

Az OGLE-IV rejtett kincsei: új változók és többes rendszerek nyomában

Országos Tudományos Diákköri dolgozat

Ádám Rozália

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Csillagász mesterszak II. évfolyam



Témavezetők:

Hajdu Tamás
tudományos segédmunkatárs

dr. Molnár László
tudományos munkatárs

ELKH Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont

Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet

Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar

Csillagászati Tanszék

Budapest, 2022

Kivonat

A fedési kettőscsillagok vizsgálata az asztrofizika királyi útját képviseli, mely segítségével a többes rendszerek paramétereit kellő pontossággal megbecsülhetjük. Az olyan sűrű csillagmezők, mint például a galaktikus dudor vizsgálta során mindig felmerül az összemérés lehetősége. A fedési kettősök fénygörbéinek pontos azonosítása lehetővé teszi, hogy a megtisztítva tőlük a görbéket a háttérrel vizsgáljuk meg.

A kutatásom célja, hogy az OGLE-IV kettőscsillag-katalógusát, amely közel félmillió kettőscsillagot tartalmaz, átvizsgáljam háttérbeli változók után kutatva, melyekből egy átfogó katalógust készítek külön figyelmet fordítva arra, hogy a rendszerek között van-e fizikai kapcsolat. Ehhez először levontam a fedési kettős átlagfénygörbéjét és a reziduál görbét elemeztem 0,1–10 periódusértékek között. Amely rendszerek szignifikáns jelet mutatnak a kettőstől eltérő periódusnál, ott elkészíttem azok $O - C$ diagramjait fényidő-effektus jeleit kutatva, hogy megállapítsam, hogy van-e köztük fizikai kapcsolat. Megvizsgáltam a fedési kettősök és a katalógizált változók távolságát, hogy megállapítsam mely esetekben van szó blendről, illetve kontaminációról. Az ismert változók okozta kontamináció következtében azonosított jelölteket kizártam katalógusomból.

Katalógusomban 292 darab új változócsillag periódusát és típusát határoztam meg. Négy új négyes rendszer modellezését végeztem el és számítottam ki pályaparamétereiket. Továbbá egy δ Scuti változót tartalmazó szoros kettőst és távoli harmadik komponenst is magában foglaló csillagrendszert is felfedeztem.

Tartalomjegyzék

1. Bevezető	3
2. OGLE	4
2.1. Történeti áttekintés	4
2.2. Műszaki adatok	5
3. Főbb változócsillag típusok	7
3.1. δ Scuti csillagok	8
3.2. RR Lyrae változók	9
3.3. Fedési kettőscsillagok	10
4. Módszerek	14
4.1. Rendszerek kiválogatása	14
4.2. Kettőscsillag jelének levonása	14
4.3. Periódus meghatározása	15
4.4. Potenciális változó-jelöltek kiválasztása	16
4.4.1. Fedési kettősök	18
4.4.2. Egyéb változó-jelöltek	18
4.5. Rendszerek közti kapcsolat vizsgálata	22
5. Eredmények	26
6. Összefoglalás	32
A. Mellékletek	36
A.1. Többes rendszerek	36
A.2. Kontaminált jelöltek	38
A.3. Klasszifikált jelöltek	40

1. Bevezető

A fedési kettőscsillagok vizsgálata óriási jelentőséggel bír, hisz segítségükkel többes rendszerek paramétereit kellő pontossággal megbecsülhetjük. A többes rendszerek kutatása az elmúlt időszakban új szintre lépett köszönhetően a Kepler (például Rappaport és mtsai 2013, Conroy 2016, Kurtenkov & Popov 2019) és a TESS (Borkovits és mtsai 2020) űrtávcsöveknek, azonban az Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE) égboltfelmérés is jelentősen hozzájárult a hierarchikus többes rendszerek felfedezéséhez.

Fontos ennek kapcsán kiemelni, hogy a háttérobjektumok jelei könnyen „megzavarhatják” a vizsgált rendszer fénygörbéjét és ennek következtében hamis képet alkothatunk kutatásunk során a tanulmányozott objektumokról. Ezért is bír nagy jelentőséggel a háttérobjektumok külön vizsgálata, mely után „megtisztíthatjuk” a többes rendszerek fénygörbéit.

A célkeresztben lévő kettős jelének levonása a többes rendszerek megismerésére is alkalmazható. A maradék (reziduál) jel tanulmányozásával megállapítható, hogy van-e változócsillag a rendszerben. Az ilyen kutatások statisztikai szempontból is lényeges szerepet játszanak, hisz kibővíthető a változók száma, továbbá pontosabb képet kaphatunk azok fizikai paramétereinek, valamint térbeli pozícióinak eloszlásáról.

Fedési kettős rendszerek háttérének vizsgálata során például olyan speciális többes rendszerekre is bukkanhatunk, amelyekben a harmadik komponens is változócsillag vagy akár 2×2 -es rendszerek, ahol két kettőscsillag kering egymás körül. Az OGLE-IV adatbázisában többek között Zasche és mtsai (2019) több négyes rendszert fedeztek fel. Ahogy korábban is említettem, hasonló kutatás zajlik a Kepler, illetve a TESS űrtávcső adatbázisának feldolgozásával is. Továbbá mi sem mutatja jobban a téma aktualitását és jelentőségét, mint hogy több csillagász is ilyen témában végez kutatást az ELKH CsFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézetében.

A kutatásom célja az, hogy az OGLE-IV kettőscsillag-katalógusát átvizsgáljam olyan rendszerek után kutatva, amelyek háttérében periodikus változásokat mutató objektumok vannak.

A dolgozatom az alábbi módon épül fel. A második fejezetben ismertetem az OGLE

felmérést, illetve annak technikai hátterét. Ezt követően a harmadik fejezetben rávilágítok a főbb változócsillag-típusok jellemzőire. Majd a negyedik fejezetben bemutatom a saját kutatásomat, kifejtem milyen lépésekkel jutottam el az utolsó, ötödik fejezetben prezentált eredményekhez.

A legutóbbi OTDK-ra elkészített dolgozatomban is ezekkel az adatokkal és a feladat kezdeti lépéseivel foglalkoztam. Ez a munka továbbfejlesztett és finomhangolt eljárásokkal készült, melyek keretében önállóan készítettem el a célul kitűzött katalógust, valamint a benne található változókat is önállóan klasszifikáltam.

2. OGLE

Az Optical Gravitational Lensing Experiment, vagyis az optikai gravitációs lencsézési kísérlet egy négy fő fázisból álló égboltfelmérés. A megfigyeléseket a Chilében található, Las Campanas Observatóriumban végezték a Varsói Egyetem 1,3 méteres teleszkópjával.

A következő alfejezetben Udalski és mtsai (1997) és Udalski (2003) cikke nyomán bemutatom az OGLE projektet.

2.1. Történeti áttekintés

Az OGLE egy hosszú távú projektként indult 1992-ben. A mikrolencsézési módszert alkalmazó kutatás fő célja a sötét anyag keresése volt. Fontos kiemelni, hogy a lencsézés e célból való használatának ötlete Paczynski (1986) nevéhez fűződik. A felmérések két fő irányának a galaktikus dudort (bulge) és a Magellán-felhőket jelölték ki, lévén, hogy ezekben a régiókban rengeteg háttércsillag van, amelyek alkalmasak mikrolencsézésre. A feltételezett makroszopikus sötét anyag általi lencsézési optikai mélység minden irányban nagyon alacsony, nagyjából 10^{-6} . Világossá vált a kutatók számára, hogy nagy mennyiségű adatra lesz szükség, egy hosszú távú felmérésre. Ennek két fő oka van. Egyrészt az ilyen események detektálásához is rengeteg mérés szükséges, másrészt a sötét anyag természetével kapcsolatos következtetések levonásához statisztikailag szignifikáns mikrolencsézési eseményekből álló minta szükségeltetik. Az OGLE eredményei végül azt bizonyították,

hogy a sötét anyag nem makroszkopikus objektumok seregéből áll, de mint kiderült, a felmérés így is bőséges tudományos potenciállal rendelkezik, például exobolygók mikrolencsézéssel való felfedezését is lehetővé teszi (Wyrzykowski és mtsai, 2011; Cassan és mtsai, 2012).

2010. március elején vette kezdetét a máig is tartó negyedik fázis (OGLE-IV). A ma használt harmadik generációs, 32 chipes mozaik kamera jelentősen megnövelte a mérés hatáskörét az OGLE-III-hoz képest. Érdekes fejlemény, hogy habár már 10 éve töretlenül folyt ez a fázis, a COVID-19 járvány és annak hatásai következtében egy időre leállt a rendszeres észlelés.

A kutatásom során ennek az új fázisnak az adatait használtam fel.

2.2. Műszaki adatok

A távcső főtükre 51 hüvelyk átmérőjű, 1:9,2 Ritchey-Chrétien rendszerrel rendelkezik, vagyis 17,4 szögmásodperc/milliméteres a fókusz skálája. Egy háromrészes mező korrektorral van felszerelve, illetve 1,5 fokos a diffrakció limitált látómezeje – tehát a beérkező fény 80 százaléka egy fél szögmásodperces átmérőbe esik.

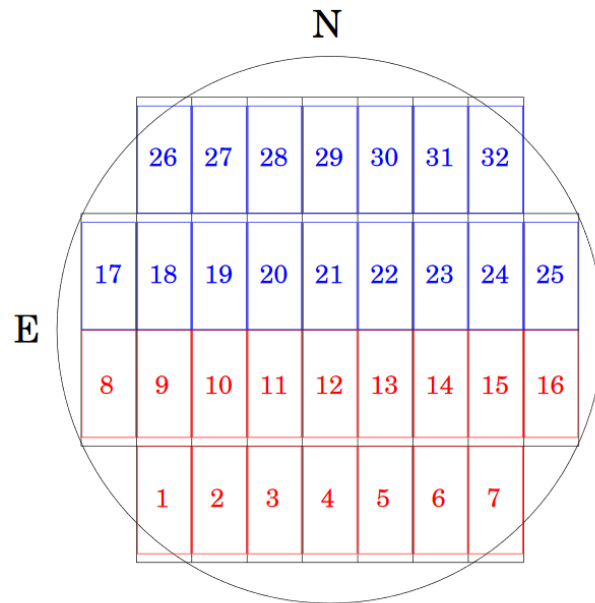
Mivel a folytonos észleléshez elengedhetetlen, ez a távcső is teljes mértékben automatizált, számítógép irányította. A szerelési típusának köszönhetően bármilyen követési sebességet beállíthatunk rektaszcenziót, illetve deklinációt tekintve.

A teleszkóp irányítása a tőle 15 méterre található kiszolgáló épületből történik, amelyet az **1. ábrán** a távcsőépülettől balra láthatunk. Ugyanakkor távirányítás az interneten keresztül is lehetséges.



1. ábra. Az OGLE hivatalos honlapján is elérhető éjszakai felvétel a Varsó Teleszkópról működés közben. Forrás: Krzysztof Ulaczyk, <http://ogle.astrouw.edu.pl/>

Az eszköz egy 262,5 megapixeles mozaik kamerával rendelkezik, amely az egész világon figyelemre méltó. A működésének megkezdése időpontjában az akkori legfejlettebb, mondhatni legjobb 2048×4102 pixeles CCD kamerákkal szerelték fel az E2V Technologies cég jóvoltából. A Varsó teleszkóp fókuszsíkját 32 detektorral töltötték ki, a maximális helykihasználás céljából négy sorban helyezték őket, ahogy azt a **2. ábrán** láthatjuk. Az E (kelet) és N (észak) betűkkel az égboltfelvételek irányát, a kék és vörös színnel pedig a CCD-k északi és déli csatlakoztatását jelzik.



2. ábra. A Varsó Teleszkóp CCD mozaik kamerájának sematikus ábrája Udalski és mtsai (2015) cikkéből (1. ábra).

3. Főbb változócsillag típusok

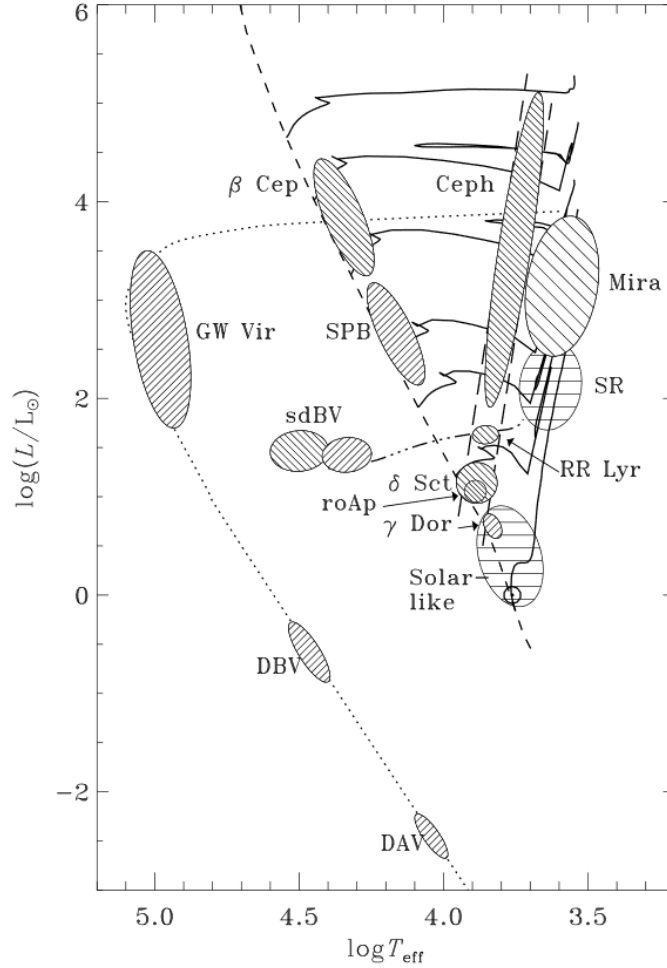
Azokat a csillagokat hívjuk változócsillagoknak, amelyeknek valamilyen jellemzőjük, fizikai paraméterük időben változik. Régebben két nagy csoportra osztották a változócsillagokat, geometriaira és fizikaira. Manapság viszont az úgynevezett extrinsic (külső hatásos) és intrinsic (belső hatásos) csoportokat különböztetik meg. Az előbbi csillagokra nem jellemző a fénykibocsátás mértékének változása, míg az utóbbiaknál fizikailag változik a csillag fényessége. A két nagy csoport több alosztályt foglal magába. Fontos megjegyezni, hogy sok csillag egyidejűleg több ilyen osztályba is sorolható.

A legnépesebb család az úgynevezett intrinsic változók között a pulzálók. Ezek közé tartoznak a legfontosabb változótípusok, amelyeket érdemes külön is ismertetni.

A csillagok pulzációjának két típusa van, a radiális és a nemradiális pulzáció. A legfőbb különbség a kettő között, hogy míg a radiális pulzáció során homogéнен csak kifelé és befelé mozdulnak el a csillag rétegei, addig a nemradiális során megszűnik az objektum gömbszimmetriája, megváltozik az alakja az objektum külső tartományában

körben haladó hullámoknak köszönhetően.

