

# Pulzáló fehér törpék nyomában

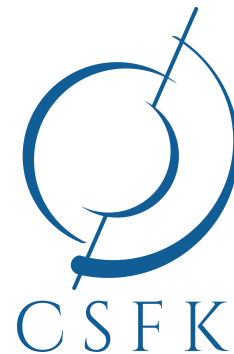
lehetséges *TESS* objektumok fotometriai analízise

Tudományos Diákköri dolgozat

**Kalup Csilla**

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Fizika BSc II. évfolyam, csillagász szakirány



Témavezető:

Sódorné Bognár Zsófia, PhD

tudományos munkatárs

MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet

Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar

Csillagászati Tanszék

Budapest, 2017



# Tartalomjegyzék

<b>Kivonat</b>	<b>iii</b>
<b>1. Bevezetés</b>	<b>1</b>
1.1. A csillagok életútja a fehér törpe állapotig . . . . .	1
1.2. Fehér törpék jellemzése . . . . .	3
1.3. Pulzáló fehér törpék . . . . .	4
<b>2. A TESS projekt</b>	<b>7</b>
<b>3. Alkalmazott módszerek</b>	<b>9</b>
3.1. Képkorrekciók . . . . .	9
3.2. Fotometria . . . . .	10
3.3. Fénygörbe-korrekciók . . . . .	11
3.4. Fourier-analízis . . . . .	12
<b>4. Mérések</b>	<b>13</b>
4.1. Nem változók . . . . .	13
4.2. Változók . . . . .	15
4.2.1. EGGR120 . . . . .	15
4.2.2. WD 1310+583 . . . . .	16
4.2.3. Egyéb talált változók . . . . .	20
<b>5. Összefoglalás, jövőbeli tervek</b>	<b>23</b>
<b>Köszönetnyilvánítás</b>	<b>25</b>
<b>Irodalomjegyzék</b>	<b>27</b>
<b>Függelék</b>	<b>30</b>



# Kivonat

A *TESS* űrtávcső (Transiting Exoplanet Survey Satellite) a NASA Explorer programjának részeként várhatóan 2018 márciusában kezdi meg küldetését, fő célja pedig tranzit módszerrel exobolygókat detektálni jellemzően közeli és fényes (maximum kb. 15 magnitúdós) csillagok körül. Az eszköz a tervek szerint két éven keresztül fogja mérni az égboltot, melyhez négy, együttesen 24x96 fokos látómezőt biztosító CCD kamerát használ. Mind 20 másodperces, mind 2 és 30 perces mintavételezési időnek megfelelő adatokat szolgáltat majd, melyek közül az első kettő kiválóan alkalmassá teszi többek között a jelen dolgozatban tárgyalt rövid periódusú pulzáló fehér törpecsillagok vizsgálatára is.

Munkám során a *TESS* kompakt pulzátorok munkacsoportjának lehetséges célobjektumaiból válogattam a ZZ Ceti és a V777 Her instabilitási sávokhoz közeli fehér törpéket, melyeket aztán az MTA CSFK CSI Piszkésetetői Observatóriumában található 1 méteres RCC teleszkóppal észleltem. Részt vettem a felvételek fotometriájában és az egyes fénygörbék Fourier-analízisében is, ezáltal keresve eddig fel nem fedezett pulzáló fehér törpecsillagokat, melyek így jó eséllyel ténylegesen a *TESS* célpontjai közé kerülhetnek.

Dolgozatomban ismertetem a 16 vizsgált fehér törpe fotometriai tulajdonságait, köztük két újonnan talált pulzáló fehér törpe (az EGGR 120 és a WD 1310+583 jelűek) vizsgálatának eredményeit is. Míg az EGGR 120 esetében egy szignifikáns pulzációs frekvenciát találtunk, addig a WD 1310+583-nál 17 pulzációs frekvenciát sikerült kimutatni. Ezek között megtalálhatóak nagyon közeli frekvenciák, dubletek és kombinációs frekvenciák is, illetve feltételezhetünk amplitúdó- és frekvenciaváltozásokat. További eredményként pedig ismertetek két, más típusba tartozó új változócsillagot, melyeket egy-egy vizsgált fehér törpe égitületén találtunk.



# 1. fejezet

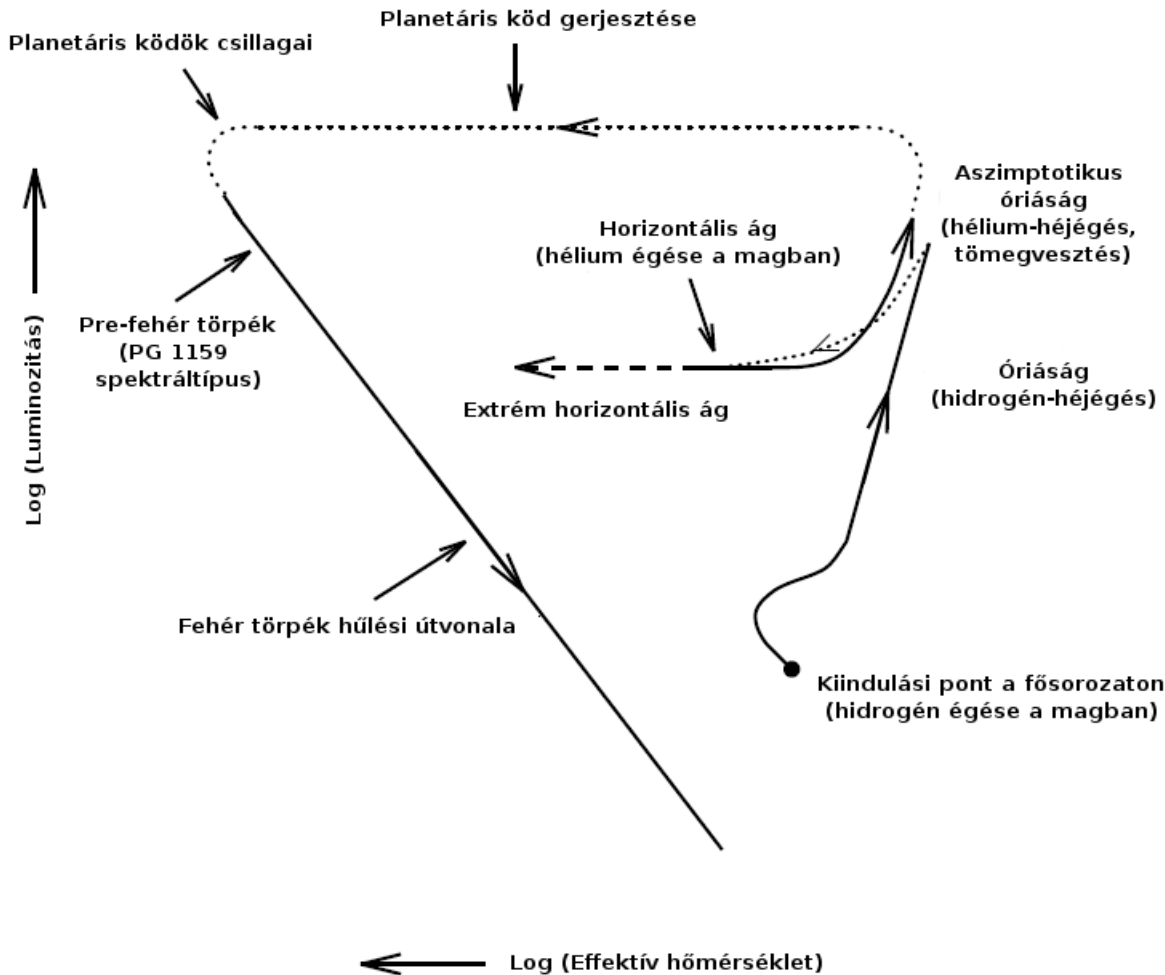
## Bevezetés

### 1.1. A csillagok életútja a fehér törpe állapotig

A csillagok körülbelül 97%-a (köztük a Napunk is) fehér törpecsillagként fejezi be a fejlődését. Ezek a csillagok maximálisan kb. 8 naptömegnyi kezdőtömeggel rendelkeznek. A csillagok életútjának nyomon követésére remek szemléltetés a csillagászat egyik legfontosabb állapotdiagramja, a Hertzsprung-Russel diagram (továbbiakban HRD), melynek vízszintes tengelyén a színképosztályok (hőmérséklet), függőleges tengelyén a luminozitás (abszolút fényesség) helyezkedik el. Itt a csillagok, miután beindult bennük a hidrogén fúziója héliummá és stabilizálódott az állapotuk, az ún. fősorozaton helyezkednek el, mely a grafikon bal felső sarkától a jobb alsó sarkáig terjed. Az 1.1. ábra egy Naphoz hasonló csillag fejlődését mutatja be sematikusan a HRD-n, a fősorozattól a fehér törpe állapotig.

Amikor a fúzió során a magban található hidrogén mennyisége lecsökken, a fúzióból származó sugárnyomás mértéke kisebb lesz, mint a tömegből fakadó gravitációs összehúzóerő, tehát az egyensúlyi állapot megbomlik és a mag elkezd összehúzódni. A csillag elhagyja a fősorozatot közel konstans luminozitás mellett, és az egyre alacsonyabb effektív hőmérsékleti ( $T_{\text{eff}}$ ) tartományok felé halad. Ez a hőmérséklet-csökkenés megáll a csillag külső részében fellépő konvekció miatt, ami sokkal hatékonyabban szállítja a hőt a magból a felszín felé. Ettől kezdve a csillag luminozitása közel állandó effektív hőmérséklet mellett nő, és a HRD ún. vörös óriás ágára (RGB, Red Giant Branch) jut. A mag összehúzóerője egészen addig tart, amíg elég nagy nem lesz benne a hőmérséklet, hogy elinduljon a hélium fúziója szén- és oxigénné. Ekkor újra beáll az egyensúly, ám a hélium fúzió már rövidebb ideig fog tartani. A csillagunk ekkor az ún. horizontális ágon (HB, azaz Horizontal Branch) található, ahol a hélium-égés mellett hidrogén-héjégés szolgáltat további energiát.

