998, *A & A*, 335, 173
- Harmanec, P., Horn, J. 1998, *Journal of Astronomical Data*, 4, CD-ROM file 5
- Harmanec, P., Božić, H. 2001, *A & A*, 369, 1140
- Hill, G. 1979, *Publ. Dom. Astrophys. Obs.*, 15, 297
- Holmgren, D., Hadrava, P., Harmanec, P., Koubský, P., Kubát J. 1997, *A & A*, 322, 565
- Holmgren, D., Hadrava, P., Harmanec, P., Eenens, P., Corral, L.J., Young S., Ak H., Božić H. 1999, *A & A*, 345, 855
- Horn, J., Kubát, J., Harmanec, P., Koubský, P., Hadrava, P., Šimon, V., Štefl, S., Škoda, P. 1996, *A & A*, 309, 521
- Hubeny, I., 1988, *Comp. Phys. Commun.* 52, 103
- Hubeny, I., & Lanz, T. 1995, *ApJ*, 439, 875
- Hubeny, I., Lanz, T., Jeffery, C.S. 1994, in *Newsletter on Analysis of Astronomical Spectra*, No.20, C.S.Jeffery ed., St. Andrews University, p.30
- Chapellier, E., Le Contel, J.M., Le Contel, D., Sareyan, J.P., Valtier, J.C. 1995, *A & A*, 304, 406
- Johnson, H.L., Morgan, W.W. 1953, *ApJ*, 117, 313
- Johnson, H.L. 1958, *Lowell Obs. Bull.*, 4, 37
- Kallrath, J., Linnel, A.P. 1987, *ApJ*, 313, 167
- Kato, S. 1974, *PASJ*, 26, 341

- Kurtz, D.W. 1977, PASP, 89, 939
- Lee, U. 1993, ApJ, 417, 697
- Lehmann, H., Harmanec, P., Aerts, C., Božić, H., Eenens, P., Hildebrandt, G., Holmgren, D., Mathias, P., Scholz, G., Šlechta, M., Yang, S. 2001, A & A, 367, 236
- Lesh, J.R., Aizenman, M.L. 1973, A & A, 26, 1
- Linnell, A.P., Hubeny, I. 1996, ApJ, 471, 958
- Mikulášek, Z., Žižňovský, J., Zverko, J., Polosukhina, N.S. 2003, Contr. Astron. Obs. Skalnaté Pleso, 33, 29
- North, P., Rufener, F., Figer, A., Maurin, L. 1981, Inf. Bull. Var. Stars, No. 2036
- Osaki, Y. 1971, PASJ, 23, 485
- Percy, J.R., Madore, K. 1971, in *New directions and New Frontiers in Variable Star Research*, Veröff. der Remeis-Sternwarte Bamberg 9, 197
- Perryman, M. A. C., Høg, E., Kovalevsky, J., Lindegren, L., & Turon, C. 1997, ESA SP-1200: The Hipparcos and Tycho Catalogues
- Pigulski, A., Boratyn, D.A. 1992, A & A, 253, 178
- Plavec, M. 1971, PASP, 83, 144
- Polfliet, R., Smeyers, P. 1990, A & A, 237, 110
- Popper, D.M. 1980, ARA&A, 18, 115
- Poretti, E. 1982, Inf. Bull. Var. Stars, No. 2239
- Poretti, E. 1984, Inf. Bull. Var. Stars, No. 2529
- Ron, C., Vondrák, J. 1986, Bull. Astron. Inst. Czechosl., 37, 96
- Simon, K.P., Sturm, E. 1994, A & A, 281, 286
- Smak, J. 1970, Acta Astron., 20, 75
- Smith, M.A. 1977, ApJ, 215, 574
- Smith, M.A. 1978, ApJ, 224, 927
- Smith, M.A. 1985, ApJ, 297, 206
- Smith, M.A. 1986, PASP, 98, 33
- Smith, M.A., Fullerton, A.W., Percy, J.R. 1987, ApJ, 320, 768
- Stothers, R., Simon, N.R. 1969, ApJ, 157, 673
- Stothers, R., Simon, N.R. 1970, PASP, 82, 707
- Škoda, P. 1996, Adass, 5, 187

- Tarasov, A.E., Harmanec, P., Horn, J., Lyubimkov, L.S., Rostopchin, S.I., Koub-  
ský, P., Blake, C., Kostunin, V.V., Walker, G.A.H., Yang, S. 1995, A & AS,  
110, 59
- Tassoul, J.-L., 1987, ApJ, 322, 856
- Tassoul, J.-L., 1988, ApJ, 324, L71
- Wade, R.A., Rucinski, S.M. 1985, A & AS, 60, 471
- Waelkens, C., Rufener, F. 1983, A & A, 121, 45
- Walker, G.A.H., Moyles, K., Yang, S., Fahlman, G.G. 1982, PASP, 94, 143
- Wilson, R.E., Devinney, E.J. 1971, ApJ, 166, 605
- Zahn, J.P. 1977, A & A, 57, 383

**Elektronické publikace:**

- Hadrava P. (<http://www.asu.cas.cz/~had/fotel.html>): „FOTEL-User’s guide“
- Hadrava P. (<http://www.asu.cas.cz/~had/korel.html>): „KOREL-User’s guide“
- Hadrava P. (<http://www.asu.cas.cz/~had/korel.html>): „PREKOR“
- Wichmann R. (<http://www.lsw.uni-heidelberg.de/~rwichman/Nightfall.html>)