A p-hullámok, vagy más néven nyomáshullámok, olyan mérettől függően jellemzően néhány száz naptól néhány óráig terjedő periódusú hullámok, melyek radiális és nemradiális pulzációért is felelősek. A g-hullámok a nemradiális típusba tartoznak, a gravitáció és a felhajtóerő a következményei, valamint jellemzően a p-hullámoknál hosszabb periódusúak.



3. ábra. Változócsillagok helye a Hertzsprung-Russell diagramon, Cunha és mtsai (2007) cikkének 1. ábráján.

3.1. δ Scuti csillagok

Ezek a csillagok a Hertzsprung-Russell diagramon (**3. ábra**) a fősorozaton és felette, valamint az instabilitási sáv metszetében helyezkednek el, ahol a jobboldali, szaggatott

vonallal határolt sávban szerepelnek. Erre a változó típusra jellemző a radiális és nemradiális pulzáció egyaránt, 0,02 és 0,3 nap közti periódustartománnyal.

A **4. ábrán** két olyan δ Scuti csillag fénygörbéje látható, amelyet kutatásom során találtam.

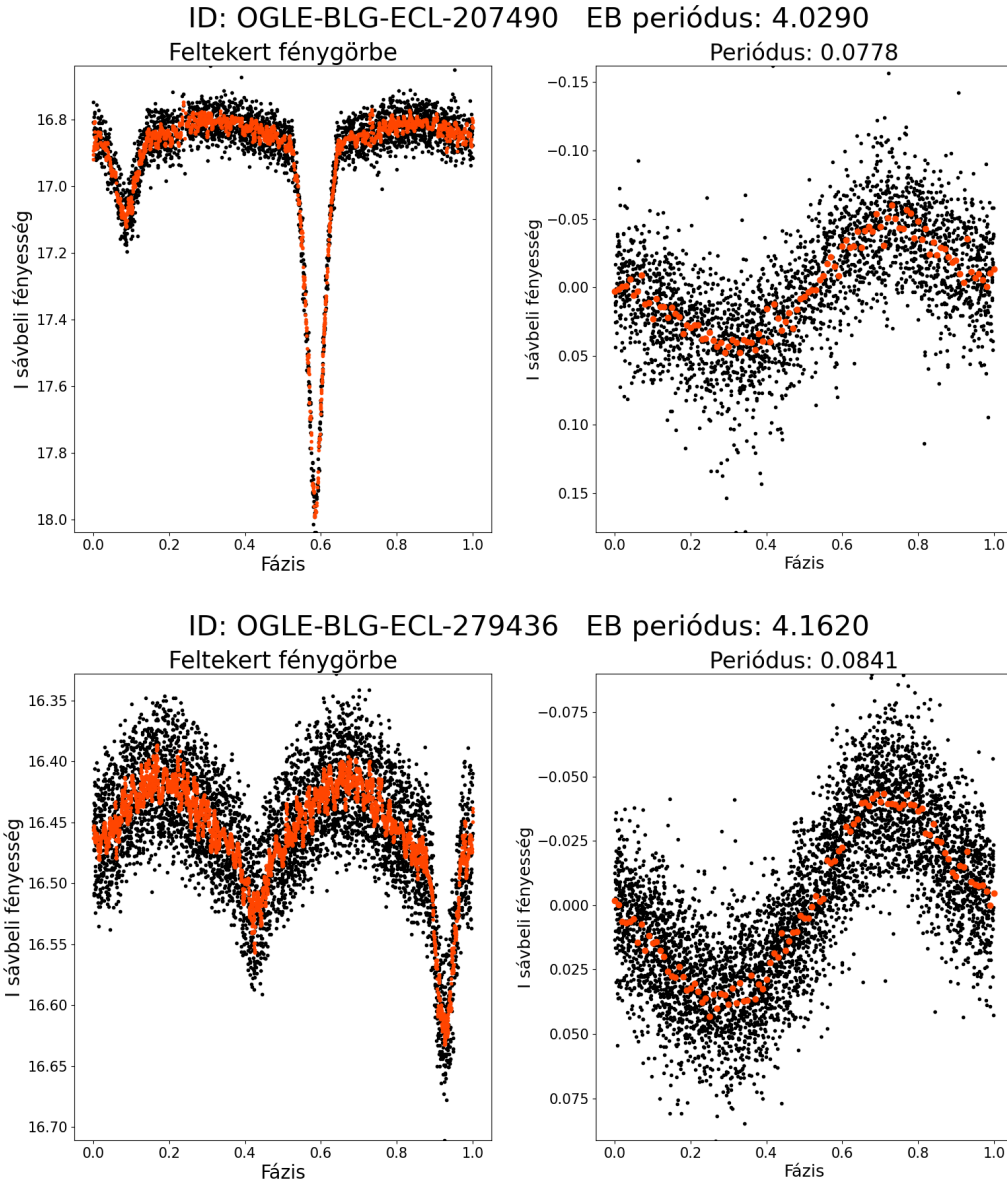
Számos δ Scuti típusú csillagot azonosítottak kettős rendszerek tagjaiként. Ezek pulzációjának látszólagos fázisváltozása lehetővé teszi a fényidő effektuson keresztül a rendszer fizikai paramétereinek meghatározását (Murphy és mtsai, 2018).

3.2. RR Lyrae változók

Az RR Lyrae csillagok radiálisan pulzáló változók 0,2 és 1 nap közti periódussal. Ahogy ezt a **3. ábrán** is megfigyelhetjük, a HRD-n azon keskeny sávban találhatók, ahol a horizontális ág metszi a pulzációs instabilitási sávot. A nagyjából azonos abszolút fényességüknek köszönhetően kiváló távolságindikátorok. Komoly jelentőséggel bírnak, hisz ezek a változók öreg csillagok, így kémiai összetételük vizsgálata alapján következtethetünk az Univerzum korábbi korszakainak jellemzőire. Pulzációs módusaik alapján az RR Lyrae csillagokat további alcsoportokra oszthatjuk.

1902-ben tette ezt meg Solon Bailey, aki 3 csoportra osztotta az RR Lyrae csillagokat (RRa, RRb és RRc) a fénygörbék amplitúdója és ferdesége alapján. Hamar kiderült, hogy az első két csoportot nem feltétlenül kell megkülönböztetni, mivel mindkettő az alaplómódusban pulzál. Így született meg az RRab változók csoportja, amelyet RR0 csillagokként is szokás emlegetni. Ezek periódusa a 0,3–1 nap tartományban mozog, azonban a legtöbbnek meghaladja a 0,45 napot. Erre egy kitűnő példa az OGLE-BLG-ECL-248809 kettőssel összemért csillag fénygörbéje, mely a **5. ábra** jobb alsó sávjában látható. Ezt kutatásom során fedeztem fel, a kontamináció-vizsgálat során pedig korábban felfedezett OGLE-IV RR Lyrae változóként azonosítottam be.

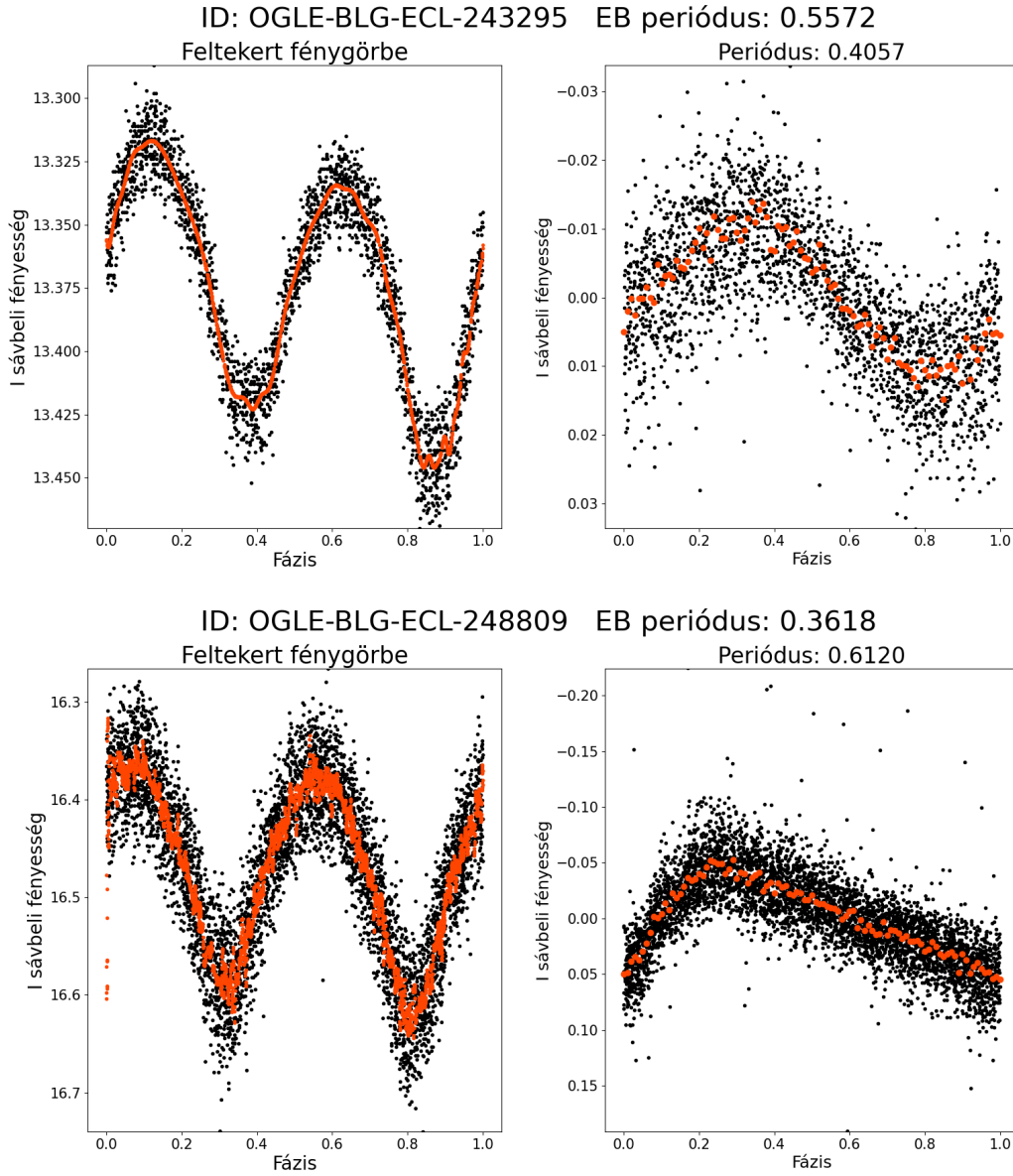
Az RRc csillagok első felhangban pulzálnak. Periódusuk rövidebb, a 0,2 és nagyjából 0,5 napos tartományban mozog. Sokkal szimmetrikusabb és kisebb amplitúdójú fénygörbe jellemzi őket. Megkülönböztetjük ezek mellett az RRd csillagokat, amelyek egyszerre pulzálnak a korábban említett mindkét módusban.



4. ábra. Fedési kettősök fénygörbéjében talált tipikus δ Scuti fénygörbék, melyeket a kutatásom során találtam. A bal oldalon a fedési kettős periódusával feltekert (fekete), valamint a feltekert és binnelt (narancssárga) fénygörbe látható. Jobb oldalon az új periódussal feltekert reziduál görbe (fekete) és a feltekert és binnelt fénygörbe (narancssárga) látható.

3.3. Fedési kettőscsillagok

A fedési kettősök a változócsillagok „fájának” egy teljesen másik ágán helyezkednek el. Ezek az úgynevezett extrinsic csoportba tartoznak. Árulkodó a megnevezésük, válto-



5. ábra. Fedési kettősök fénygörbéjében talált tipikus RR Lyrae fénygörbék, melyeket a kutatásom során találtam. A bal oldalon a fedési kettős periódusával feltekert (fekete), valamint a feltekert és binnelt (narancssárga) fénygörbe látható. Jobb oldalon az új periódussal feltekert reziduál görbe (fekete) és a feltekert és binnelt fénygörbe (narancssárga) látható. Felül egy újonnan azonosított RRC, alul egy már ismert RRab típusú csillag látható.

zásuk kulcsa a fedés, mely során a látóirányunkban az egyik csillag kitakarja a másikat, ezzel lecsökkentve annak látszó fényességét. A két objektum eltérő tulajdonságaiból adó-

dó fedési mélység differenciának megfelelően különbséget teszünk fedési főminimum és mellékminimum között.

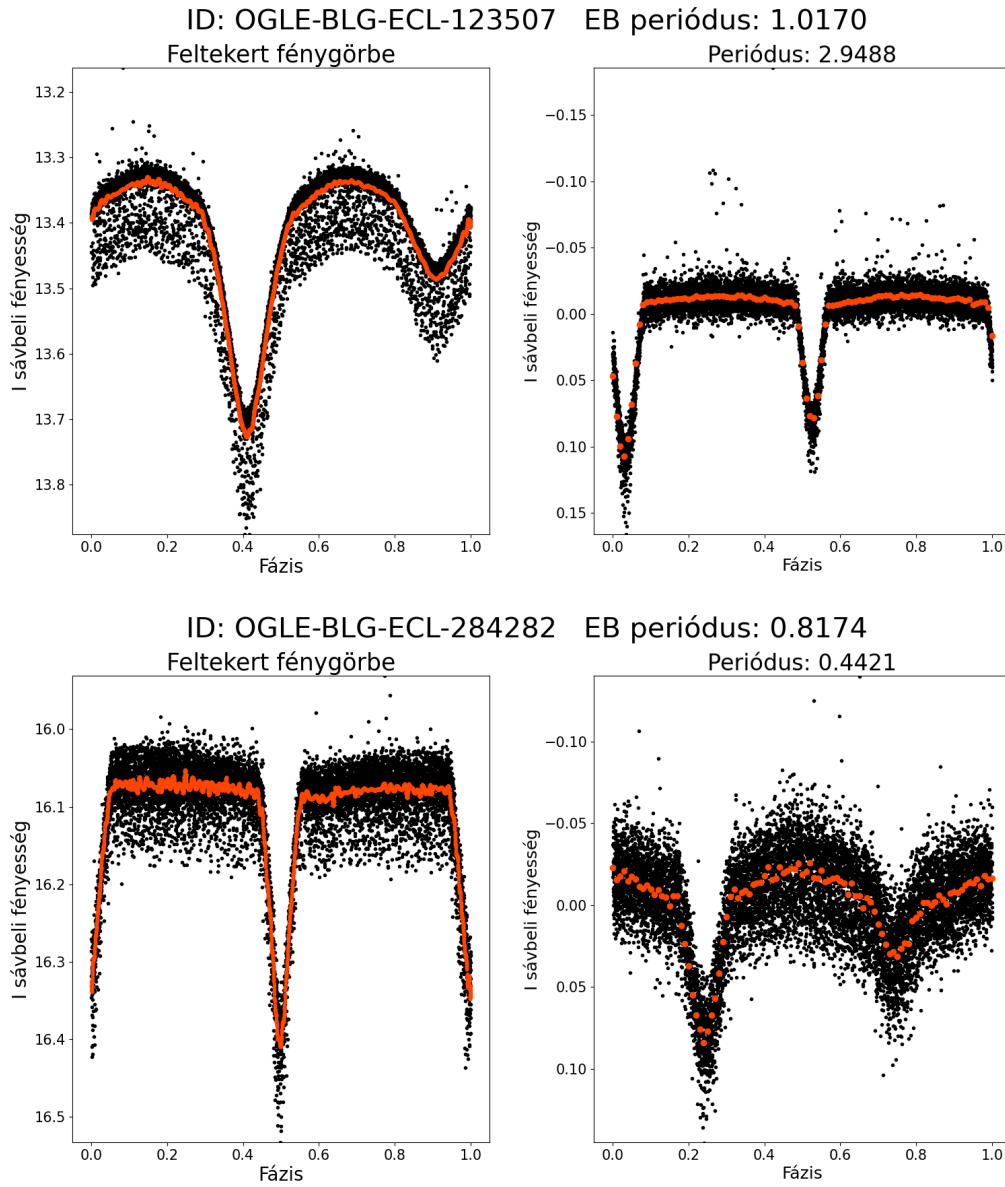
A fedési kettősök fénygörbéjére szimmetrikus fényességváltozás jellemző. Teljes fedés esetén U-alakú csökkenés látszik, míg részleges esetén egy V-t formáz.