Amikor a magban más elemek fúziója már nem tud beindulni, a csillag az aszimptotikus



1.1. ábra. CSILLAGFEJLŐDÉS A HRD-N A FŐSOROZATTÓL A FEHÉR TÖRPE ÁLLAPOTIG.  
(Eredeti: Marsh 1995.)

óriáságra kerül (AGB, azaz Asymptotic Giant Branch). Ebben a fejlődési állapotban van egy összehúzódó mag, amely szén és oxigént tartalmaz, ezt körülveszi egy közel tiszta héliumot tartalmazó, és egy kiterjedt, hidrogénben gazdag héj, mely utóbbiakban fúzió zajlik. Számítá-  
sok szerint azonban a hélium-héjégés az AGB csillag burkában termikusan nem stabil, melynek oka, hogy a hidrogén-héjégés növeli a hidrogén és hélium égető héj közötti részben a hélium mennyiségét, amittől megnő ezen régió alján a nyomás és a hőmérséklet. A hélium égető héj idővel elvékonyodik, amikor pedig a hélium égető héj fölötti rész tömege elér egy kritikus értéket, a hélium égése ebben a vékony héjban termikusan megszalad, mivel a hőmérsékletnövekedés hatását nem lehet kellően ellensúlyozni a gázréteg tágulásával és az ezáltal bekövetkező nyomáscsökkenéssel. Ezt a jelenséget hívják héliumhéj-villámnak ('helium shell flash'). A héliumhéj-villámot követően a héliumégető héj kitágul és lehűl, majd egy stabil égetési fázis



következik. Ezek az ún. termális pulzusok, melyek során a csillag a HRD-n egy időre balra lefelé mozdul el, többször is megismétlődhetnek a fejlődése folyamán.

Az AGB-n a termális pulzusok mellett hasonlóan jelentős a tömegvesztés. A külső rétegek egy része ledobódik és ionizálódik, ezáltal a csillag elindul a fehér törpe hűlési útvonalon. A ledobódott külső, ionizált rétegek rövid életű planetáris ködként veszik körül a fiatal fehér törpét, melyek az egykori AGB-n lévő csillagok magjai és a körülöttük lévő hélium-hidrogén réteg maradványai. Ezeket az objektumokat nevezzük PWD-knek (Pre-White Dwarf). A PWD csillagok még jellemzően forróak (akár 170 000 K-esek is lehetnek) és fényesek (meghaladhatják az 1000 napluminozitást). Mivel belsejükben már leállt az energiatermelés, folyamatosan hűlnek és összehúzódnak, amit végül csak a degenerálttá vált elektrongáz nyomása állít meg. Innentől beszélhetünk fehér törpékről.

Van egy alternatív lehetőség is a fehér törpévé váláshoz, ez pedig a szubtörpe objektumok által lehetséges. Ahogyan a nevük is sejteti, ezen csillagok tömege nem elég nagy ahhoz, beinduljon bennük a héliumhéj-égés, így nem kerülnek az AGB-re, hanem elhagyva a horizontális ágat, közel állandó luminozitás mellett húzódnak össze az ún. extrém horizontális ágon a degenerált állapot eléréséig, ezáltal tehát körülöttük nem alakul ki planetáris köd.

## 1.2. Fehér törpék jellemzése

A fehér törpecsillagok kis méretű csillagmaradványok, nagyságrendileg a Föld méretével összemérhetőek. Méretükből adódóan halvány égitestek, melyeket főleg spektroszkópiai úton fedeznek fel. Jelen dolgozat írásakor mintegy 39 000 fehér törpét ismerünk (Kepler és mkt-sai., 2017). Az eddig ismert fehér törpék tömege többségében 0,6-0,7 naptömeg között van, ennél nagyobb vagy kisebb tömeg ritkábban fordul elő (Kepler és mkt-sai., 2007). Annyi azonban bizonyos, hogy az ún. Chandrasekhar-határ miatt egy fehér törpe maximális tömege kb. 1,4 naptömeg lehet, máskülönben szerkezeti instabilitás lépne fel bennük. Emiatt alakulnak ki az Ia típusú szupernóvák is: egy szoros kettősrendszerben keringő fehér törpe anyagot kap kísérőjétől, egészen addig, amíg a tömege át nem lépi a Chandrasekhar-határt, ekkor ugyanis termonukleáris szupernóvaként felrobban.

A fehér törpéknek jellemzően degenerált szén-oxigén magjuk van, mely az össztömegük mintegy 99%-át teszi ki. Ezt a magot veszi körül egy nagyon vékony, nem degenerált gázból álló burok. A csillagban a különböző nehézségű elemek egymásra rétegződve találhatóak meg, köszönhetően a jellemzően nagy gravitációs gyorsulás értékeknek ( $\log g \sim 8$ ).

A légkörük külső rétegét alkotó elemek, azaz spektrális tulajdonságaik alapján csoportosíthatjuk a fehér törpéket. A legjellemzőbb típus, mely a fehér törpék kb. 75 százalékára jellemző, hogy a magot körülvevő burok legkülső része hidrogénből áll. Ezeket a fehér törpéket DA típusú

fehér törpéknek nevezzük, és valószínűleg két termális pulzus közti stabil időszakban alakultak ki. Azok a fehér törpék, amik épp egy termális pulzus alatt tértek le az AGB-ről, szinte teljesen elvesztették hidrogén készletüket: ők hélium légkörrel rendelkeznek. Hélium légkörű fehér törpéből kétféle is létezik: az egyik színeképében neutrális (semleges) héliumot mutat (DB típus), a másik pedig egyszerűen ionizált héliumot (DO típus). A DB típusú fehér törpék effektív hőmérséklete 12 000 K – 30 000 K között van, míg a DO típusúak forróbbak 45 000 K-nél is. Érdekes látni, hogy van egy tartomány 30 000 K és 45 000 K között, ahol csupán elenyésző számú fehér törpét ismerünk. Ennek a „DO-DB gap”-nek az oka még nem tisztázott. További típusok a 12 000 K effektív hőmérséklet alatti szénvonalas fehér törpék (DQ típus), vagy a fémvonalas fehér törpék (DZ típus). Ezeken kívül vannak kontinuumot mutatók (DC típus), illetve hibrid típusok is (pl.: DAO, DBA típusok), melyek színeképe hidrogént és héliumot is mutat.

### 1.3. Pulzáló fehér törpék

1964-ben egy fotometriai égboltfelmérés során Arlo U. Landolt amerikai csillagász észrevette, hogy a HL Tau 76 nevű csillag, mely akkoriban egy DA típusú fehér törpeként volt számon tartva, kis amplitúdójú, rövid periódusú, valószínűleg multiperiodikus fényességváltozásokat mutat (Landolt, 1968). Ma már az ilyen csillagokat DAV csillagoknak nevezzük, a DA típus végére illesztett V betűvel jelölve, hogy változócsillag-típusról van szó. Ez volt az elsőként felfedezett pulzáló fehér törpecsillag, ám a típust mégsem erről, hanem a második felfedezett-ről keresztelték el ZZ Cetinek. A felfedezés hatására az érdeklődés hamar a fehér törpék felé fordult, így az elkövetkező években, évtizedben számos új DAV típusú pulzáló fehér törpét fedeztek fel. Ezen szisztematikus mérések alapján a pulzáció okát kutató elméleti csillagászok jó modelleket tudtak felállítani a jelenségre, és kimutatták, hogy a mért fényességváltozások valószínűleg nemradiális  $g$ -módusú pulzáció eredményei. Többek között ezek alapján jóslták meg a DBV csillagok létezését, melyeket aztán fel is fedeztek, elsőként a típus másik elnevezését adó V777 Her csillagot (Winget, 1981; Winget és mksai., 1982).

Jelenleg a pulzáló fehér törpéket három nagy csoportra osztjuk: az első nagy csoportot a ZZ Ceti, azaz DAV csillagok alkotják, melyek a pulzáló fehér törpék több mint 80%-át teszik ki. Periódusidejük jellemzően 100–1500 s közötti, fényességváltozásuk amplitúdója pedig jellemzően a millimagnitúdós tartományba esik. Instabilitási sávjuk, melyen belül pulzációt mutatnak, nagyjából 10 500 K és 13 000 K között húzódik. A második csoport a DBV csillagok, melyek instabilitási sávja 22 000 K – 29 000 K között található. Fényességváltozásuk periódusában és amplitúdójában a DAV csillagokhoz hasonlóak. Mindkét típusnál a pulzáció gerjesztésében kulcsfontosságú a csillag burkában lejátszódó konvekció, azaz a konvektív zóna azon részéhez kapcsolódik, ahol a hidrogén (DAV), vagy a hélium (DBV) egy része ionizálva van

jelen. Az utolsó nagy csoportot a GW Vir csillagok alkotják. Ide tartoznak a DOV-k és az ún. PNNV (Planetary Nebula Nucleus Variable, azaz planetáris köddel rendelkező kompakt pulzátor) objektumok, melyek között a különbség annyi, hogy a PNNV-k körül a nevékből fakadóan még van planetáris köd, a DOV-k körül pedig jellemzően már nincs. A GW Vir csillagok pulzációjának oka a szén és oxigén egy részének ciklikus ionizációja. Instabilitási sávjuk 75 000 K és 170 000 K között van, pulzációs periódusidejük pedig 300–6000 s közti.

A fehér törpékben ún. nemradiális pulzáció zajlik. A csillag felszínének ezen deformációit szférikus harmonikus függvényekkel tudjuk leírni, és három kvantumszámmal jellemezni. A radiális kvantumszám avagy radiális rend ( $k$  vagy  $n$ ) megadja a radiális irányú csomófelületek számát, a horizontális fok ( $l$ ) a felszínen megjelenő összes csomóvonal számát, az azimutális rend ( $m$ ) pedig a longitudinális irányú  $l$ -eket adja meg, azaz amik átmennek a csillag pulzációs szimmetriatengelyén.

A pulzációk vizsgálata egyedülálló lehetőséget biztosít a csillagok belső szerkezetének tanulmányozására: ezzel foglalkozik az asztroszeizmológia. A különböző frekvenciák különböző mélységekig terjedő hullámokat reprezentálnak, ezek észlelésével tehát a csillag különböző belső rétegei letapogathatóvá válnak. A pulzációs módusok a csillag olyan fizikai paramétereiről árulkodnak, mint pl. a hőmérséklet, nyomás, sűrűség, kémiai összetétel, hiszen ezektől függ, hogy az egyes hullámok meddig jutnak el a csillag belsejében.