Mondhatni létfontosságúak az asztrofizikában, hisz segítségükkel kiszámíthatjuk a komponensek tömegét, sugarát, ezzel még több információt nyerve a csillagokról. A fedés alakja a rendszer excentricitására utal, míg a fedési mélységek aránya a komponensek felszíni hőmérsékletének arányára (Russell, 1948; Prša, 2018).

A fénygörbéjük alakja alapján három csoportot különböztetünk meg. Az Algol-típusú kettősök fénygörbéjét markáns fő- és mellékminimumok jellemzik, valamint fedések között nagyjából állandó a fényesség. Ilyen Algol-típusú rendszerek láthatóak a **6. ábra** felső sávjának második, illetve az alsó sáv első képén.

A β Lyrae típusúhoz tartozó kettősök félig érintkező rendszerek. Fénygörbéjükön a fő- és mellékminimumok közötti különbség kisebb. Ahogy ezt az általam talált kettős fénygörbéjén is megfigyelhetjük a **6. ábra** alsó sávjában a jobb oldali képen.

A W UMa kettősök érintkező rendszerek. Fénygörbéjükön a fő- és mellékminimumok közel azonos mélységűek. Folyamatos fényességváltozás van a fedések között, aminek következtében a fedések pontos kezdetét és végét nem lehet megállapítani.



6. ábra. Fedési kettősök fénygörbéjében talált tipikus fedési kettős fénygörbék, melyeket a kutatásom során találtam. A bal oldalon a fedési kettős periódusával feltekert (fekete), valamint a feltekert és binnelt (narancssárga) fénygörbe látható. Jobb oldalon az új periódussal feltekert reziduál görbe (fekete) és a feltekert és binnelt fénygörbe (narancssárga) látható.

4. Módszerek

Ebben a fejezetben bemutatom, hogy miképp alkottam meg a célul kitűzött katalógust. Továbbá kifejtem milyen módon vizsgáltam meg a változó jelölteket és hogyan klasszifikáltam őket.

4.1. Rendszerek kiválogatása

Kutatásom során az OGLE-IV I -sávbeli fotometriai adatait használtam fel, melyet 2010 és 2015 között gyűjtöttek. Az OGLE katalógus az egyes rendszerekre vonatkozó azonosítón kívül további hét információt tartalmaz. Ezek az I - és V -sávbeli fényesség értékek maximum idején, a mért keringési periódus napban, a főminimum epochája (HJD-2450000) napban, illetve a főminimum és mellékminimum mélysége.

A teljes mintát tekintve a katalógus több, mint 400 000 kettős rendszer adatait tartalmazza (Soszyński és mtsai, 2016). A rendszerek közül a kutatás célját figyelembe véve kiválogattam a több, mint 4000 adatponttal rendelkezőket. Ez azért volt szükséges, hogy a feltekert adatsorokban ne legyenek szakadások, valamint a további vizsgálatokhoz elegendő adatpont álljon a rendelkezésemre.

Így összesen közel 40 ezer rendszert vizsgáltam meg.

4.2. Kettőscsillag jelének levonása

A kiválogatott rendszereket Pythonban megírt kódommal vizsgáltam meg. Ahogy azt többek között a **7. ábrán** is láthatjuk, az adatsort először feltekertem, azaz az időpontokhoz (t) fázis (Φ) értéket rendeltem a 1. egyenlet segítségével a rendszerhez megadott periódus (P) alapján.

$$\Phi = t/P - \lfloor t/P \rfloor \quad (1)$$

Majd a fázis 0,0–1,0 tartományát felbontottam 500 azonos hosszúságú részre, amikhez tartozó adatpontoknak vettem az átlagát, így megkapva az úgynevezett feltekert és binnelt fénygörbét.

A feltekert görbe megillesztéséhez a *SciPy*¹ (Virtanen és mtsai, 2019) szoftver *Interpolate* almoduljának `UnivariateSpline` függvényét használtam. Az interpolációk között ez az 1-D csoportba tartozik, mely egy egydimenziós simító görbét illeszt megadott számú adatponthoz.

A kettőscsillag jelének eltávolítása érdekében levontam az egyes időpontok fázisértékéhez tartozó illesztett értéket.

4.3. Periódus meghatározása

A levonást követően a reziduál görbében PDM-mel (*Phase Dispersion Minimization*), vagyis fázis diszperzió minimalizációjával kerestem egy új periódust. A PDM metódust Stellingwerf (1978) vezette be. A módszer lényege, hogy az adatsor varianciáját veti össze a kisebb részegységek varianciájának összegével, így használható nem szinuszos jelek, illetve hiányos vagy ritkán mintavételezett adatsorok vizsgálatára. A háttérobjektumok vizsgálata előrevetítette, hogy a reziduál fénygörbék valószínűleg nem szinuszos jeleket fognak mutatni, így ez a módszer kiválónak tűnt a feladatra.

A vizsgálat során ennek a `PyAstronomy.pyTiming` Python implementációját használtam. A `pyPDM` két osztállyal rendelkezik. A `Scanner` osztály frekvencia módját használtam, az alapvető periódusos helyett. Ez azért fontos, mert a kisebb periódusértékeknel kisebb változások is jelentősen befolyásolják a feltekert görbe szórását, így elkerültem azt, hogy nagy felbontást kelljen használnom hosszabb futásidővel. A `PyPDM` osztálynál pedig a `pdmEquiBinCovert` metódust választottam. Érdeemes kiemelni, hogy ez a verzió nem ellenőrzi, hogy egyes binekbe elég adatpont tartozik-e, ugyanakkor, ha kevesebb, mint kettő akkor nem veszi figyelembe az adott egységet. Ezért is volt lényeges olyan csillagokat keresni, amelyek legalább 4000 mérési ponttal rendelkeznek.

A kapott értékek ellenőrzése végett az adatsorokat megvizsgáltam a Lomb-Scargle periodogram módszerrel is. Ezt kifejezetten periodikus jelek azonosítására fejlesztették nem egyenletesen mintavételezett mérési adatsorokra. Nevét Lomb (1976) és Scargle (1982) munkája nyomán kapta.

¹<https://www.scipy.org/about.html>

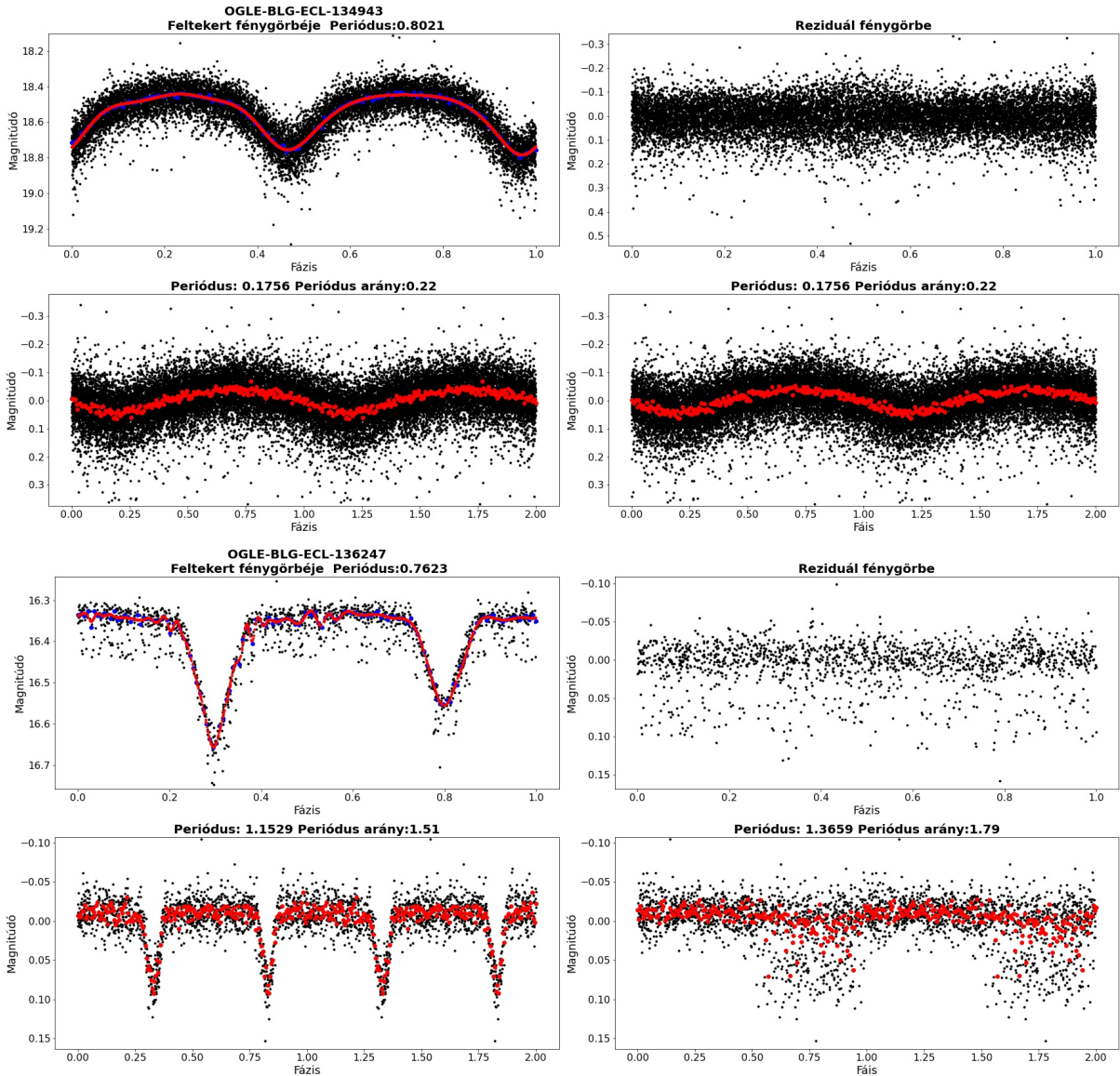
Az ellenőrzésre azért volt szükség, mert míg a PDM módszerrel könnyen beazonosíthatóak a fedési kettősök, mivel a metódus érzékeny a különböző fedési mélységekre, Lomb-Scargle segítségével jól meghatározhatóak a háttérbeli pulzálók periódusai, mivel a változás íve a lényeges, szinuszos jellegű görbék esetén is kiválóan működik. A **7. ábrán** jól látható, hogy ezen tulajdonságok alapján mely esetekben volt használható a Lomb-Scargle módszer. A bal felső ábrán a fedési kettős periódusával feltekert (fekete), a feltekert és binnelt (kék), valamint az illesztett (piros) fénygörbe látható. Mellette feketével a reziduál fénygörbe szerepel. Az alsó sávban a háttérben azonosított változó görbéje, bal oldalt a PDM-mel kapott periódussal feltekert reziduál (fekete), illetve feltekert és binnelt (piros) görbe, jobbra ugyanezen görbék a Lomb-Scargle módszerrel kapott periódus értékkel. Az OGLE-BLG-ECL-134943 esetén kiválóan azonosította mindkét módszer a háttérben található W UMa jelét, míg az OGLE-BLG-ECL-136247 esetén a háttérbeli Algol típusú kettős megtalálásához a Lomb-Scargle nem bizonyult megfelelőnek.

Éppen ezért a PDM-mel megvizsgált kérdéses jelöltek periódusának meghatározásánál vettem csak figyelembe a Lomb-Scargle eredményét. Csak azokat válogattam ki, amelyekre mindkét módszer ugyanazt az értéket adta – így a háttérbeli jel szignifikanciája is megerősítést nyert.

4.4. Potenciális változó-jelöltek kiválasztása

A potenciális jelöltek kiválogatása során két feltételt vettem figyelembe. Ahogy korábban kifejtettem, a méréseket egy földfelszíni távcsővel végezték. Az ilyen égboltfelméréseknél különösen oda kell figyelni az egy földi napra (és annak többszöröseire), mint talált új periódus értékekre, hisz könnyen lehet, hogy valójában csak a nappalok-éjszakák változása látszik a fénygörbén. Így az olyan rendszereket, amelyeknél a megtalált új periódus $0,99 - 1,01$ nap tartományba esnek, kizártam. Továbbá megszabtam, hogy a változás amplitúdója legyen nagyobb $0,05$ magnitúdónál.

Ezt követően a kódom által képzett ábrákat vizsgáltam meg. Elsődlegesen három kategóriát szabtam a szétválogatáshoz; a foltos csillagokat, a fedési kettősöket és az egyéb változókat. Az első kategória tagjainak fénygörbéi asszimmetrikus jelet mutattak és a



7. ábra. A PDM (bal alsó panelek) és Lomb-Scargle (jobb alsó panelek) módszer összehasonlítására használt példa ábrák két célpont esetén (felső két sor és alsó két sor).

talált periódus maximum 10 százalékos eltérést mutatott a kettősétől, ezen tulajdonságok Szatmáry és mtsai (2013) szerint foltosságra utalnak a rendszerben. Ezekkel a továbbiakban nem foglalkoztam, mivel egy háttérbeli objektumokat tartalmazó katalógust kívántam létrehozni. A fedési kettősök fénygörbéi sok esetben könnyen elkülöníthetőek az éles vagy szembetűnően eltérő mélységű fedéseknek köszönhetően. Periódusuk meghatározható volt önmagában a PDM módszerrel. Az egyéb jelöltek közé olyanok kerültek, melyek talált

periódusa eltérő volt a kettősétől és klasszifikációjuk további vizsgálatot igényelt.

4.4.1. Fedési kettősök

A második kategóriába sorolt fedési kettősök görbéi szemmel is könnyen beazonosíthatóak voltak. Ezek típusát a jól kivehető jellegek szerint a megfelelő fenomenológiai osztályokba soroltam.

4.4.2. Egyéb változó-jelöltek

A leválogatást követően megmaradt változó-jelöltek fénygörbéinek vizsgálatához a Fourier-analízist hívtam segítségül. A Dr. Bódi Attila (ELKH CSFK) által rendelkezésemre bocsátott Python kód módosításával kiszámítottam az egyes jelöltekre a relatív Fourier paramétereket, majd ezeket ábrázoltam az OGLE adatbázisban elérhető változókéval együtt (**8. ábra**). A fedési kettősökre az OGLE adatbázisban nem érhetőek el ezen paraméterek, azokat Dr. Radek Smolec (Nicolaus Copernicus Astronomical Center) bocsátotta témavezetőm rendelkezésére kutatása során. Ezek az adatok vak kereséssel készültek, vagyis a frekvenciaspektrum domináns, legnagyobb amplitúdójú csúcsát keresve, ahol nem lett figyelembe véve, hogy fizikailag a keringési frekvencia jellemzően ennek a frekvenciának a fele.

A fénygörbét először az alábbi függvénnyel illesztettem:

$$m(t) = m_0 + \sum_i A_i \cos(2\pi i f t + \phi_i) \quad (2)$$

Ahol m_0 a csillag átlagfényessége, és f a pulzációs frekvencia. Ebben a felírásban a frekvenciák számára megszabom, hogy $i = 1, 2, 3, \dots$ legyen, így tehát A_i és ϕ_i az f domináns frekvenciának és harmonikusainak amplitúdói, illetve fázisai. Pulzáló változók esetében a domináns frekvencia a pulzációs frekvenciát is jelenti. Ezek a mennyiségek írják le egy periodikus fénygörbe pontos alakját. Az amplitúdók és fázisok pontos értéke viszont függ a mérés körülményeitől is.

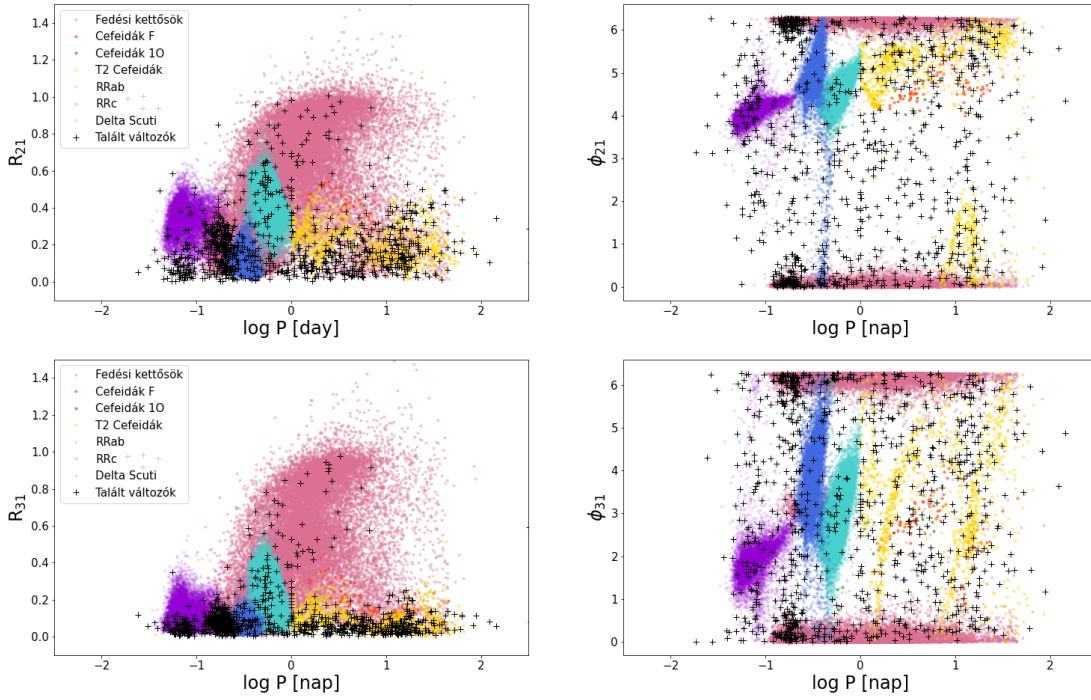
Helyettük célszerűbb a relatív Fourier paramétereket használni: az amplitúdó-arányokat és fáziskülönbségeket, amelyeket a 3. egyenletek szerint kapjuk meg, ahogy Simon & Lee

(1981) cikkében szerepel:

$$R_{i1} = A_i/A_1 \qquad \phi_{i1} = \phi_i - i\phi_1 \qquad (3)$$

Ebben az esetben az $i = 2$ és 3 paramétereket számoltam ki. Ez az eljárás mára bevált klasszifikálási módszernek számít. A változók klasszifikálásakor az OGLE csoport is részben ezek segítségével azonosította be az egyes típusokat (Soszyński és mtsai, 2008, 2009; Pietrukowicz és mtsai, 2020), a kapott paraméterek szintén elérhetőek az adatbázisaikban.

Talált jelöltek



8. ábra. A talált változók relatív Fourier paraméterei. Színes háttérrel képeznek az OGLE-beli változócsillagok; δ Scutik (lila), RRab-k (kék), RRC-k (türkizkék), fedési kettősök (rózsaszín), II. típusú cefeidák (sárga), alpmódusú (piros) és az első felhangú cefeidák (zöld). Fekete kereszttel jelöltem a megtalált változókat.

A **8. ábrát** megvizsgálva úgy határoztam, a rövid periódusú változókra koncentrálok ebben a dolgozatban. A jobb átláthatóság kedvéért elkészítettem ezen ábrákat az egyes rövid periódusú változókat kiemelve. Csak azon jelölteket klasszifikáltam be, amelyek minden relatív Fourier paraméter szerint megfeleltek valamely változó típusnak. Ehhez készítettem el a **9, 10, 11. és 12. ábrákat**.

Ahogy az ábrákon is látszik, a talált változók között már elkülönítettem a blend és a kontamináció okozta találatokat. *OGLE-IV változókként* jelöltem meg azokat, mely esetekben az OGLE változócsillag katalógusok egyikében található objektum okozta változásokat fedeztem fel a vizsgált kettős fénygörbéjén.

Az ellenőrzéshez egy Python kódot írtam, amelyben a 4. egyenlet felhasználásával és a katalógusokban²³⁴⁵ szereplő koordinátákkal meghatároztam a talált változók körül egy-egy 100 ívmásodperces kört, amelyből kigyűjtöttem a legkisebb periódusbeli eltérést mutató OGLE változócsillagokat.

$$d = \arccos(\sin \delta_1 \cdot \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cdot \cos \delta_2 \cdot \cos(|\alpha_1 - \alpha_2|)) \quad (4)$$

A kontamináció kisebb, mint 0,01 napos eltérésű periódusoknál és az objektumok kevesebb, mint 2 ívmásodperces távolságánál jelentkezett. Azonban az ilyen jelöltek száma sem elhanyagolható, így a függelékben található **8. táblázatba** gyűjtöttem össze őket.

A talált pulzáló változók közül a δ Scuti típusúak esetében a legvalószínűbb, hogy nem csak egy irányban látszanak a fedési kettőssel, hanem összetartozó kettős vagy többes rendszer tagjai is. Ezért ellenőriztem a fénygörbéiket, hogy mutatnak-e a következő fejezetben részletesen tárgyalt fényidő-effektusra utaló $O - C$, illetve fázisváltozásokat. Az OGLE-BLG-ECL-262353-ben azonosított δ Scuti csillagnál találtam ilyen jeleket, ennek a csillagnak a modellezéséről az 5. fejezetben lesz szó. Emellett több csillagnál is összetett, több módus jelenlétére utaló frekvenciaspektrumot találtam. Az OGLE-BLG-ECL-145640 háttérében lévő csillagban sikerült két radiális módust azonosítanom 0,774

²I. típusú cefeidák: <ftp://ftp.astrouw.edu.pl/ogle/ogle4/OCVS/blg/cep/>

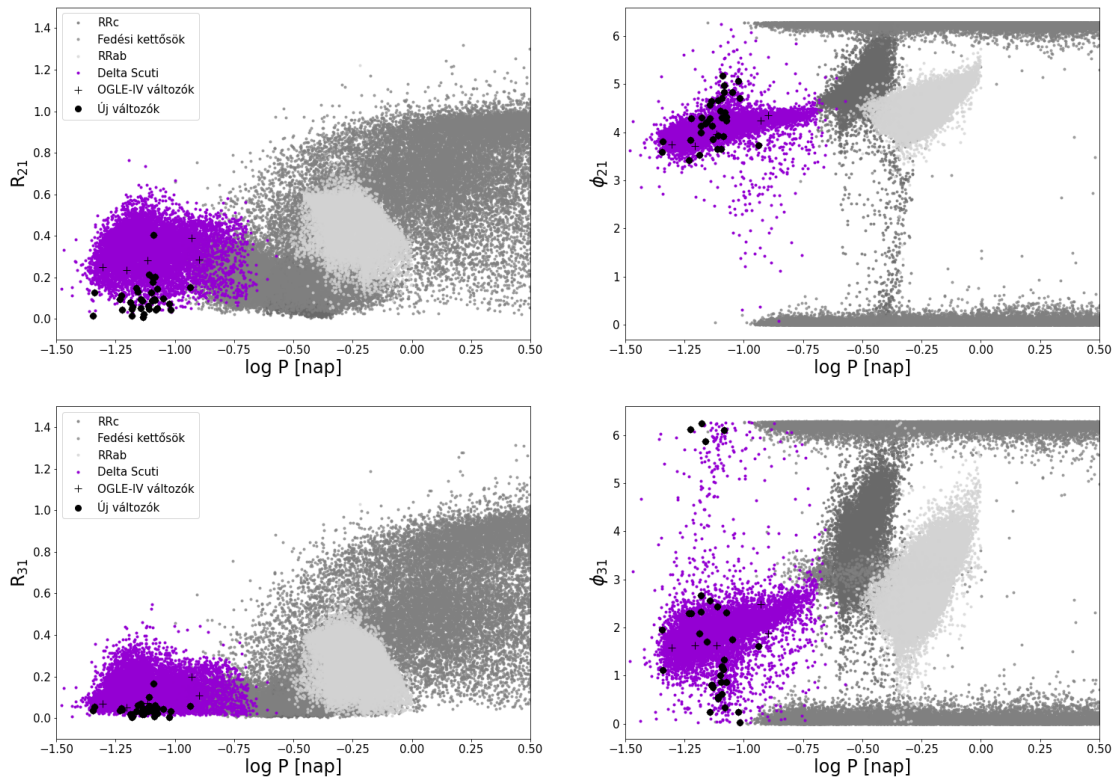
³II. típusú cefeidák: <ftp://ftp.astrouw.edu.pl/ogle/ogle4/OCVS/blg/t2cep/>

⁴RR Lyrae típusúak: <ftp://ftp.astrouw.edu.pl/ogle/ogle4/OCVS/blg/rrlyr/>

⁵ δ Scuti csillagok: <ftp://ftp.astrouw.edu.pl/ogle/ogle4/OCVS/blg/dsct/>

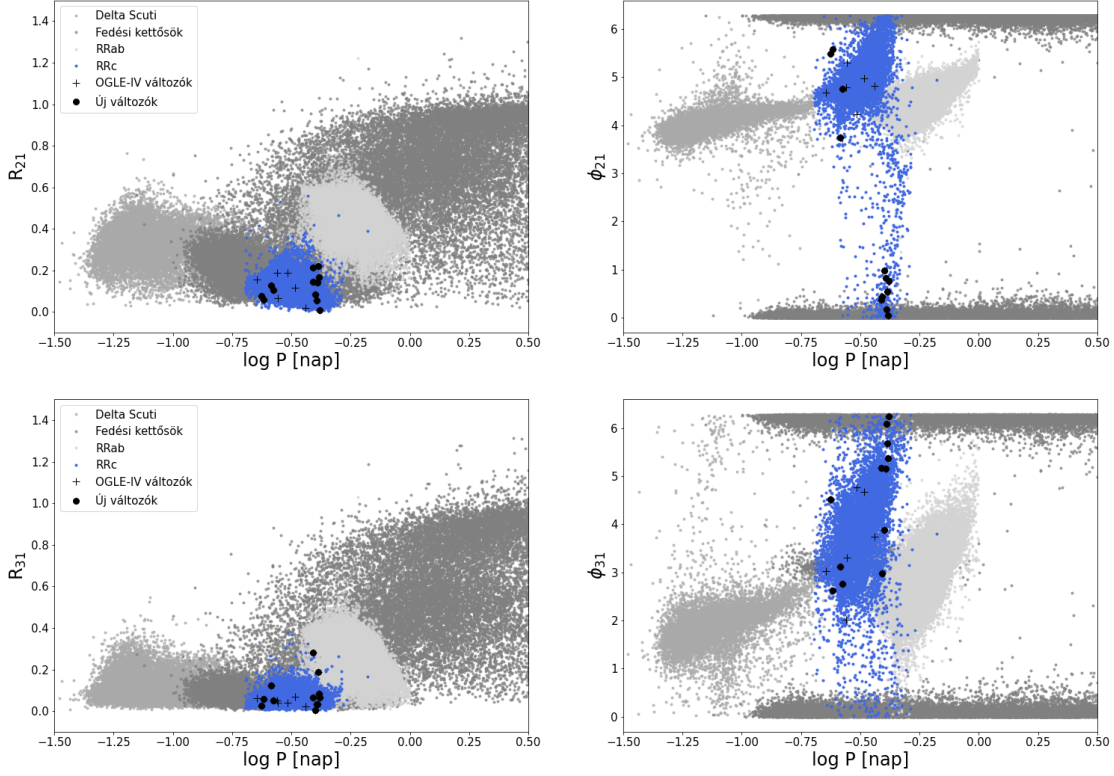
periódusaránnnyal, ami alapmódusú és első felhangú pulzációt jelent (Netzel és mtsai, 2022). Számos csillag mutat alacsonyfrekvenciás jeleket is, ami γ Doradus típusú változásra utal. Bár ma úgy gondoljuk, hogy az ilyen csillagok többsége valójában hibrid δ Sct– γ Dor pulzátor, az OGLE csillagokat ilyen szempontból még nem vizsgálták meg. Ezért ezeket a csillagokat érdemes lesz tovább elemezni a jövőben.

Delta Scuti jelöltek



9. ábra. A talált δ Scuti változók relatív Fourier paraméterei. Szürke árnyalataival szerepelnek a rövid periódusú OGLE-IV változók, lilával az OGLE-beli δ Scuti csillagok. Fekete kereszttel jelöltem a megtalált változókat, melyek esetén kontaminációról volt szó. Fekete pontokkal jelöltem az új beazonosított változókat.