Részletes átfogó tanulmányok, melyek a pulzáló fehér törpék tulajdonságaival foglalkoznak: Fontaine és Brassard (2008), Winget és Kepler (2008), Montgomery (2009) és Althaus és mi. (2010).

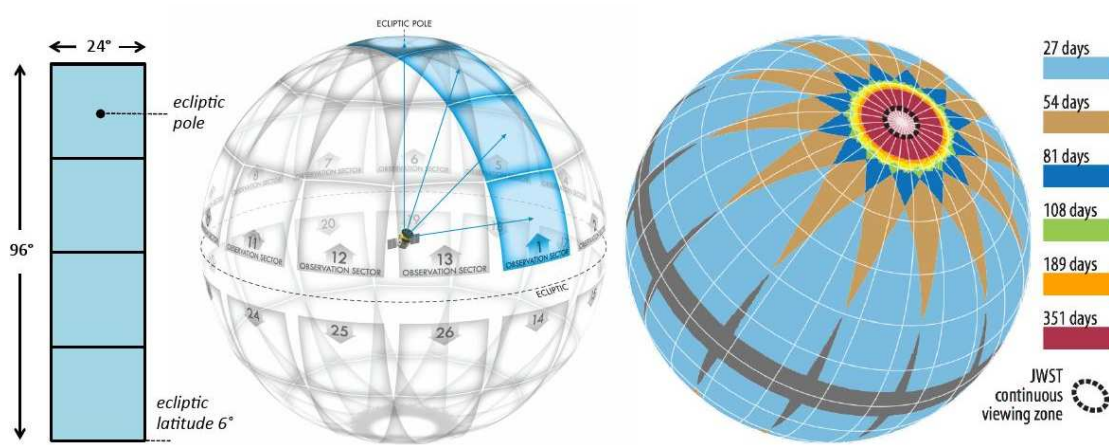


## 2. fejezet

### A *TESS* projekt

A *TESS* mozaikszó a Transiting Exoplanet Survey Satellite szavak kezdőbetűiből áll össze, s egy olyan űrtávcső nevét takarja, melynek tervezett indítása 2018 márciusában várható a NASA Explorer programjának részeként (Ricker és mksai., 2015). Az űreszköz 2 évre tervezett missziója során több mint 200 000 csillag fényét fogja mérni, miközben fő célja tranzit módszerrel exobolygókat detektálni. Bár a küldetése elsősre meglehetősen hasonlít a *Kepler* űrtávcsőjére, mely az exobolygó kutatás úttörő űrtávcsöve volt, vannak azonban jelentős különbségek. A *TESS* egy teljes égboltfelmérést fog végrehajtani, a *Kepler* csillagainál fényesebb, nagyjából 15 magnitúdós, közelebbi célcillagokat választva. Többek között ezzel biztosítja a földi ún. ‘follow-up’ azaz nyomonkövető mérések egyszerűbb kivitelezését, melyekkel az egyes csillagok fényességváltozásának észlelését földi bázisú mérésekkel folytathatjuk, illetve egészíthetjük ki. Az űrtávcső 4 CCD kamerájával hatalmas, 24x96 fokos látómezőt lehet majd elérni. Egy évig az éggömb egyik felét, egy évig a másikat fogja mérni, az egyes félgömböket pedig nagyjából az ekliptikától az aktuális ekliptikai pólusig terjedő sávokra osztva fog méréseket végezni. Egy-egy ilyen sávban 27 napig észlel, azonban az egyes sávok átfedése miatt az az idő, amit az egyes égterületek mérésével tölt, valójában az ekliptikai szélesség függvényében nő, az ekliptikai pólusok közelében akár 351 nap is lehet (2.1. ábra). Az eszközről három féle mintavételezési időnek megfelelően kapunk majd adatokat: 20 s, 2 min és 30 min. A rövid mintavételezési idők (2 perc és főleg a 20 másodperc) tökéletesek arra, hogy a rövid periódusidejű kompakt pulzátorokat megfigyeljük. Kompakt pulzátoroknak nevezzük azokat az elfejlődött égitesteket (fehér törpéket, szubtörpéket), melyek fényességváltozásuk által pulzációt mutatnak.

Általánosságban, a fotometriai űrmissziók méréseinek előnye a lehetőség folyamatos, hosszú időt átfogó és jó minőségű megfigyelésekre. Ezen objektumok fényességváltozása számos, sokszor kis amplitúdójú, egyidejűleg gerjesztett és közeli frekvenciaértékű pulzációs módus jelenlétének köszönhető (multiperiodikus változók). Űrből végzett megfigyelésük akár több tucat pulzációs frekvencia pontos detektálását is lehetővé teszi, ami pedig felhasználható aszt-



2.1. ábra. A *TESS* CCD KAMERÁINAK LÁTÓMEZEJE, ILLETVE AZ ÉSZLELÉSRE KIJELÖLT TERÜLETEK AZ ÉGGÖMBÖN (Ricker és mksai., 2015).

roszeizmológiai vizsgálatokhoz. Az ilyen vizsgálatokból kaphatunk becslést a kompakt csillagok egyes főbb fizikai paramétereire, belső szerkezetükre, forgási periódusaikra. Ezért alakult a *TESS* kompakt pulzátorok munkacsoportja, melynek témavezetőm is tagja, az ő munkájába tudtam ezáltal becsatlakozni. Célunk jelenleg a *TESS* űrtávcső felbocsátása előtt fényes fehér törpe változócsillag-jelöltek földi bázisú észlelésének végzése lehetséges *TESS* célpontok kiválasztásához.

## 3. fejezet

# Alkalmazott módszerek

### 3.1. Képkorrekciók

A CCD kamerákkal készített nyers objektumképek különböző technikai hibákkal terheltek, melyekkel korrigálni kell a képek kiértékelése előtt. Ennek érdekében készítettünk ún. korrekciós képeket, azaz bias, dark és flat felvételeket.

A bias képek zárt tubus mellett, nulla integrációs idővel készültek, ez tartalmazza a detektor kiolvasási zaját. A dark képek (sötétképek) a bias képekhez hasonlóan zárt tubus mellett készültek, ám az expozíciós idejük megegyezett az objektumképek expozíciós idejével. Erre azért van szükség, mert a kamera pixeleiben a termális fluktuációk is kiválthatnak töltéseket anélkül, hogy a kamerát fény érné. Mivel ez a sötétzaj a kamera nem nulla abszolút hőmérsékletével magyarázható, ezért bár megszüntetni nem lehet a problémát, a CCD kamera hűtésével jelentősen csökkenthető a mértéke. A hűtést folyékony nitrogénnel végzik, s esetünkben -30 és -40 Celsius fok közötti értékre hűtöttük le a kamerát. Mivel mind a bias, mind a dark hiba additív jellegű, ezért korrigálásuk egyszerű: vesszük külön-külön a bias illetve a dark képek átlagát, majd az így kapott master bias és master dark képeket levonjuk egyesével mindegyik objektumképből. A gyakorlatban egyes esetekben eltekintettünk a bias képek készítésétől, mivel a dark képek lényegében tartalmazzák ezeket. Flat képek nyitott távcső-tubus mellett, a távcső kupolájában található egyenletes megvilágítású ún. flat ernyő segítségével készültek. Expozíciós idejüket a flat lámpa fényének erősségétől függően választottuk meg, hogy se nem túl nagy, se nem túl kicsi pixelértékeket kapjunk, nagyjából a telítési érték fele körül. A flat képeken is el kell végezzük a bias- és dark-korrekciókat, ezt követően átlagoljuk őket egy darab master flat képpé, melyet normalunk az átlagintenzitással. Ezzel a normált képpel megkaptuk, hogy az egyes pixelek érzékenysége hány százaléka az átlagnak. A pixelek eltérő érzékenységéből adódó különbségeket aztán a nyers objektumképek normált képpel való leosztásával kaphatjuk

meg.

Ezen korrekciókkal sikerült a felvételeket mentesíteni a szisztematikus hibák alól, készen álltak a kiértékelésre. A képkorrekciókat, illetve a korrigált képek fotometriáját az IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) csillagászati programcsomag segítségével végeztem. A kiértékelés egyes lépéseinek meggyorsítására, az alapok elsajátítása után használtam a témavezetőm, illetve Sódor Ádám által írt fotometráló szkriptet. A következőkben a technikai felvételekkel való korrekciók utáni lépéseket részletezem.

## 3.2. Fotometria

Mielőtt elkezdődhet a fotometria, számost lépést kell még megtenni. Először az egyes képekhez az IRAF megfelelő programcsomagjainak segítségével kiszámítottam a Julián dátum (JD), illetve levegőtömeg értékeket. Ezt követően betöltöttem egy tetszőleges nyers képet a DS9 nevű képmegjelenítő programba, majd az IRAF segítségével és az IMEXAM paranccsal meghatároztam az egyes csillagok pixelkoordinátáit. Ezeket az adatokat aztán kimentettem egy 'koo' nevű fájlba, mely a képeken lévő csillagok alkotta konfigurációk beazonosításához szükséges, ennek segítségével tudja a majd a KOORDILL nevű program azonosítani a fotometrálni kívánt csillagokat. Erre azért van szükség, mert bár a távcső rendelkezésem ún. guiding-gal, azaz vezetéssel, ez azonban nem pixel pontosságú, ami a képek egymáshoz képesti elcsúszását eredményezi, ez pedig a fotometrálásnál okozhat problémát. Az utolsó lépés a fotometrálás előtt egy 'koord' nevű fájl létrehozása, mely csak a fotometrálni kívánt csillagok pixelkoordinátáit tartalmazza. A 'koo' és 'koord' fájlok tartalma egyébként megegyezhet egymással. Megszorítás, hogy ezen fájlok első sorában ugyanannak a csillagnak a koordinátái kell hogy szerepeljenek; mi általában a változó(-jelölt) csillagot helyeztük ide. A célpont égterületen való beazonosításához az ALADIN nevű interneten elérhető, illetve le is tölthető programot használtam<sup>1</sup>.