RRc jelöltek



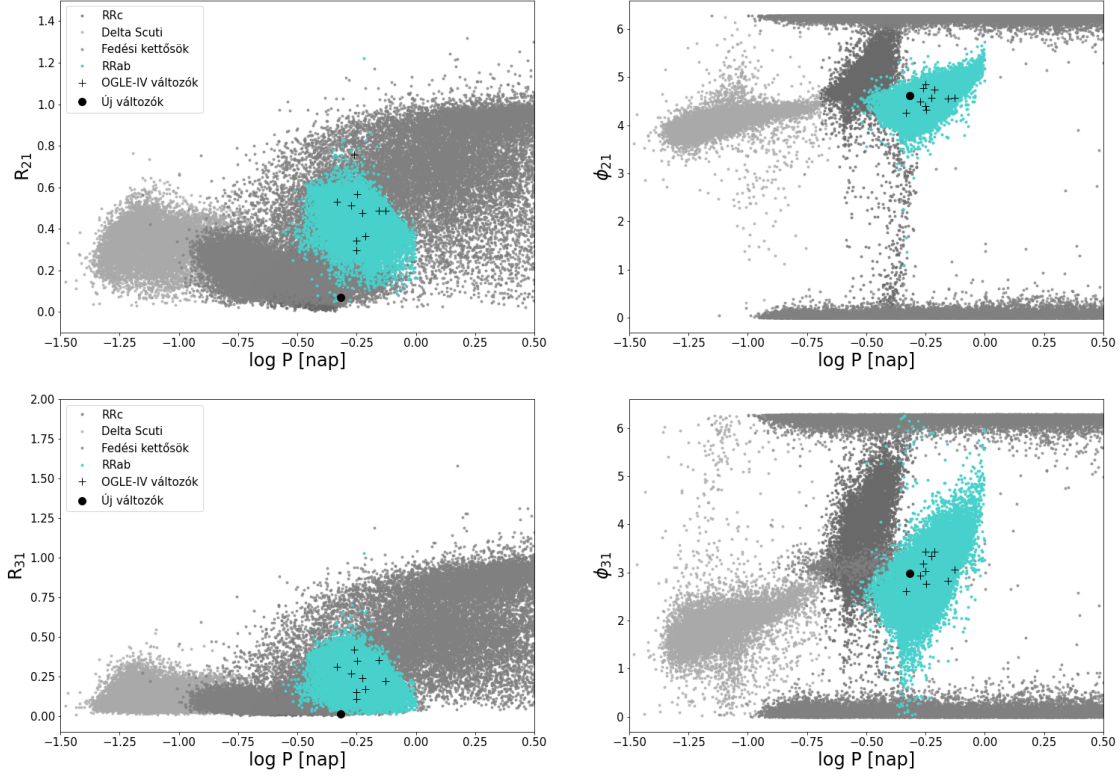
10. ábra. A talált RRc változók relatív Fourier paraméterei. Szürke árnyalataival szerepelnek a rövid periódusú OGLE-IV változók, kékkel az OGLE-beli RRc csillagok. Fekete kereszttel jelöltem a megtalált változókat, melyek esetén kontaminációról volt szó. Fekete körrel jelöltem az új beazonosított változókat.

4.5. Rendszerek közti kapcsolat vizsgálata

A következő lépésben a fedési kettősök háttérében felfedezett kettősöket megvizsgáltam, hogy fizikai kapcsolatban állnak-e a vizsgált rendszerrel. Ehhez több jelölt esetében elkészítettem mind az OGLE katalógusban szereplő, mind a háttérben talált kettős $O - C$ diagramját, majd ezeket vizsgáltam meg, hogy mutatnak-e változásokat.

A fedési minimumidőpontok változásának számos oka lehet. Ennek megfelelően az $O - C$ diagramok is többféle alakot ölthetnek. A parabolikus $O - C$ folytonosan vál-

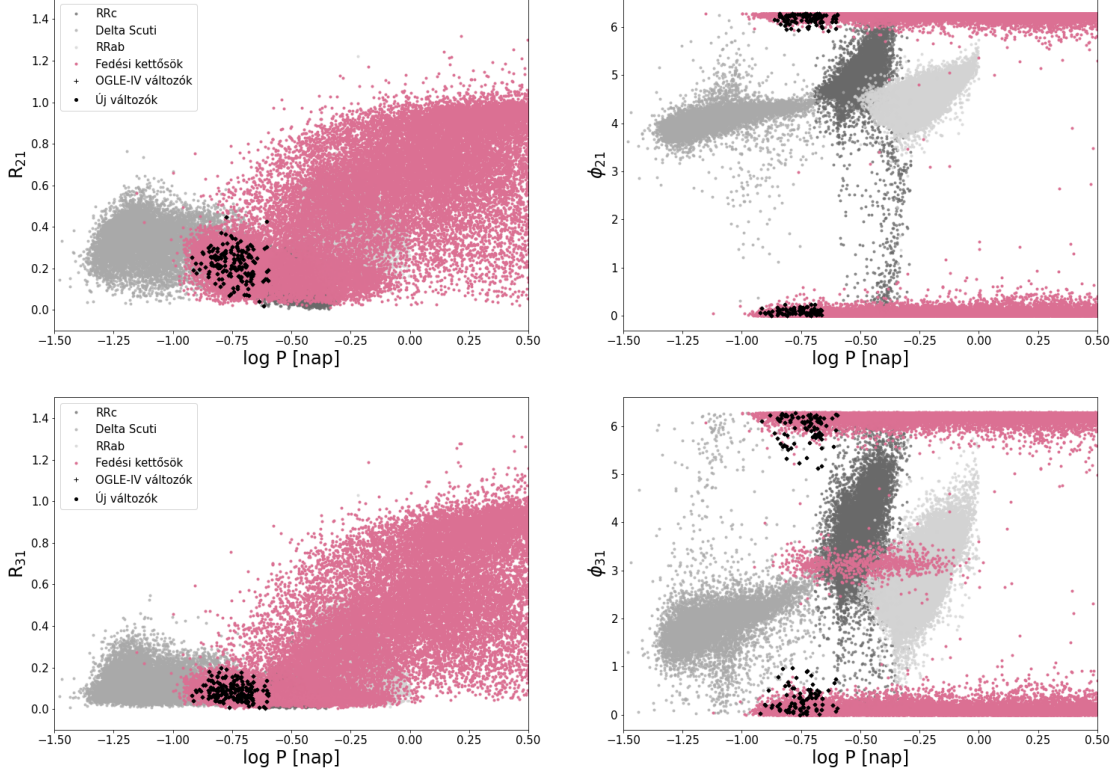
RRab jelöltek



11. ábra. A talált RRab változók relatív Fourier paraméterei. Szürke árnyalataival szerepelnek a rövid periódusú OGLE-IV változók, türkizkék az OGLE-beli RRab csillagok. Fekete kereszttel jelöltem a megtalált változókat, melyek esetén kontaminációról volt szó. Fekete körrel jelöltem az új beazonosított változókat.

tozó periódusra, illetve tömegátadásra utal (Borkovits, 2016). A periodikus vagy kvázi-periodikus $O - C$ diagramok, amelyek szinuszos jellegűek, egy harmadik komponensre utalhatnak a rendszerben. A megfigyelhető alak pedig a fényidő-effektusnak köszönhető. Az effektus lényege, hogy a hármas rendszerbeli keringés miatt a kettős tőlünk való távolsága periodikusan változik, a fény véges terjedési sebességének következtében az egyes fedési eseményeket korábban, vagy később látjuk bekövetkezni a számított időponthoz képest. Az égi mechanikai megfontolásoknak megfelelően ez a „harmadik komponens” egy szoros kettős is lehet. Ha a két kettős rendszer fizikai kapcsolatban van, azonos periódusú,

W UMa jelöltek



12. ábra. A talált W UMa változók relatív Fourier paraméterei. Szürke árnyalataival szerepelnek a rövid periódusú OGLE-IV változók, rózsaszínnel az OGLE-beli W UMa csillagok. Fekete keresztrel jelöltem a megtalált változókat, melyek esetén kontaminációról volt szó. Fekete körrel jelöltem az új beazonosított változókat.

de ellentétes fázisú $O - C$ diagramokat várunk tőlük.

Az $O - C$ diagramok elkészítését követően a harmadik komponens pályaparamétereit az alábbi egyenlet segítségével kívántam meghatározni, amely Borkovits és mtsai (2015) cikkében szerepel.

$$O - C = -\frac{a_{AB} \cdot \sin(i_2)}{c} \frac{(1 - e_2^2) \sin(v_2 + \omega_2)}{1 + e_2 \cos(v_2)} \quad (5)$$

A 5. egyenletben szereplő paraméterek pedig a következők; a_{AB} a szoros kettős tág pályára vonatkoztatott félnagy tengelye, e_2 a külső pálya excentricitása, ω_2 a pericentrum

argumentuma, i_2 a tág pálya inklinációja, v_2 pedig a valódi anomália. Itt jegyezném meg, hogy ilyen nagy periódusaránnal ($P_2/P_1 > 100$ nap) rendelkező rendszerek esetében a dinamikai perturbációk elhanyagolhatóak (lásd: Borkovits és mtsai (2016) és Zasche és mtsai (2019)).

A paraméterek értékeit a Markov-lánc Monte Carlo (MCMC) módszer segítségével számítottam ki, az *emcee*⁶ Python csomag használatával (Foreman-Mackey és mtsai, 2013).

⁶<https://emcee.readthedocs.io/en/stable/>

5. Eredmények

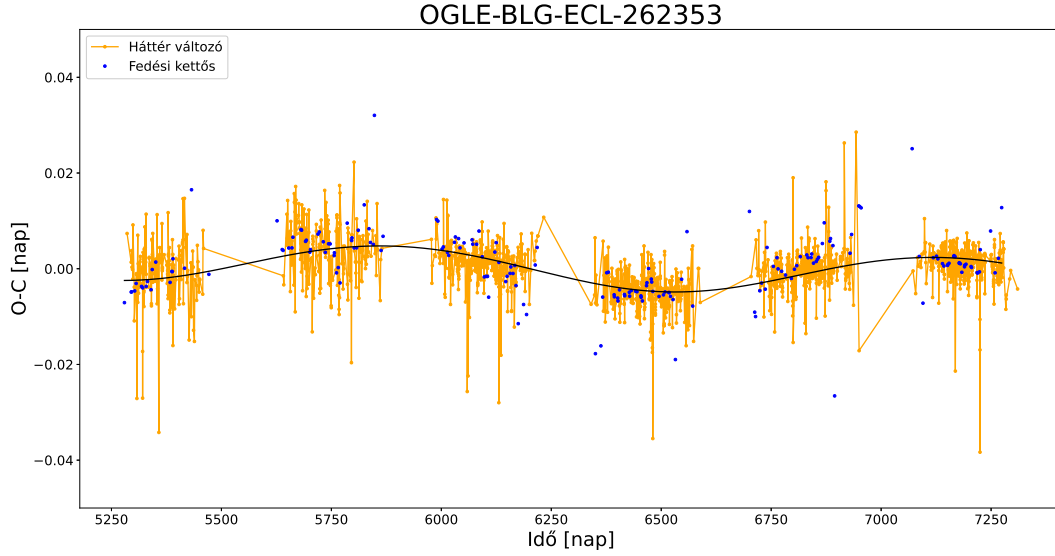
TDK munkám célja egy olyan katalógus megalkotása volt, amelyben a kutatásom során felfedezett változó-jelölteket gyűjtöttem össze. Ennek nagysága azonban meghaladta a várakozásaimat, így a függelékbe került át (**9. táblázat**). Egy kis ízelítő céljából minden változó típusból kiválasztottam egyet és az eredeti táblázatnak megfelelően a **2. táblázatba** gyűjtöttem össze jellemzőiket.

Miután két csoportba soroltam a háttérbeli objektumokat, a fedési kettősök kategóriába 96 változó jelölt került. A kontamináció vizsgálat után 71 új változót sikerült beazonosítanom. Ezek megoszlása a következő: 20 db W UMa, 11 db β Lyrae és 40 db Algol-típusú fedési kettőst fedeztem fel.

Az egyéb változó kategóriába összesen 1094 darab jelöltet soroltam. Ahogy korábban említettem, a Fourier-analízis eredményét látva a dolgozatban csak a rövid periódusúakra koncentráltam. Ezek közül kizártam a kontamináció okozta találatokat, így további 221 darab új változót tudtam klasszifikálni. Ezek megoszlása az alábbi: 12 db RRc, 1 db RRab, 34 db δ Scuti és további 174 db W UMa.

Az egyetlen új RRab típusú csillag az OGLE-BLG-ECL-258518 fénygörbéjében látszó változó. A fénygörbéje kissé szokatlan, felmerülhet bennünk, hogy akár RRc is lehetne. Paramétereit ezért összevetettem az RRc csillagokéval és ezek alapján egyértelműen az RRab-k közé soroltam. Ennek kapcsán elmondható, hogy az OGLE csapat által beazonosított RRab csillagok némelyike is szokatlan fénygörbét mutat.

A változók további vizsgálatának céljából elkészítettem a talált δ Scuti csillagok $O-C$ diagramját. Erről a változó típusról tudható, hogy gyakran fordul elő többes rendszer tagjaként, ez pedig meghatározható az $O-C$ diagramok vizsgálatával. Egy ilyen rendszert azonosítottam be kutatásom során (OGLE-BLG-ECL-262353). A **13. ábrán** látható a rendszer $O-C$ diagramja. Kékkel az előtérben lévő fedési kettőse, narancssárgával pedig a háttérbeli pulzálóé. Fekete vonal jelzi a rendszer illesztését, aminek illeszkedése mindkét adathalmazra mutatja, hogy ugyanazt az $O-C$ változást szenvedik el. Tehát a δ Scuti a szoros kettős tagja, és a van egy távoli harmadik komponense a rendszernek, amelyet nem látunk. A tág pályára kiszámított értékek a **1. táblázatban** olvashatók.



13. ábra. Az OGLE-BLG-ECL-262353 és a háttérben található δ Scuti $O - C$ diagramja. A fedési kettős $O - C$ diagramja kék pontokkal szerepel, a háttér levonása után. A pulzáló $O - C$ diagramja, megtisztítva az előtérbeli kettőstől, narancssárgával szerepel. Fekete vonallal szerepel a rendszer illesztése, a pálya paraméterei a **1. táblázatban** szerepelnek.

1. táblázat. Az OGLE-BLG-ECL-262353 rendszer harmadik komponensének pályaparamétereire kiszámított értékek és hibáik, melyeket a tizenhatodik, ötvenedik és nyolvannegyedik percentilisek segítségével határoztam meg.

P_2 [nap]	τ_2 HJD-2450000 [nap]	$a \cdot \sin(i_2)$ [$R_\odot$]	e_2	ω_2 [rad]
1253^{+23}_{-27}	4136^{+609}_{-98}	157^{+9}_{-6}	$0,097^{+0,11}_{-0,07}$	$2,55^{+0,96}_{-0,48}$

A háttérbeli változók keresése közben figyeltem fel öt rendszerre, amelynek háttérben fedési kettős található.

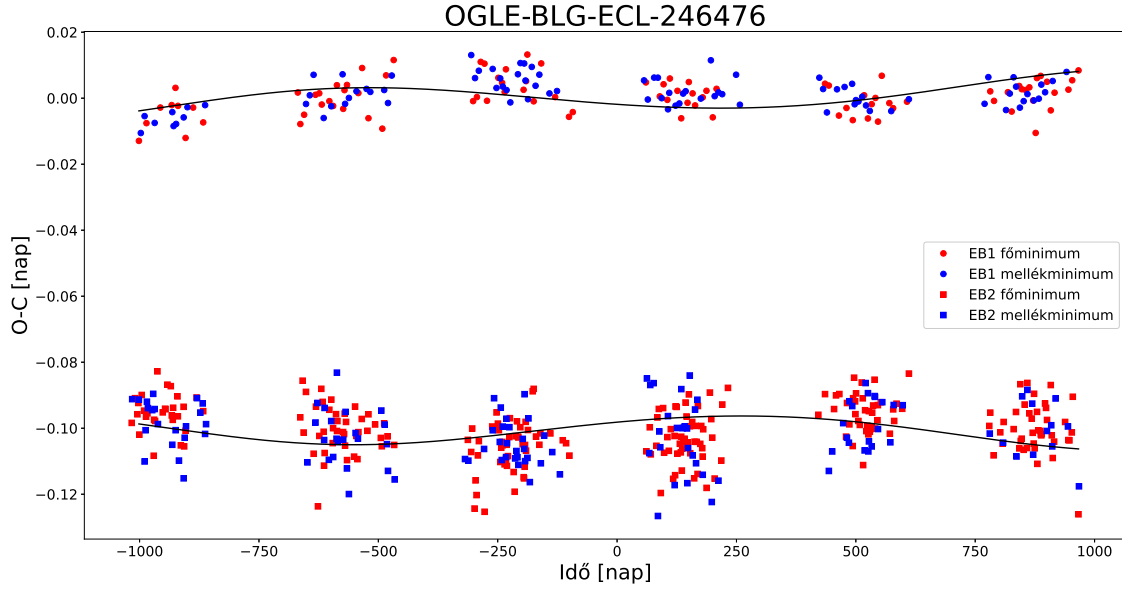
Ezek közül az OGLE-BLG-ECL-130692 háttérben lévő fedési kettős paraméterei azonban nem határozhatóak meg pontosan ennyi adatból. A rendelkezésre álló adatok alapján arra következtethetünk legalább 2000 napos periódusú a kettősök közötti tág pálya. Az OGLE-BLG-ECL-145467 pedig egy olyan négyes rendszer, amely Zasche és mtsai (2019) cikkében már szerepel. Ezen rendszerek általam kiszámított paraméterei, illetve modellezése a függelék A.1. fejezetében szerepelnek. Utóbbi rendszernél a Zasche és mt-

2. táblázat. Néhány kiemelt jelölt klasszifikációja. A periódus értékeket négy tizedesjegyre kerekítettem. A teljes lista a függelékben, a **9. táblázatban** szerepel.

Klasszifikáció				
Azonosító (OGLE-BLG-ECL-)	OGLE periódus [nap]	Háttér periódus [nap]	Változó osztály	Típus
039897	3,7870	0,0687	pulzáló	δ Scuti
129019	0,5919	0,2062	fedési kettős	W UMa
136247	0,7623	1,1529	fedési kettős	Algol
136305	0,6822	0,4165	pulzáló	RRc
258518	0,3149	0,4834	pulzáló	RRab
284282	0,8174	0,4421	fedési kettős	β Lyrae

sai (2019) publikációban szereplő excentricitás értékekkel ($e = 0,394 \pm 0,018$) összevetve szembetűnő eltéréseket láthatunk, ennek oka, hogy én nem adtam olyan nagy súlyt az alacsonyabb értékeknek, mint ők.

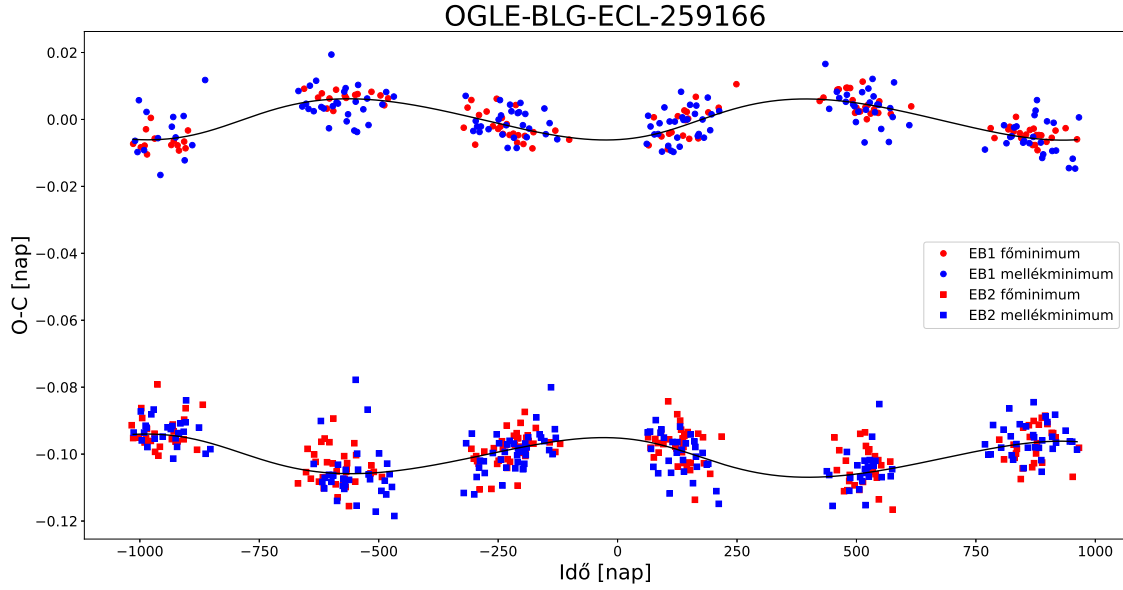
A további három rendszer (OGLE-BLG-ECL-246476, OGLE-BLG-ECL-259166 és OGLE-BLG-ECL-297270) modellezési eredményei a **14.**, **15.** és **16. ábrán** szerepelnek. A képek felső részén szerepel az OGLE által azonosított rendszer $O - C$ diagramja, az alján pedig a háttérben található fedési kettős – jobb láthatóság érdekében – y tengely mentén eltoltt $O - C$ diagramja szerepel. Fekete vonallal jelöltem az értékekhez illesztett görbét. Az illesztésből származó paraméterek és azok hibái a **3.**, **4.** és **5. táblázatban** szerepelnek. Ezek olyan négyes rendszerek, amelyek eddig nem voltak publikálva.



14. ábra. Az OGLE-BLG-ECL-246476 és a háttérben található fedési kettős eltolt $O - C$ diagramja. Az ábra felső részén a OGLE-BLG-ECL-246476 $O - C$ diagramja szerepel a háttér levonásával, piros pontokkal a főminimumumok, kékkel pedig a mellékminimumok értékei szerepelnek. Az ábra alján a háttérbeli fedési kettős $O - C$ diagramja szerepel megtisztítva az előtérbelitől. Piros négyzettel a főminimumok, kékkel a mellékminimumok értékei. A jobb átláthatóság miatt a „háttérhez” tartozó $O - C$ értékekből levontam egytizedet.

3. táblázat. Az OGLE-BLG-ECL-246476 háttérben található fedési kettős pályaparamétereire kiszámított értékek és hibáik, melyeket a tizenhatodik, ötvenedik és nyolvannegyedik percentilisek segítségével határoztam meg.

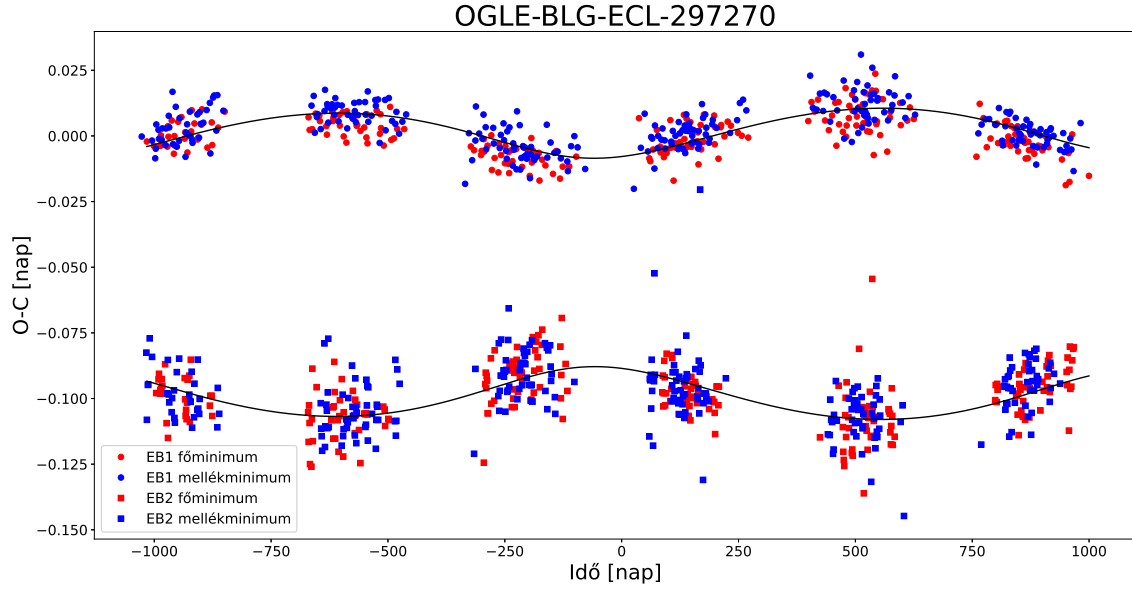
P_2 [nap]	τ_2 HJD-2450000 [nap]	$a_{AB} \cdot \sin(i_2)$ [$R_\odot$]	e_2	ω_2 [rad]	$a_{CD} \cdot \sin(i_2)$ [$R_\odot$]
1715^{+188}_{-154}	1005^{+492}_{-405}	176^{+37}_{-28}	$0,25^{+0,33}_{-0,17}$	$3,3^{+1,2}_{-1,8}$	190^{+42}_{-33}



15. ábra. Az OGLE-BLG-ECL-259166 és a háttérben található fedési kettős eltolt $O - C$ diagramja. Az ábra felső részén a OGLE-BLG-ECL-259166 $O - C$ diagramja szerepel a háttér levonásával, piros ponttal a főminimumok, kékkel pedig a mellékminimumok értékei szerepelnek. Az ábra alján a háttérbeli fedési kettős $O - C$ diagramja szerepel megtisztítva az előtérbelitől. Piros négyzettel a főminimumok, kékkel a mellékminimumok értékei. A jobb átláthatóság miatt a „háttérhez” tartozó $O - C$ értékekből levontam egytizedet.

4. táblázat. Az OGLE-BLG-ECL-259166 háttérben található fedési kettős pályaparamétereire kiszámított értékek és hibáik, melyeket a tizenhatodik, ötvenedik és nyolvannegyedik percentilisek segítségével határoztam meg.

P_2 [nap]	τ_2 HJD-2450000 [nap]	$a_{AB} \cdot \sin(i_2)$ [$R_\odot$]	e_2	ω_2 [rad]	$a_{CD} \cdot \sin(i_2)$ [$R_\odot$]
956^{+28}_{-31}	982^{+163}_{-954}	233^{+27}_{-21}	$0,29^{+0,16}_{-0,15}$	$2,87^{+0,50}_{-0,54}$	228^{+34}_{-31}



16. ábra. Az OGLE-BLG-ECL-297270 és a háttérben található fedési kettős eltolt $O - C$ diagramja. Az ábra felső részén a OGLE-BLG-ECL-297270 $O - C$ diagramja szerepel a háttér levonásával, piros ponttal a főminimumok, kékkel pedig a mellékminimumok értékei szerepelnek. Az ábra alján a háttérbeli fedési kettős $O - C$ diagramja szerepel megtisztítva az előtérbelitől. Piros négyzettel a főminimumok, kékkel a mellékminimumok értékei. A jobb átláthatóság miatt a „háttérhez” tartozó $O - C$ értékekből levontam egytizedet.

5. táblázat. Az OGLE-BLG-ECL-297270 háttérben található fedési kettős pályaparamétereire kiszámított értékek és hibáik, melyeket a tizenhatodik, ötvenedik és nyolvannegyedik percentilisek segítségével határoztam meg.

P_2 [nap]	τ_2 HJD-2450000 [nap]	$a_{AB} \cdot \sin(i_2)$ [$R_\odot$]	e_2	ω_2 [rad]	$a_{CD} \cdot \sin(i_2)$ [$R_\odot$]
1181^{+11}_{-11}	263^{+83}_{-92}	338^{+15}_{-14}	$0,288^{+0,064}_{-0,064}$	$1,30^{+0,27}_{-0,28}$	332^{+24}_{-22}

6. Összefoglalás

Munkám során az OGLE kettőscsillag katalógusának adatait használtam fel háttérben lévő változócsillagok keresése céljából.

A fedési kettősök fénygörbéit vizsgáltam meg annak érdekében, hogy a célkeresztben lévő fedési kettősök jeléről leválazzam a lehetséges háttérbeli változót.

Kutatásom lépéseinek felvázolása előtt megvilágításba helyeztem az OGLE projekt történeti háttérét és elsődleges célkitűzéseit. Bemutattam a távcsövet, mellyel a méréseket végezték. Továbbá részletesen kifejtettem, mi jellemzi a főbb változócsillag típusokat, amelyek az elkészült katalógusban szerepelnek. Tipikus fénygörbék segítségével prezentáltam leírt jellegzetességeiket.

A 4. fejezetben foglaltam össze, milyen módon végeztem a kutatásom és milyen lépések következtek egymás után. A legelső feladat a rendszerek kiválogatása volt, mely során nagy hangsúlyt fektettem a szükséges adatpontok számára, illetve a rendszerek fényességi értékére. A közel félmillió rendszert tartalmazó katalógusból kiválogattam a kevesebb, mint 4000 adatponttal rendelkező kettősöket. A kettőscsillag jelének levonása érdekében először feltekertem a fedési kettős fénygörbéjét. Majd ezt a görbét megillesztettem egy Python csomagbeli függvény segítségével. A háttérbeli változóhoz tartozó adatpontokat az illesztett görbe levonásával nyertem ki a kettős feltekert görbéjéből. A következő feladat a változó feltekert fénygörbéjének létrehozása volt. Ehhez azonban előbb a kapott reziduál görbén kellett periodikus változásokat keresnem, amit a PDM módszerrel végeztem. Ezt a lépést a teljes minta egészére elvégeztem Lomb-Scargle módszerrel is, ugyanakkor az így kapott értékeket csak a PDM által kétségesnek ítélt jelölteknél hívtam segítségül. A potenciális változó jelöltek első kategorizálása során az új periódussal létrehozott fénygörbék ábráit vettem figyelembe. Továbbá a távcső azon tulajdonságát, hogy földfelszíni, így méréseit a nappalok-éjszakák váltakozása nagyban befolyásolja. Fénygörbéjük alapján klasszifikáltam az általam felfedezett jelölteket, egy részükre Fourier-analízist is elvégezve, illetve kizártam a kontamináció okozta találatokat.