A csillagok azonosítása után apertúra-fotometriát alkalmaztam, azaz vettem egy adott sugarú apertúrát, melyet a fotometrálendő csillagokra illesztettem, majd az apertúrán belül felösszegeztem a pixelek intenzitásértékét és leosztottam a pixelek számával, kapva ezzel egy átlagos értéket. Fontos azonban, hogy ez tartalmazza az ottani égi háttér fényességét is, tehát ezt le kell vonni. Ehhez a csillag körül egy adott távolságra vettem egy 5 pixel széles gyűrűt, amin belül szintén felösszegeztem az intenzitásokat és vettem az átlagukat. Ezt az értéket levonva az apertúrán belüli intenzitásértékből kaptam meg a csillag intenzitását, mely a Pogson-képlet segítségével átkonvertálható magnitúdóvá. Előfordultak olyan esetek, amikor nem mindegyik képen tudta a KOORDILL program beazonosítani a csillagokat, ezek a képek egy 'errorlist'-

<sup>1</sup> <http://aladin.u-strasbg.fr/aladin.gml>



be kerültek. Mivel ezek között is előfordulhat olyan kép, ami felhasználható, csak valamilyen okból nem sikerült a csillagokat a programnak azonosítani, az ATNEZ szkriptet futtatva a hibalistába került képek egyesével megjelenítésre kerülnek a DS9 ablakban, ahol kézzel meg lehet jelölni rajtuk azt a csillagot, ami az első helyen szerepel a koordinátafájlokban. Ezekre aztán újra lefut a csillagazonosítás, illetve a fotometria, majd előáll a végső, időpontokat és a kiválasztott csillagokra magnitúdóértékeket tartalmazó fájl.

A változó(-jelölt) fénygörbéjének vizsgálatához differenciális fotometriát végeztem, ami azt jelenti, hogy nem a csillag egzakt fényességértékei voltak számomra lényegesek, hanem a fényességváltozásának mértéke egy konstans fényű csillaghoz viszonyítva. A végső adatfájlból az egyes fénygörbéket megvizsgálva kiválasztottam a legjobb összehasonlíthatókat, majd ezek átlagértékét mint egy összehasonlítható csillagét kivontam a változó(-jelölt) fényességadataiból, így megkaptam a változó(-jelölt) nyers differenciális fénygörbéjét.

### 3.3. Fénygörbe-korrekciók

Ezután következett a fénygörbe tisztítása és simítása. A tisztításhoz a Csubry Zoltán által írt WETCLEAN nevű programot használtam. Ennek segítségével korrigáltam a fénygörbét, kiszedtem a kilógó adatpontokat, melyek hibákat vittek volna a további analízisbe.

A fénygörbék simítása a GNU PLOT program segítségével történt. Ennek során korrigáltuk a fénygörbében megjelenő nagy skálájú trendeket, melyeket légköri, illetve instrumentális effektusok okozhatnak. Mivel azonban ez lehet akár a csillag hosszú periódusú változása is, ezért ezen módszer alkalmazásával ki kell jelentünk, hogy jelen dolgozatban a hosszú periódusú változásokkal most nem foglalkoztunk. Ilyeneket egyébként nem is várunk pulzáló fehér törpecsillagoknál, tehát elmondhatjuk, hogy a korrekció nem érintette a tipikus fehér törpe pulzációs frekvenciatartományt. A hosszú periódusú trendek levonásához alacsony rendű polinomokat illesztettünk a fénygörbékre. Annak érdekében, hogy minél kevésbé manipuláljuk az adatsort, igyekeztünk minél alacsonyabb rendű polinomot választani.

A kész fénygörbéhez vezető út utolsó lépéseként következett a Julián dátum konverziója Baricentrikus Julián dátumra. Ehhez az Eastman és mktsai. (2010) cikkben ismertetett webes programot használtuk<sup>2</sup>. Így jutottunk el a frekvenciaanalízisre kész adatsorokig, melyek már csak a Baricentrikus Julián dátumokat és a nulla átlagérték körüli fényességváltozásokat mutató differenciális magnitúdókat tartalmazták.

<sup>2</sup> [astrutils.astronomy.ohio-state.edu/time/utc2bjd.html](http://astrutils.astronomy.ohio-state.edu/time/utc2bjd.html)

### 3.4. Fourier-analízis

Az analízishez a FAMIAS nevű program (Zima, 2008) fotometria csomagját használtam. A Fourier-analízis során a csillag fényességváltozásában tapasztalható periodikus változásokat szinuszhullámok szuperpozíciójaként írjuk le. Ezeket a szinuszhullámokat a frekvenciájukkal, amplitúdójukkal, és egy adott epochához tartozó fázisukkal jellemezhetjük, melyekből létrehozható a csillag fénygörbéjének ún. Fourier-spektruma. A Fourier-spektrumban a frekvenciák függvényében ábrázoljuk az amplitúdókat. A spektrumban megjelenő csúcsok a véges adatsor miatt az elméleti Dirac-delták helyett kiszélesedett csúcsok lesznek.

A pulzációs frekvenciákat az ún. fehérítési eljárás során kerestem meg. Ennek során a spektrumban látható csúcsok frekvenciaértékeihez tartozó szinuszgörbék nemlineáris illesztését végeztem el a FAMIAS segítségével. Az illesztés után kapott görbét levonva az eredeti fénygörbéből (ez a fehérítés), majd újra előállítva az így módosított fénygörbe Fourier-spektrumát, meg lehet vizsgálni, hogy vannak-e még szignifikáns csúcsok benne. Ha vannak, az illesztést úgy kell elvégezni, hogy az új frekvenciaértékekkel együtt újra kijelöljük a program számára az előzőleg már meghatározott frekvenciaértékeket is, és együtt illesztjük őket.

Több napos földi mérések esetén a spektrumban megjelennek ál-csúcsok, ún. aliasok is, melyek nem a csillag pulzációjából erednek, hanem a nem folytonos adatsor miatt lépnek fel. A nappalok és éjszakák váltakozása ugyanis szintén egy periodikus jelenség, tehát meg fog jelenni a Fourier-spektrumban. Ezek rosszabb esetben relatíve nagy amplitúdóval jelentkezhetnek a valódi csúcsok mellett, így igencsak megnehezíthetik a valódi pulzációs frekvenciák meghatározását. A valódi csúcsok megkeresését segíti az ún. ablakfüggvény, mely egy olyan szinuszhullám elméleti képe, amihez 1-es amplitúdóértéket rendelünk és az adatsorunk mintavételezése jellemzi. Ezzel képet kapunk arról, hogy milyen az alias csúcsok elrendezése a valódi csúcs körül. További kihívást jelent a valódi csúcsok megtalálásában, hogy a Fourier-analízis során konstans amplitúdókat, frekvenciákat és fázisokat feltételezünk, ezért bármi ettől eltérő időbeli változás is plusz közeli csúcsok megjelenését okozza az egyes éjszakákból összerakott adatsor Fourier-spektrumában.

Mindezek mellett nehéz volt a valódi pulzációs frekvenciák meghatározása, ezért részletes táblázatot készítettünk az egyes napok, illetve hetek frekvenciáiról, egyrészt hogy lássuk, történik-e a spektrumban drasztikus változás, másrészt hogy a teljes adatsor analízisének segítségét kapjunk, hogy az egyes frekvenciákat hol kell majd keresnünk.

## 4. fejezet

# Mérések

A megfigyelések az MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézetének Piskés-tetői Observatóriumában készültek az 1 méteres Ritchey-Chrétien-Coudé rendszerű teleszkóppal ( $D=1,01$  m,  $f=13500$  mm). A felvételek részben egy Andor iXon+888 EMCDD, illetve egy FLI Proline 16803 CCD kamerával készültek szűrő nélkül, hogy a lehető legtöbb fotont detektálhassuk ezekről a halvány csillagmaradványokról. A használt expozíciós idők 5 és 40 s között voltak, az időjárási körülményektől és az adott csillag fényességétől függően. A rövid expozíciós idők fő oka a pulzáló fehér törpék pulzációjának rövid periódusidejéből fakad. A méréseket 2017. március és 2017. november között készítettük a témavezetőmmel és Sódor Ádámmal felváltva. Összesen 16 fehér törpecsillagot mértünk le, melyek közül kettő bizonyult változónak. Az egyes objektumok nevei, méréseinek dátuma, hossza, expozíciós ideje és a mért pontok száma, valamint hogy mutatott-e pulzációt vagy sem, megtalálhatók a 4.2. és 4.1. táblázatokban. További eredmény két olyan változócsillag felfedezése, melyek bár nem pulzáló fehér törpék, de egy-egy pulzátor-jelölt területén találtuk az összehasonlíthatóknak szánt csillagok között.

### 4.1. Nem változók

A 4.1. táblázat listázza azt a 14 fehér törpét, melyek végül nem mutattak olyan szignifikáns jelet a Fourier-spektrumukban, amely pulzációra utalhatna. A szignifikanciaszintet a Fourier-spektrum csúszóátlagolásával kaptuk meg, és követve a hagyományosan elfogadott szintet,  $4\bar{\sigma}$ -nál húztuk meg azt a határt, amelyet el kellett volna érnie egy frekvenciának ahhoz, hogy szignifikánsnak tekinthessük. Ezen nem változónak talált objektumok fénygörbéit, illetve a fénygörbékhez tartozó Fourier-spektrumaikat megtalálhatjuk a függelékben (5.2 és 5.3. ábrák).

4.1. táblázat. A PISZKÉSTETŐI OBSZERVATÓRIUMBAN VÉGZETT ÉSZLELÉSEINK ÖSSZEFOGLALÁSA A NEM VÁLTOZÓNAK TALÁLT OBJEKTUMOKRÓL. ‘Exp.’ az alkalmazott expozíciós időt,  $N$  az adatpontok számát,  $\delta T$  az adatsor hosszát jelöli. A megjegyzés oszlopban NOV (Not Observed to Vary) a nem változónak talált objektumokat jelöli, zárójelben a hozzá tartozó  $4\bar{A}$  szignifikanciaszinttel mmag egységben.

Éjszaka	Dátum (UT; 2017)	Kezdési időpont (BJD-2 450 000)	Exp. (s)	$N$	$\delta T$ (h)	Megj.
EGGR 116:						NOV(0.5)
01	Márc. 21.	7834.377	30	1505	6.70	
02	Márc. 30.	7843.371	10	2350	6.54	
EGGR 162:						NOV(0.5)
01	Szept. 15.	8012.298	10	807	2.97	
EGGR 311:						NOV(1)
01	Nov. 14.	8072.259	30	679	6.28	
02	Nov. 22.	8080.188	30	384	3.55	
GD 153:						NOV(1)
01	Márc. 20.	7833.324	30	325	3.06	
GD 190:						NOV(2)
01	Ápr. 25.	7869.336	30	409	4.07	
GD 426:						NOV(1)
01	Okt. 20.	8047.431	30	591	5.44	
GD 83:						NOV(1)
01	Nov. 22.	8080.339	30	964	8.81	
HG 8-7:						NOV(1)
01	Okt. 21.	8048.480	15	588	3.32	
LAWD 52:						NOV(1)
01	Márc. 17.	7829.513	05	1135	3.60	
PG 1026+042:						NOV(1.5)
01	Márc. 16.	7829.324	10	1078	4.26	
WD 0129+458:						NOV(1)
01	Okt. 19.	8046.221	30	1131	10.84	
02	Okt. 31.	8058.353	15	502	5.52	
03	Nov. 15.	8073.184	30	1209	11.07	
WD 0145+234:						NOV(1)
01	Okt. 20.	8047.219	30	533	4.94	
WD 0449+252:						NOV(1)
01	Okt. 29.	8056.401	40	294	3.72	
02	Okt. 30.	8057.321	30	827	8.79	
WD 0454+620:						NOV(0.5)
01	Nov. 15.	8072.529	10	1108	4.02	

4.2. táblázat. A PISZKÉSTETŐI OBSZERVATÓRIUMBAN VÉGZETT ÉSZLELÉSEINK ÖSSZEFOGLALÁSA AZ ÚJONNAN TALÁLT FEHÉR TÖRPE VÁLTOZÓCSILLAGOKRÓL. ‘Exp.’ az alkalmazott expozíciós időt,  $N$  az adatpontok számát,  $\delta T$  az adatsor hosszát jelöli. A megjegyzés oszlopban VAR jelöli a változókat

Éjszaka	Dátum (UT; 2017)	Kezdési időpont (BJD-2 450 000)	Exp. (s)	$N$	$\delta T$ (h)	Megj.
WD 1310+583:						VAR
01	Márc. 31.	7844.296	10	2778	8.40	
02	Ápr. 24.	7868.332	10	782	3.13	
03	Júl. 13.	7948.331	20	831	5.48	
04	Júl. 14.	7949.405	30	388	3.61	
05	Júl. 16.	7951.316	30	618	5.67	
06	Júl. 17.	7952.342	20	465	2.98	
07	Júl. 18.	7953.326	20	824	5.23	
08	Júl. 19.	7954.314	20	705	4.53	
Összesen:				7 391	39.02	
EGGR 120:						VAR
01	Ápr. 3.	7847.407	10	2002	5.56	

## 4.2. Változók

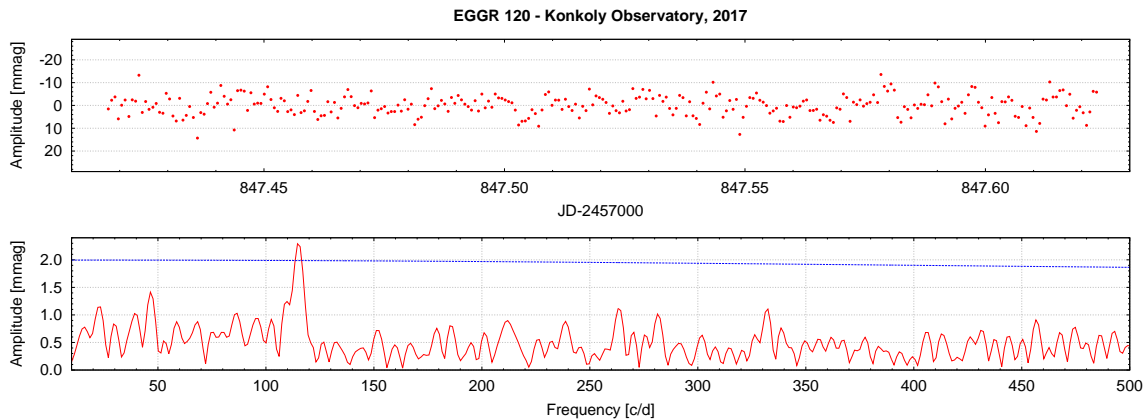
A kilenc hónapon keresztül tartó észlelési időszakban két új változó fehér törpecsillagot sikerült felfedeznünk. Először 2017 márciusában a WD 1310+583 csillagról derült ki, hogy pulzációt mutat, ezt követően áprilisban mértük még, majd aztán júliusban egy héten keresztül tudtunk további észleléseket végezni róla. A másik új változónk az EGGR 120 nevet viseli, ezt azonban csak egy éjszakán észleltük eddig.

### 4.2.1. EGGR120

A csillag alapadatai a következők:

$$\begin{aligned} \text{RA (2000): } & 16\ 39\ 27.82 \\ \text{DEC (2000): } & +33\ 25\ 22.30 \\ V & = 14.65 \text{ mag} \\ T_{\text{eff}} & = 10\ 180 \text{ +/- } 146 \text{ K}^1 \\ \log g & = 8.03 \text{ +/- } 0.05 \text{ dex} \\ \text{Spektráltípus: } & \text{DA} \end{aligned}$$

<sup>1</sup> <http://dev.montrealwhitedwarfdatabase.org/WDs/EGGR%20120/EGGR%20120.html>; Dufour és mksai. (2017)



4.1. ábra. AZ EGGR 120 FÉNYGÖRBÉJE ÉS FOURIER-SPEKTRUMA. Kék vonal jelöli a  $4\bar{\sigma}$  szignifikanciaszintet.

A 4.1. ábra a csillag fénygörbéjét és hozzá tartozó Fourier-spektrumát mutatja. Az analízisből kiderült, hogy a csillag egy szignifikáns pulzációs frekvenciával rendelkezik, mely 115,1 ciklus/nap-nál van, s melyhez 2,3 mmag amplitúdó tartozik. A 115,1 c/d 751 másodperces periódusidőnek felel meg. A csillag, effektív hőmérséklete alapján, az instabilitási sáv vöröshéjéhez nagyon közel esik, így nem meglepő az ennek megfelelő viszonylag hosszú periódusú pulzáció. A kis amplitúdó szintén ezzel magyarázható, hiszen ennyire hűvös csillagoknál már lecsökken a pulzációs amplitúdók nagysága, lényegében a pulzáció lassú megszűnéséhez közelednek a hasonló objektumok.

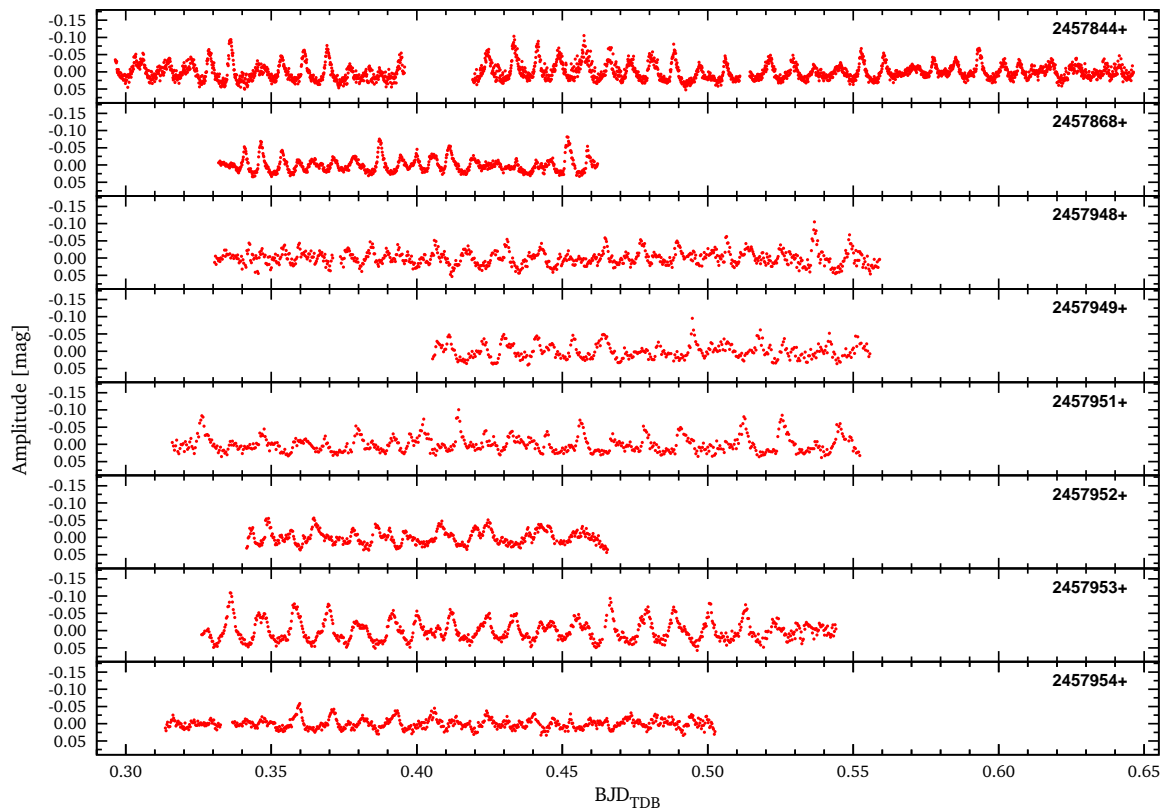
#### 4.2.2. WD 1310+583

A WD 1310+583 alapvetőbb adatai:

$$\begin{aligned} \text{RA (2000): } & 13\ 12\ 57.84 \\ \text{DEC (2000): } & +58\ 05\ 09.60 \\ V & = 14.09 \text{ mag} \\ T_{\text{eff}} & = 10\ 433 \pm 156 \text{ K}^2 \\ \log g & = 7.89 \pm 0.05 \text{ dex} \\ \text{Spektráltípus: } & \text{DA} \end{aligned}$$