A fejezet végén a klasszifikált jelölteket vizsgáltam meg, hogy van-e kapcsolat a vizsgált rendszer és a háttérben talált fedési kettős között. Ehhez elkészítettem a rendszerek

$O - C$ diagramját és ezt vizsgáltam alak szempontjából és négy esetben találtam többes rendszerre utaló változást. Ezek mellett egy δ Scuti változó esetében sikerült kimutatnom, hogy a fedési kettős rendszer tagja, ami körül egy távoli harmadik tag is kering: ez az ötödik többes rendszer, amit azonosítottam.

Az eredmények között prezentáltam a létrehozott katalógust, illetve a kapcsolati vizsgálat eredményeképp beazonosított többes rendszereket. Habár nem elhanyagolható mennyiségű új változócsillagot sikerült beazonosítani, a jövőben a hosszabb periódusú tartománnyal szeretném kibővíteni a katalógusom.

Köszönetnyilvánítás

Megfelelő hálámat rövidre és tömörre fogván csupán az alábbi sorokat fűzöm ide. Nagyon hálás vagyok a témavezetőimnek a tökéletesen eltalált arányokért, amelyekkel a munkámat egyengették. Hisz rám merték bízni önállóan a feladatokat, azonban mindig készen álltak segíteni, amikor elakadtam valamiben.

Kutatómunkámat az NKFIH KKP–137523 „SeismoLab” Élvonal pályázata, illetve a Csillagászati Intézet demonstrátori programja támogatta.

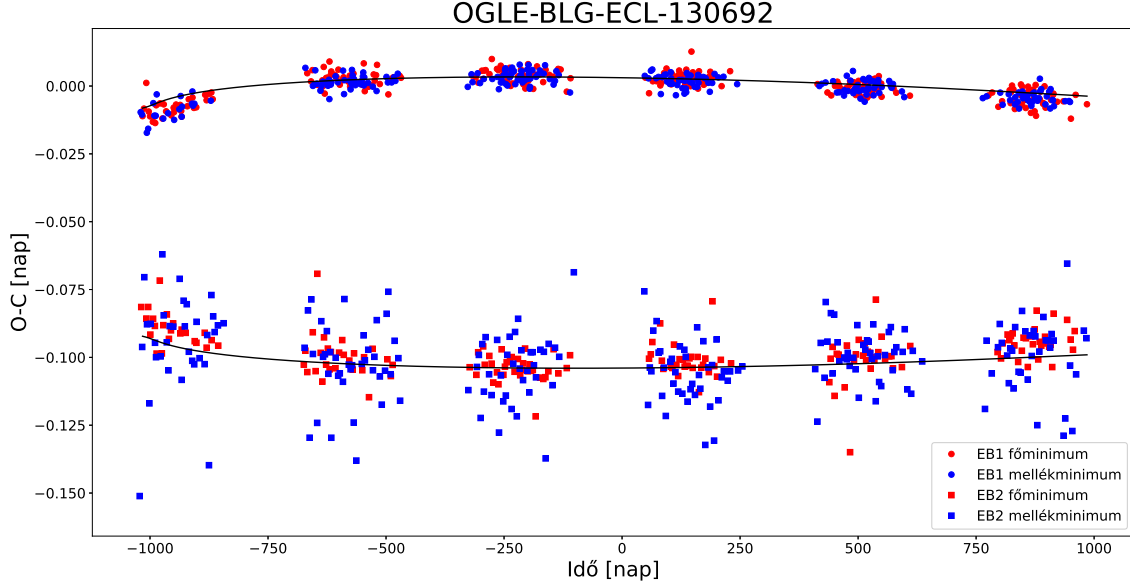
Hivatkozások

- Borkovits T., 2016, A fedési kettős és többes csillagrendszerek vizsgálatának járható útjai, Szegedi Tudományegyetem Bajai Obszervatóriuma, MTA Doktori értekezés
- Borkovits T., Hajdu T., Sztakovics J., és mtsai, 2016, MNRAS, 455, 4, 4136
- Borkovits T., Rappaport S., Hajdu T., és mtsai, 2015, MNRAS, 448, 1, 946
- Borkovits T., Rappaport S. A., Hajdu T., és mtsai, 2020, MNRAS, 493, 4, 5005
- Cassan A., Kubas D., Beaulieu J. P., és mtsai, 2012, Nature, 481, 7380, 167
- Conroy K. E., 2016, in AAS/Division of Dynamical Astronomy Meeting #47, AAS/Division of Dynamical Astronomy Meeting, 202.05
- Cunha M. S., Aerts C., Christensen-Dalsgaard J., és mtsai, 2007, A&A Rev., 14, 3-4, 217
- Foreman-Mackey D., Hogg D. W., Lang D., és mtsai, 2013, PASP, 125, 925, 306
- Kurtenkov A., Popov V. A., 2019, Contributions of the Astronomical Observatory Skal-nate Pleso, 49, 2, 390
- Lomb N. R., 1976, Ap&SS, 39, 2, 447
- Murphy S. J., Moe M., Kurtz D. W., és mtsai, 2018, MNRAS, 474, 4, 4322
- Netzel H., Pietrukowicz P., Soszyński I., és mtsai, 2022, MNRAS, 510, 2, 1748
- Paczynski B., 1986, ApJ, 304, 1
- Pietrukowicz P., Soszyński I., Netzel H., és mtsai, 2020, Acta Astron., 70, 4, 241
- Prša A., 2018, Modeling and Analysis of Eclipsing Binary Stars, 2514-3433, IOP Publishing
- Rappaport S., Deck K., Levine A., és mtsai, 2013, ApJ, 768, 1, 33

- Russell H. N., 1948, The Royal Road of Eclipses, in Harvard Observatory Monographs, vol. 7, 181, Harvard Observatory, Cambridge, MA
- Scargle J. D., 1982, ApJ, 263, 835
- Simon N. R., Lee A. S., 1981, ApJ, 248, 291
- Soszyński I., Pawlak M., Pietrukowicz P., és mtsai, 2016, Acta Astron., 66, 4, 405
- Soszyński I., Poleski R., Udalski A., és mtsai, 2008, Acta Astron., 58, 163
- Soszyński I., Udalski A., Szymański M. K., és mtsai, 2009, Acta Astron., 59, 1, 1
- Stellingwerf R. F., 1978, ApJ, 224, 953
- Szatmáry K., Vinkó J., Gergely Á. L., és mtsai, 2013, Asztrofizika, Szegedi Tudományegyetem
- Udalski A., 2003, Acta Astron., 53, 291
- Udalski A., Kubiak M., Szymanski M., 1997, Acta Astron., 47, 319
- Udalski A., Szymański M. K., Szymański G., 2015, Acta Astron., 65, 1, 1
- Virtanen P., Gommers R., Oliphant T. E., és mtsai, 2019, arXiv e-prints, arXiv:1907.10121
- Wyrzykowski Ł., Kozłowski S., Skowron J., és mtsai, 2011, MNRAS, 413, 1, 493
- Zasche P., Vokrouhlický D., Wolf M., és mtsai, 2019, A&A, 630, A128

A. Mellékletek

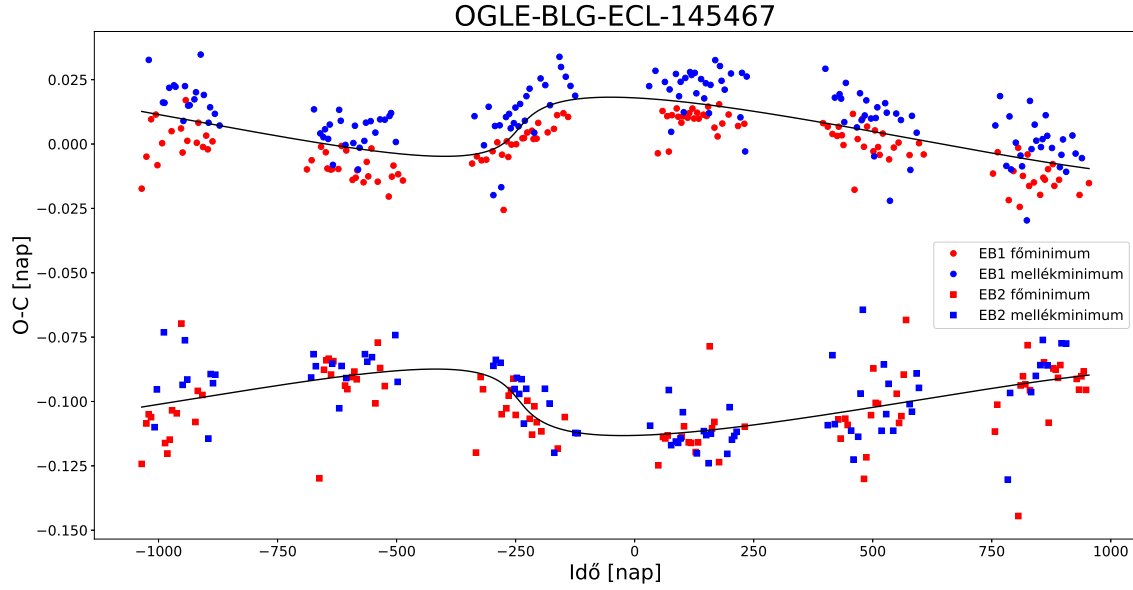
A.1. Többses rendszerek



17. ábra. Az OGLE-BLG-ECL-130692 és a háttérben található fedési kettős eltolt egy lehetséges $O - C$ diagramja. Az ábra felső részén a OGLE-BLG-ECL-130692 $O - C$ diagramja szerepel a háttér levonásával, piros ponttal a főminimumok, kékkel pedig a mellékminimumok értékei szerepelnek. Az ábra alján a háttérbeli fedési kettős $O - C$ diagramja szerepel megtisztítva az előtérbelitől. Piros négyzettel a főminimumok, kékkel a mellékminimumok értékei. A jobb átláthatóság miatt a „háttérhez” tartozó $O - C$ értékekből levontam egytizedet.

6. táblázat. Az OGLE-BLG-ECL-130692 háttérben található fedési kettős pályaparamétereire kiszámított értékek és hibáik, melyeket a tizenhatodik, ötvenedik és nyolvannegyedik percentilisek segítségével határoztam meg.

P_2 [nap]	τ_2 HJD-2450000 [nap]	$a_{AB} \cdot \sin(i_2)$ [$R_\odot$]	e_2	ω_2 [rad]	$a_{CD} \cdot \sin(i_2)$ [$R_\odot$]
2121^{+57}_{-75}	1173^{+76}_{-81}	298^{+56}_{-38}	$0,73^{+0,12}_{-0,15}$	$2,59^{+0,13}_{-1,14}$	273^{+62}_{-48}



18. ábra. Az OGLE-BLG-ECL-145467 és a háttérben található fedési kettős eltolt $O - C$ diagramja. Az ábra felső részén a OGLE-BLG-ECL-145467 $O - C$ diagramja szerepel a háttér levonásával, piros ponttal a főminimumok, kékkel pedig a mellékminimumok értékei szerepelnek. Az ábra alján a háttérbeli fedési kettős $O - C$ diagramja szerepel megtisztítva az előtérbelitől. Piros négyzettel a főminimumok, kékkel a mellékminimumok értékei. A jobb átláthatóság miatt a „háttérhez” tartozó $O - C$ értékekből levontam egytizedet.

7. táblázat. Az OGLE-BLG-ECL-145467 háttérben található fedési kettős pályaparamétereire kiszámított értékek és hibáik, melyeket a tizenhatodik, ötvenedik és nyolvannegyedik percentilisek segítségével határoztam meg.

P_2 [nap]	τ_2 HJD-2450000 [nap]	$a_{AB} \cdot \sin(i_2)$ [$R_\odot$]	e_2	ω_2 [rad]	$a_{CD} \cdot \sin(i_2)$ [$R_\odot$]
1630^{+231}_{-179}	1388^{+231}_{-181}	738^{+105}_{-84}	$0,756^{+0,049}_{-0,058}$	$3,075^{+0,061}_{-0,060}$	760^{+119}_{-107}

A.2. Kontaminált jelöltek

8. táblázat. A kontamináció vizsgálat eredményeképp kizárt új változó jelöltek.

OGLE azonosító	Háttér változó OGLE azonosítója
OGLE-BLG-ECL-043403	OGLE-BLG-RRLYR-01193
OGLE-BLG-ECL-050415	OGLE-BLG-DSCT-01176
OGLE-BLG-ECL-140255	OGLE-BLG-RRLYR-04853
OGLE-BLG-ECL-162653	OGLE-BLG-RRLYR-31535
OGLE-BLG-ECL-164054	OGLE-BLG-DSCT-03914
OGLE-BLG-ECL-166633	OGLE-BLG-RRLYR-31656
OGLE-BLG-ECL-168002	OGLE-BLG-ECL-168013
OGLE-BLG-ECL-168013	OGLE-BLG-ECL-168002
OGLE-BLG-ECL-169301	OGLE-BLG-RRLYR-31721
OGLE-BLG-ECL-169385	OGLE-BLG-ECL-169395
OGLE-BLG-ECL-172630	OGLE-BLG-RRLYR-06807
OGLE-BLG-ECL-190197	OGLE-BLG-RRLYR-07679
OGLE-BLG-ECL-204092	OGLE-BLG-ECL-204060
OGLE-BLG-ECL-210139	OGLE-BLG-RRLYR-08718
OGLE-BLG-ECL-210337	OGLE-BLG-RRLYR-08725
OGLE-BLG-ECL-211367	OGLE-BLG-ECL-211374
OGLE-BLG-ECL-223081	OGLE-BLG-RRLYR-09417
OGLE-BLG-ECL-224671	OGLE-BLG-RRLYR-32979
OGLE-BLG-ECL-225293	OGLE-BLG-ECL-225302
OGLE-BLG-ECL-227750	OGLE-BLG-ECL-227744
OGLE-BLG-ECL-232049	OGLE-BLG-ECL-232059
OGLE-BLG-ECL-233847	OGLE-BLG-ECL-233822
OGLE-BLG-ECL-234434	OGLE-BLG-DSCT-05682
OGLE-BLG-ECL-234828	OGLE-BLG-ECL-234844
OGLE-BLG-ECL-234844	OGLE-BLG-ECL-234828
OGLE-BLG-ECL-239150	OGLE-BLG-DSCT-05792
OGLE-BLG-ECL-239517	OGLE-BLG-RRLYR-10302
OGLE-BLG-ECL-239801	OGLE-BLG-ECL-239777
OGLE-BLG-ECL-245476	OGLE-BLG-ECL-245466
OGLE-BLG-ECL-246041	OGLE-BLG-ECL-246036
OGLE-BLG-ECL-246473	OGLE-BLG-ECL-246468
OGLE-BLG-ECL-248809	OGLE-BLG-RRLYR-10759
OGLE-BLG-ECL-256059	OGLE-BLG-ECL-256053
OGLE-BLG-ECL-261418	OGLE-BLG-ECL-261424

OGLE azonosító	Háttér változó OGLE azonosítója
OGLE-BLG-ECL-261424	OGLE-BLG-ECL-261418
OGLE-BLG-ECL-263077	OGLE-BLG-DSCT-06348
OGLE-BLG-ECL-269577	OGLE-BLG-ECL-269580
OGLE-BLG-ECL-269580	OGLE-BLG-ECL-269577
OGLE-BLG-ECL-269991	OGLE-BLG-ECL-269995
OGLE-BLG-ECL-271895	OGLE-BLG-RRLYR-11886
OGLE-BLG-ECL-279020	OGLE-BLG-ECL-279001
OGLE-BLG-ECL-280936	OGLE-BLG-ECL-280921
OGLE-BLG-ECL-285148	OGLE-BLG-ECL-285159
OGLE-BLG-ECL-285426	OGLE-BLG-ECL-285403
OGLE-BLG-ECL-297739	OGLE-BLG-RRLYR-12948

A.3. Klasszifikált jelöltek

9. táblázat. Kutatásom eredménye, a vizsgált változó jelöltek klasszifikált táblázata. A periódus értékeket négy tizedesjegyre kerekítettem.