Ezen csillag fénygörbéi a 4.2. ábrán láthatóak. Az első görbe a márciusi észlelésből származik, a második az áprilisiéből, a további hat pedig júliusból. Sajnos a júliusi héten egy éjszakát

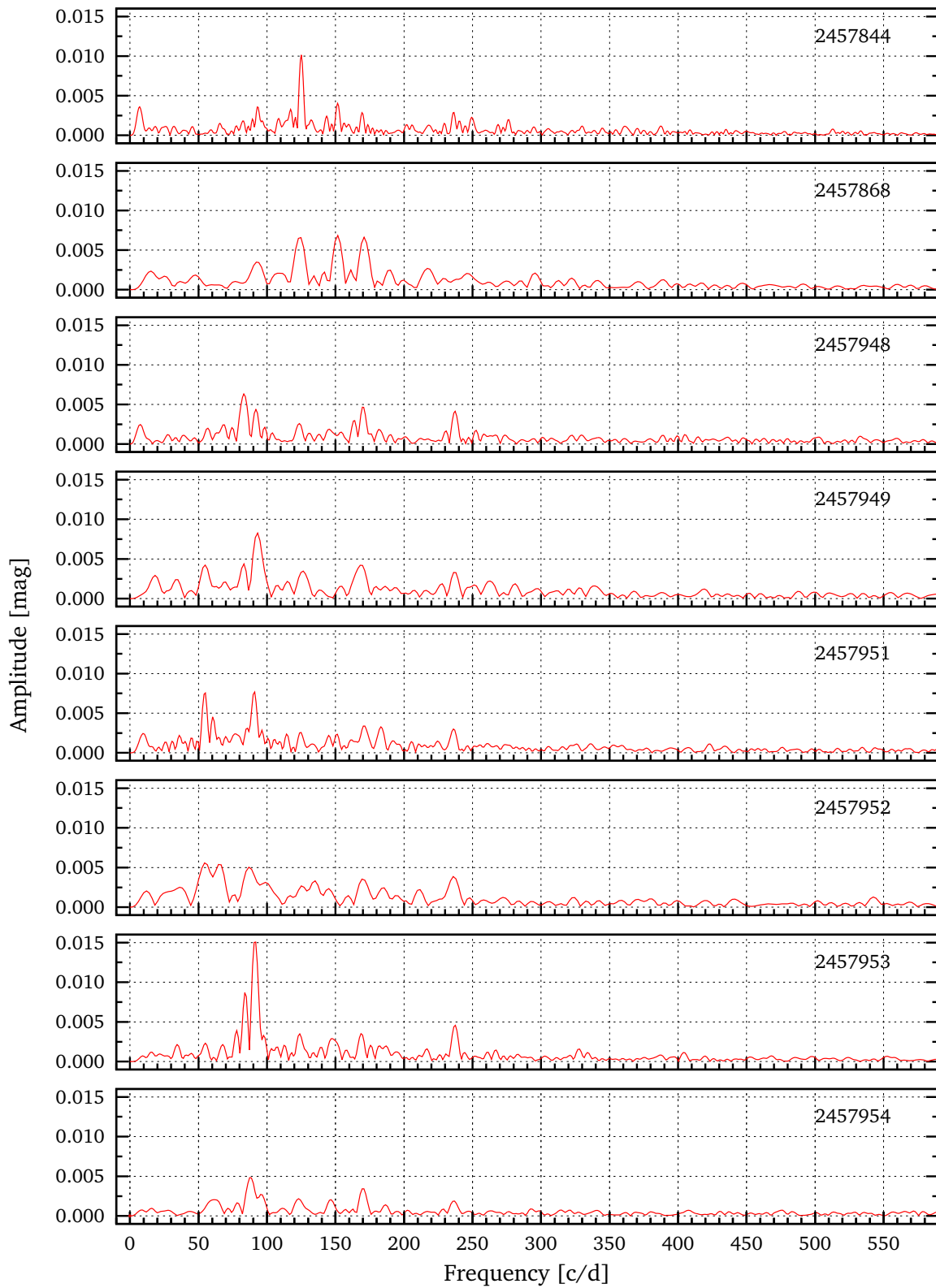
<sup>2</sup> <http://dev.montrealwhitedwarfdatabase.org/WDs/WD%201310+583/WD%201310+583.html>; Dufour és mksai. (2017)



4.2. ábra. A WD 1310+583 FÉNYGÖRBÉJE.

időjárási okokból nem tudunk felhasználni, ezért van csak hat darab feltüntetve. A 4.3. ábrán az egyes éjszakák Fourier-spektruma látható. Összehasonlítva ezeket láthatjuk, hogy az egyes frekvenciák amplitúdói jelentősen változnak, még az egymást követő éjszakák esetében is. Ennek oka lehet akár az, hogy megváltozik az egyes frekvenciák energiatartama (csökken vagy nő a gerjesztésre fordított energia az adott frekvenciánál), vagy csak egyszerűen nem felbontott közeli frekvenciák vannak ezeken a helyeken.

Elvégezve a Fourier-analízist a teljes adatsorra, 17 szignifikáns frekvenciát sikerült meghatározni, ezeket a 4.3. táblázatban láthatjuk felsorolva. Megvizsgálva ezeket látható, hogy vannak közöttük ún. dubletok, amik a csillag forgásával kapcsolatos ún. rotációs frekvenciafelhasadás termékei lehetnek; vannak nagyon közeli frekvenciák, amik rövid időskálán (napos, hetes, vagy akár hónapos) lejátszódó amplitúdó illetve frekvenciaváltozások eredményei lehetnek; valamint megtalálhatóak kombinációs frekvenciák is, amik bizonyosan nem független módusok, csupán a nem szinuszos jellegű fényességváltozás reprezentációi a Fourier-spektrumban. A kb. 91 c/d-nál lévő sok csúcsnál a valódi frekvenciaérték meghatározása nehézségekbe ütközött, ezért egy rájuk illesztett Gauss görbe maximumát tüntettem fel a 4.3. táblázatban.

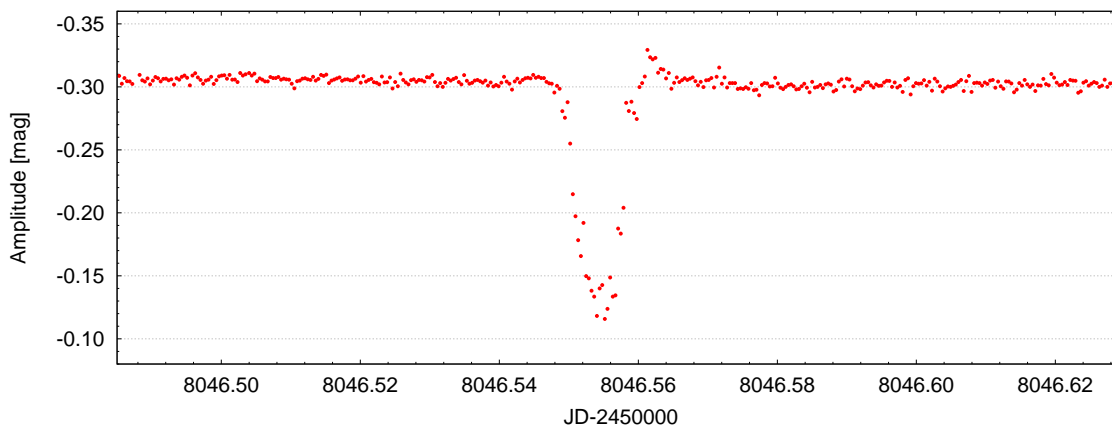


4.3. ábra. A WD 1310+583 AZ EGYES ÉJSZAKÁKHOZ TARTOZÓ FOURIER-SPEKTRUMAI.

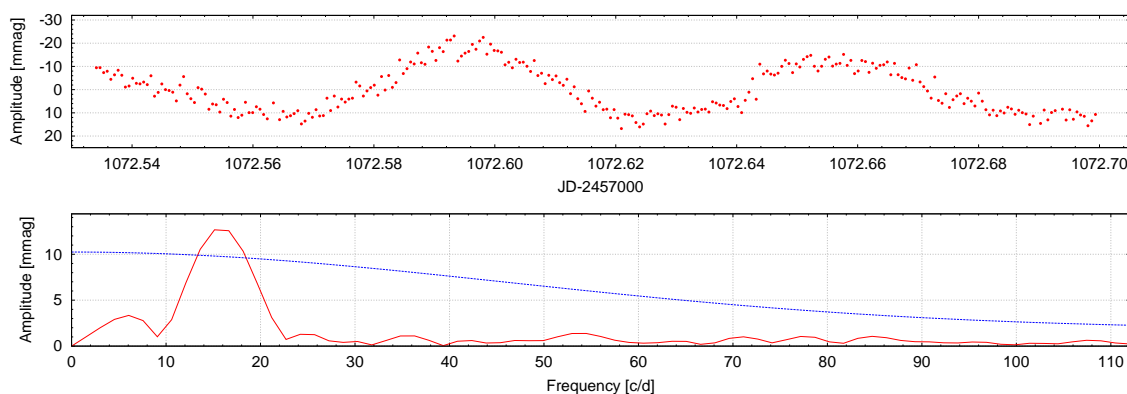


4.3. táblázat. WD 1310+583: A TELJES ADATSOR ALAPJÁN SZÁMÍTOTT FREKVENCIAÍK A FEHÉRÍTÉSI ELJÁRÁS SORRENDJÉBEN FELTÜNTETVE. Az  $f_2$  frekvencia hibája a  $\sim 91$  c/d-nál lévő csúcsokra illesztett Gauss görbéhez tartozó hiba értéke.

	$f$	$\delta f$	$f$	$P$	Ampl.	Fázis	Megj.
	[c/d]		[ $\mu$ Hz]	[s]	[mmag]	[ $2\pi$ ]	
$f_1$	124,404	0,0001	1439,86	694,51	12,8	0,63	
$f_2$	91,852	3,8668	1063,10	940,64	–	–	
$f_3$	125,408	0,0002	1451,48	688,95	8,1	0,87	$f_1+1$ c/d
$f_4$	169,210	0,0001	1958,45	510,61	6,9	0,16	
$f_5$	151,306	0,0007	1751,23	571,03	6,3	0,79	
$f_6$	236,697	0,0001	2739,54	365,02	6,3	0,79	
$f_7$	83,206	0,0003	963,03	1038,39	7,0	0,86	
$f_8$	83,579	0,0003	967,35	1033,76	5,9	0,27	$f_7$ -hez közel
$f_9$	151,300	0,0008	1751,15	571,05	5,4	0,88	$f_5$ -höz közel
$f_{10}$	126,974	0,0003	1469,61	680,45	3,6	0,69	dublet $f_1$ -el?
$f_{11}$	89,625	0,0001	1037,32	964,02	5,0	0,72	dublet $f_2$ -vel?
$f_{12}$	54,776	0,0004	633,98	1577,33	6,6	0,11	
$f_{13}$	54,612	0,0005	632,09	1582,06	5,6	0,83	$f_{12}$ -höz közel
$f_{14}$	239,081	0,0003	2767,14	361,38	3,0	0,91	dublet $f_6$ -al?
$f_{15}$	249,730	0,0003	2890,39	345,97	2,6	0,17	$2f_1+1$ c/d
$f_{16}$	276,297	0,0004	3197,88	312,71	2,3	0,22	$\sim f_1 + f_5$
$f_{17}$	388,250	0,0005	4493,64	222,54	1,6	0,97	$\sim f_5 + f_6$



4.4. ábra. A WD 0129+458 TERÜLETÉN TALÁLT FEDÉSI VÁLTOZÓ FÉNYGÖRBÉJE.



4.5. ábra. A WD 0454+620 TERÜLETÉN TALÁLT VÁLTOZÓ FÉNYGÖRBÉJE ÉS FOURIER-SPEKTRUMA.

### 4.2.3. Egyéb talált változók

A WD 0129+458 területén sikerült találni egy fedési változót, illetve a WD 0454+620 területén egy Delta Scuti / Beta Cephei változójelöltet.

#### Fedési változó

A mérés során egy minimumát sikerült a fedésnek megfigyelni (4.4. ábra). Később próbálkoztunk további mérésekkel, hátha észlelünk egy másik minimumot is, de sajnos ez nem sikerült, ezért nem tudjuk megmondani, hogy az itt látható minimum fő- vagy mellékminimum.

**Delta Scuti / Beta Cephei változó**

Ennél a változónál egy szignifikáns csúcsot sikerült kimutatni, amely 15,7 ciklus/nap-nál (kb. 1,5 óra) található, és 13 mmag amplitúdó rendelhető hozzá (4.5. ábra). Ez a pulzációs viselkedés tipikus Delta Scutikra, de Beta Cephei csillagokra is. A kérdés eldöntéséhez szín- vagy spektroszkópiai észlelések kellenének, ezek azonban jelenleg még nem állnak rendelkezésünkre.



## 5. fejezet

# Összefoglalás, jövőbeli tervek

A jelen dolgozatban ismertetett munkák során gyakorlatot szereztem az észlelések megtervezésétől és kivitelezésétől a kapott képek feldolgozásán át a fénygörbék Fourier-analíziséig, illetve az eredmények értelmezéséig.

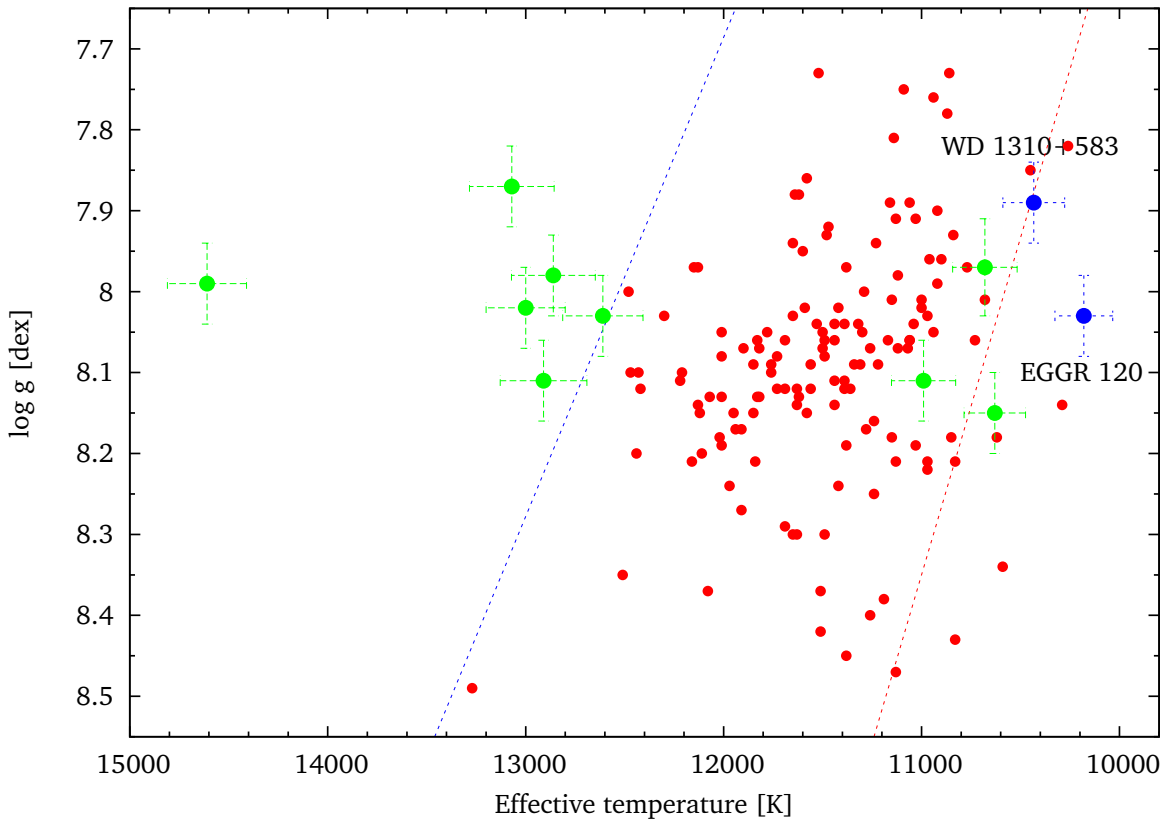
Az elért eredményeink a következőkben foglalhatók össze:

- A *TESS* űrtávcső által várhatóan észlelt égterületeken 16 DA, illetve DB típusú fehér törpecsillag fotometriáját végeztük el annak érdekében, hogy új változócsillagokat találjunk. Két esetben (WD 1310+583 és EGGR 120) sikerrel is jártunk.
- Az észlelések mintegy vonzataként találtunk két további változócsillagot, melyek fedési változónak, illetve Delta Scuti vagy Beta Cephei csillagoknak bizonyultak.

A WD 1310+583 pulzációs tulajdonságait tekintve megfelel egy a ZZ Ceti instabilitási sáv hűvös széléhez közel eső objektumnak, relatíve hosszú periódusaival és a feltételezett amplitúdó és frekvenciaváltozásokkal. Mivel meglehetősen fényes az eddig felfedezett ZZ Cetik között, kiválóan alkalmas nemzetközi szinten kicsinek számító távcsövekkel való észlelésre, ezért ideális célpont pl. nemzetközi megfigyelési kampányok célpontjának is. Az EGGR 120 bár szintén fényesnek számít, pulzációs amplitúdója kisebb, ezért kistávcsöves észlelése valamivel nehezebb. A ZZ Ceti csillagok pulzációs tulajdonságainak legfrissebb és átfogó elemzését lásd: Hermes és mktsai. (2017).

Az újonnan felfedezett pulzátorokat együtt a nem változónak talált objektumokkal, illetve a korábbról már ismert ZZ Cetikkel az 5.1, ábrán láthatjuk. Az ábrán csak a tisztán DA spektráltípusú, nem kettős rendszerben lévő észlelt változó-jelöltjeinket tüntettem fel. A  $T_{\text{eff}}$  és  $\log g$  értékeiket a Montreal White Dwarf Database-ből vettem (Dufour és mktsai., 2017)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> <http://dev.montrealwhitedwarfdatabase.org/home.html>



5.1. ábra. AZ ÚJONNAN FELFEDEZETT PULZÁTOROK (KÉK TELT KÖRÖKKEL JELÖLVE), EGYÜTT A NEM VÁLTOZÓNAK TALÁLT OBJEKTUMOKKAL (ZÖLD KÖRÖK), ILLETVE A KORÁBRÓL MÁR ISMERT ZZ CETIK (PIROS PONTOK) A  $T_{\text{eff}} - \log g$  DIAGRAMON. Az empirikus instabilitási sáv alacsony és magas hőmérsékletű határát kék, illetve piros szaggatott vonalak jelölik (Hermes és mktsai., 2017).

További terveink között szerepel az újonnan felfedezett pulzáló fehér törpe csillagok független pulzációs módusainak felhasználásával asztroszeizmológiai vizsgálatok végzése, ugyanis a témavezetőmnek rendelkezésére áll az ehhez szükséges csillagmodellező kód. Ennek során a mért és számított pulzációs periódusok összehasonlításával megszorításokat tudunk majd tenni a csillag főbb fizikai paramétereire, illetve megvizsgáljuk a lehetséges rotációs periódusértékeket is. Ehhez azonban az EGGR 120 esetében további mérések szükségesek, mivel eddig csak egy pulzációs frekvenciáját ismerjük.

Ezen kívül az eddigi eredményekből angol nyelvű szakmai publikációt tervezünk közreadni nemzetközi szaklapban.

A következő észlelési szezonokban változó-jelöltek további méréseit tervezzük, illetve mérések vannak folyamatban e sorok írásakor is. Részt vennénk továbbá a *TESS* felbocsátása után szükséges földi bázisú észlelésekben, valamint maguknak a *TESS* adatoknak az elemzésében is.

# Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Sódorné Bognár Zsófiának a rengeteg segítségért, türelméért, megértésért és legfőképpen a rám szánt időért, amiknek hatására az elmúlt egy évben rengeteget tudtam fejlődni. Szeretném megköszönni az MTA CSFK Csillagászati Intézet munkatársainak is az általuk biztosított segítő és fejlesztő közeget, mely szintén nagy mértékben tudott inspirálni a munkára. Külön köszönet jár azoknak az ügyeletes csillagászoknak, akik bevezettek a távcsöves észlelés rejtelseibe, és tanácsaikkal hozzájárultak a dolgozatom elkészüléséhez. Köszönet illeti még páromat, Dálya Gergelyt is, aki mindig ott van mellettem, és minden pillanatban támogat, segít és ösztönöz arra, hogy a nehézségek ellenére sose adjam fel.





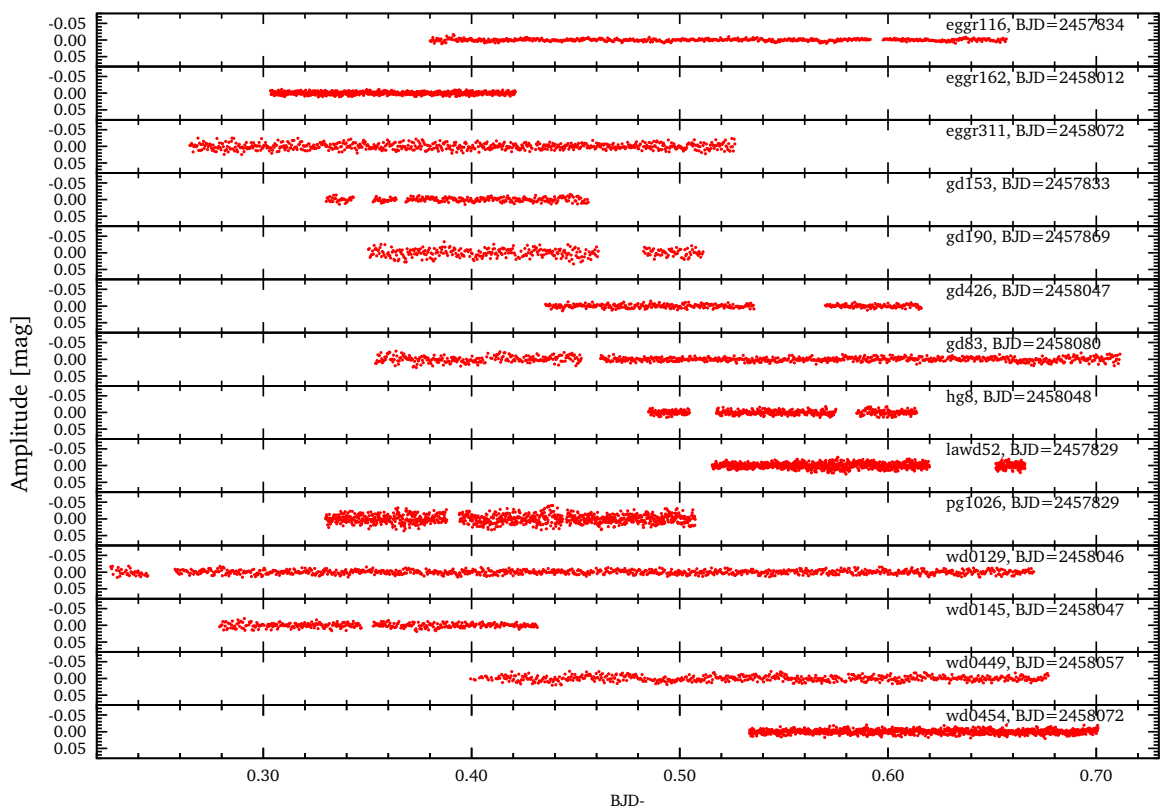
# Irodalomjegyzék

- Althaus, L. G., Córscico, A. H., Isern, J., García-Berro, E. 2010, *The Astronomy and Astrophysics Review*, 18, 471
- Dufour, P., Blouin, S., Coutu, S., Fortin-Archambault, M., Thibeault, C. és mktsai. 2017, *ASPC*, 509, 3
- Eastman, J., Siverd, R., Gaudi, B. S. 2010, *PASP*, 122, 935
- Fontaine, G., Brassard, P. 2008, *PASP*, 120, 1043
- Fűrész, Gábor 2001, *Meteor csillagászati évkönyv 2002*, 266
- Hermes, J. J., Gansicke, B. T., Kawaler, S. D., Greiss, S., Tremblay, P.-E. és mktsai. 2017, *ApJS*, 232, 23
- Kepler, S. O., Kleinman, S. J., Nitta, A., Koester, D., Castanheira, B. G. és mktsai. 2007, *MNRAS*, 375, 1315
- Kepler, S. O., Romero, A. D., Pelisoli, I., Ourique, G. 2017, *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, 45, id. 1760023
- Kurtz, D. W. 2006, *ASPC*, 349, 101
- Landolt, A. U. 1968, *ApJ*, 153, 151
- Marsh, M. C. 1995, PhD thesis, University of Leicester
- Montgomery, M. H. 2009, *AIPC*, 1170, 605
- Ricker, G. R., Winn, J. N., Vanderspek, R., Latham, D. W., Bakos, G. Á. és mktsai 2015, *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 1, id. 014003
- Sódorné Bognár, Zsófia 2011, PhD értekezés, ELTE TTK
- Winget, D. E. 1981, PhD thesis, University of Rochester
- Winget, D. E., Kepler, S. O. 2008, *Ann. Rev. A&A*, 46, 157
- Winget, D. E., Robinson, E. L., Nather, R. D., Fontaine, G. 1982, *ApJ*, 262, L11

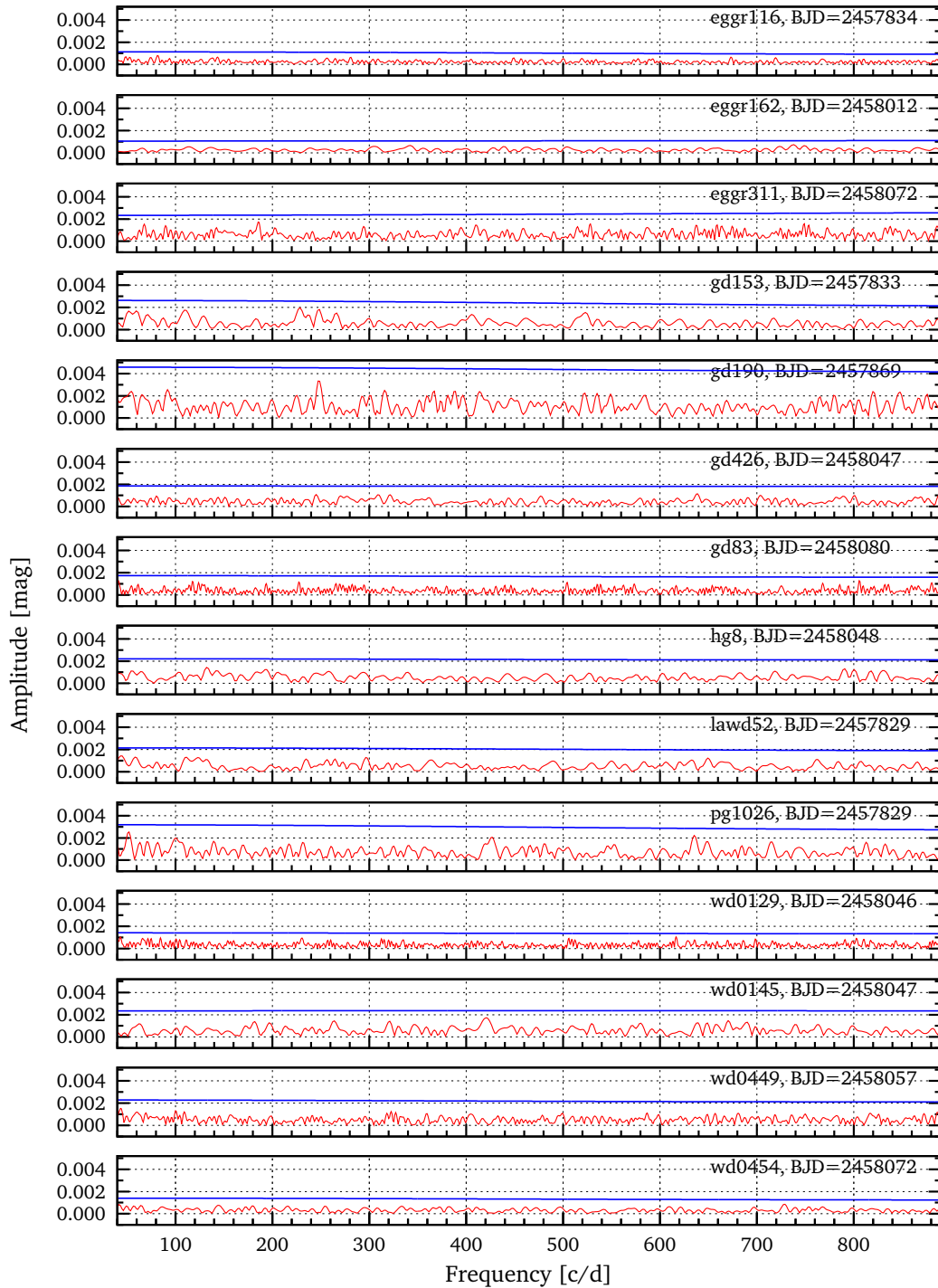
Zima, W. 2008, *Communications in Asteroseismology*, 155



# Függelék



5.2. ábra. A NEM VÁLTOZÓNAK TALÁLT 14 CSILLAG FÉNYGÖRBÉJE.



5.3. ábra. A NEM VÁLTOZÓNAK TALÁLT 14 CSILLAG FOURIER-SPEKTRUMA. Kék vonal jelöli a  $4\bar{\sigma}$  szignifikanciaszintet.