Azonosító (OGLE-BLG-ECL-)	OGLE periódus [nap]	Háttér periódus [nap]	Változó osztály	Típus
028118	0,7158	0,2818	fedési kettős	W UMa
032146	1,8655	0,0773	pulzáló	δ Scuti
033287	0,3217	0,3504	fedési kettős	W UMa
036387	0,8431	0,4786	fedési kettős	W UMa
036660	1,9808	0,3988	fedési kettős	W UMa
038325	0,6647	0,3478	fedési kettős	W UMa
039882	2,3638	0,4366	fedési kettős	W UMa
039897	3,7870	0,0687	pulzáló	δ Scuti
085710	0,9262	0,2742	fedési kettős	W UMa
111212	1,0219	0,3764	fedési kettős	W UMa
111324	0,2501	1,1548	fedési kettős	Algol
117283	0,3745	0,4102	fedési kettős	W UMa
120853	0,6479	5,6811	fedési kettős	Algol
121034	0,5031	0,3286	fedési kettős	W UMa
123507	1,0170	2,9488	fedési kettős	Algol
124829	6,9856	3,1392	fedési kettős	Algol
124975	2,8676	2,0406	fedési kettős	Algol
129019	0,5919	0,4124	fedési kettős	W UMa
134784	0,9909	0,3674	fedési kettős	W UMa
134943	0,8021	0,3512	fedési kettős	W UMa
136001	5,3356	0,9088	fedési kettős	Algol
136247	0,7623	1,1529	fedési kettős	Algol
136305	0,6822	0,4165	pulzáló	RRc
138459	1,5412	6,6418	fedési kettős	Algol
139222	0,4575	0,482	fedési kettős	W UMa
140911	4,6254	0,0891	pulzáló	δ Scuti
141382	0,9590	0,4096	fedési kettős	W UMa
141909	1,1669	0,389	pulzáló	RRc
145377	3,0916	0,3076	fedési kettős	W UMa
145640	4,9590	0,0807	pulzáló	δ Scuti
145963	2,1611	0,0779	pulzáló	δ Scuti
148466	4,9786	0,0697	pulzáló	δ Scuti

Azonosító	OGLE periódus	Háttér periódus	Változó osztály	Típus
151177	4,6000	2,2954	fedési kettős	Algol
151421	0,4925	0,3788	fedési kettős	W UMa
151687	0,8740	0,3072	fedési kettős	W UMa
151906	0,5641	0,2934	fedési kettős	W UMa
152990	5,3768	0,0946	pulzáló	δ Scuti
153633	1,0976	0,3622	fedési kettős	W UMa
154538	1,4716	0,486	fedési kettős	W UMa
155419	0,7171	1,5888	fedési kettős	Algol
156530	0,5594	0,4372	fedési kettős	W UMa
156651	0,4100	0,3028	fedési kettős	W UMa
156811	0,5655	0,4622	fedési kettős	W UMa
157170	0,4708	0,291	fedési kettős	W UMa
157834	0,4091	0,4096	pulzáló	RRc
158241	0,3938	0,309	fedési kettős	W UMa
158310	0,4662	1,4652	fedési kettős	Algol
159690	1,4408	0,0734	pulzáló	δ Scuti
160180	0,9153	0,4226	fedési kettős	W UMa
162527	0,4692	0,4192	fedési kettős	W UMa
162682	30,5096	0,4976	fedési kettős	W UMa
162984	6,4924	0,0731	pulzáló	δ Scuti
163992	1,0382	0,6684	fedési kettős	W UMa
164230	1,2893	2,9904	fedési kettős	Algol
165251	0,6643	0,3864	fedési kettős	W UMa
165412	0,3477	3,6323	fedési kettős	Algol
165625	0,3128	0,2649	pulzáló	RRc
165896	0,5166	1,7954	fedési kettős	Algol
166629	0,5144	0,9607	fedési kettős	Algol
166686	0,4981	1,3636	fedési kettős	Algol
166724	0,4796	0,3132	fedési kettős	W UMa
166838	1,1276	0,3224	fedési kettős	W UMa
167334	4,4103	0,0906	fedési kettős	W UMa
170025	1,5895	0,4124	fedési kettős	W UMa
170305	0,2952	0,3522	fedési kettős	W UMa
170306	1,5030	0,082	pulzáló	δ Scuti
171575	0,5710	0,2364	pulzáló	RRc
172418	1,1075	3,1193	fedési kettős	Algol
172918	0,7337	0,4532	fedési kettős	W UMa
174119	0,7626	3,2876	fedési kettős	β Lyrae

Azonosító	OGLE periódus	Háttér periódus	Változó osztály	Típus
174972	1,8074	0,4156	fedési kettős	W UMa
175363	5,8362	0,3326	fedési kettős	W UMa
175389	9,9622	0,3696	fedési kettős	W UMa
175451	1,0385	0,407	fedési kettős	W UMa
175866	32,1560	0,3646	fedési kettős	W UMa
176073	0,7970	0,3512	fedési kettős	W UMa
176216	0,5354	0,344	fedési kettős	W UMa
176470	0,8058	4,331	fedési kettős	Algol
178352	0,6939	0,1156	pulzáló	δ Scuti
179134	0,4042	0,435	fedési kettős	W UMa
180524	0,2978	0,4332	fedési kettős	W UMa
180559	0,8658	0,2603	pulzáló	RRc
182502	6,1723	0,0812	pulzáló	δ Scuti
183527	0,3365	0,4156	fedési kettős	W UMa
183649	2,7378	0,3911	pulzáló	RRc
183765	0,4293	0,3194	fedési kettős	W UMa
184951	0,7902	0,3896	fedési kettős	W UMa
186032	1,4824	0,31	fedési kettős	W UMa
186346	0,9282	0,4972	fedési kettős	W UMa
186604	6,6296	0,3258	fedési kettős	W UMa
187122	0,7740	0,3317	fedési kettős	W UMa
189104	0,4594	0,4258	fedési kettős	W UMa
189844	1,4499	0,302	fedési kettős	W UMa
191453	0,7854	1,2116	fedési kettős	W UMa
191959	1,3525	0,0649	pulzáló	δ Scuti
192547	0,5964	0,4166	fedési kettős	W UMa
192582	2,4551	0,0739	pulzáló	δ Scuti
193282	0,6159	0,3304	fedési kettős	W UMa
193542	10,8642	39,3316	fedési kettős	W UMa
194314	0,3601	0,3762	fedési kettős	W UMa
195851	7,3220	0,3748	fedési kettős	W UMa
196141	0,2229	0,3718	fedési kettős	W UMa
197037	1,0413	0,3366	fedési kettős	W UMa
197453	0,6674	2,598	fedési kettős	Algol
197801	0,4010	0,3204	fedési kettős	W UMa
197897	0,3662	0,3008	fedési kettős	W UMa
198696	3,0428	0,0662	pulzáló	δ Scuti
198783	0,5079	0,392	fedési kettős	W UMa

Azonosító	OGLE periódus	Háttér periódus	Változó osztály	Típus
199033	0,7657	0,4176	fedési kettős	W UMa
200022	0,3504	0,4232	fedési kettős	W UMa
200310	0,3608	0,3338	fedési kettős	W UMa
200402	0,4575	0,4026	fedési kettős	W UMa
202842	0,5652	0,4352	fedési kettős	W UMa
204851	0,5748	0,4308	fedési kettős	W UMa
205211	0,8561	0,2632	fedési kettős	W UMa
205414	1,0997	0,3558	fedési kettős	W UMa
205524	1,8549	0,3898	fedési kettős	W UMa
206767	3,1050	0,06	pulzáló	δ Scuti
207049	0,4685	0,3165	fedési kettős	β Lyrae
207289	0,9844	0,3604	fedési kettős	W UMa
207490	4,0290	0,0778	pulzáló	δ Scuti
207504	0,4149	0,4032	fedési kettős	W UMa
207581	0,3696	0,3348	fedési kettős	W UMa
208337	4,2689	0,9914	fedési kettős	β Lyrae
209383	0,3882	0,2824	fedési kettős	W UMa
209728	0,3221	0,3368	fedési kettős	W UMa
210254	1,1736	0,3734	fedési kettős	W UMa
211260	0,6248	0,3894	fedési kettős	W UMa
212142	0,4669	0,314	fedési kettős	W UMa
212994	0,6908	0,3178	fedési kettős	W UMa
213783	0,4155	0,3796	fedési kettős	W UMa
213786	0,3797	0,4154	fedési kettős	W UMa
213949	0,6914	2,1159	fedési kettős	Algol
214088	0,4296	0,407	fedési kettős	W UMa
214815	6,1529	0,0658	pulzáló	δ Scuti
215916	0,4408	0,6769	fedési kettős	β Lyrae
216018	0,3622	0,4324	fedési kettős	W UMa
216324	0,6435	0,3926	fedési kettős	W UMa
217014	0,5006	0,3104	fedési kettős	W UMa
217054	1,0069	0,4984	fedési kettős	W UMa
218391	2,0742	0,0457	pulzáló	δ Scuti
218440	2,9707	0,3798	fedési kettős	W UMa
218771	0,3980	0,442	fedési kettős	W UMa
219072	0,4310	1,1637	fedési kettős	Algol
219076	0,4882	0,2966	fedési kettős	W UMa
219778	0,4301	0,2512	fedési kettős	W UMa

Azonosító	OGLE periódus	Háttér periódus	Változó osztály	Típus
219999	0,4192	0,2882	fedési kettős	W UMa
220530	0,5520	0,3976	fedési kettős	W UMa
220632	1,2953	2,5784	fedési kettős	β Lyrae
222540	1,6880	0,2898	fedési kettős	W UMa
223171	0,4272	0,3232	fedési kettős	W UMa
224598	0,4389	1,5882	fedési kettős	Algol
224783	0,6149	0,2898	fedési kettős	W UMa
226277	0,7475	3,4708	fedési kettős	Algol
226796	0,8434	0,345	fedési kettős	W UMa
226992	1,3851	0,506	fedési kettős	W UMa
227207	0,6050	0,3336	fedési kettős	W UMa
227744	1,3804	0,419	fedési kettős	β Lyrae
227914	1,0348	0,4894	fedési kettős	W UMa
228244	0,6738	0,428	fedési kettős	W UMa
228293	0,7373	0,4056	fedési kettős	W UMa
228484	0,3736	0,2398	fedési kettős	W UMa
228616	11,6089	0,0958	pulzáló	δ Scuti
229158	0,6201	0,3032	fedési kettős	W UMa
229495	0,9958	1,2886	fedési kettős	Algol
229988	6,1483	11,7052	fedési kettős	Algol
231711	6,3185	0,0825	pulzáló	δ Scuti
231963	0,4166	0,2488	fedési kettős	W UMa
232401	0,3273	6,1132	fedési kettős	Algol
233287	0,7508	10,7298	fedési kettős	Algol
233663	0,3603	0,3756	fedési kettős	W UMa
233819	0,6002	0,2892	fedési kettős	W UMa
233822	1,1657	0,3898	fedési kettős	W UMa
235127	9,0482	0,5006	fedési kettős	W UMa
235154	0,5005	9,0472	fedési kettős	β Lyrae
235353	0,3393	0,4085	pulzáló	RRc
235373	0,8170	0,3394	fedési kettős	W UMa
235899	0,4181	0,066	pulzáló	δ Scuti
235941	0,3863	0,2678	fedési kettős	W UMa
236897	0,4611	0,3824	fedési kettős	W UMa
237830	0,5980	0,3192	fedési kettős	W UMa
238138	0,4161	0,4286	fedési kettős	W UMa
238361	0,5911	0,3862	fedési kettős	W UMa
238988	4,0409	0,3592	fedési kettős	W UMa

Azonosító	OGLE periódus	Háttér periódus	Változó osztály	Típus
239777	5,2137	0,7176	fedési kettős	W UMa
239827	0,4367	0,3796	fedési kettős	W UMa
240175	0,5196	0,5754	fedési kettős	W UMa
240177	0,5754	0,5196	fedési kettős	W UMa
240302	2,1488	0,5451	fedési kettős	β Lyrae
240405	0,6019	0,3756	fedési kettős	W UMa
240562	0,3391	0,3028	fedési kettős	W UMa
240811	0,7125	0,3296	fedési kettős	W UMa
241147	0,3805	0,2898	fedési kettős	W UMa
241466	0,6006	1,3156	fedési kettős	Algol
243090	4,0179	0,0719	pulzáló	δ Scuti
243295	0,5572	0,4057	pulzáló	RRc
243520	0,5151	0,3512	fedési kettős	W UMa
244818	0,3900	0,3084	fedési kettős	W UMa
244880	4,2185	0,0843	pulzáló	δ Scuti
245466	0,6859	0,451	fedési kettős	W UMa
245709	0,3815	0,4142	pulzáló	RRc
246026	0,3045	0,283	fedési kettős	W UMa
246036	0,4884	0,719	fedési kettős	W UMa
246468	3,1173	0,2056	fedési kettős	W UMa
246476	2,6414	0,4114	fedési kettős	W UMa
247628	3,9851	0,0834	pulzáló	δ Scuti
247935	3,3543	0,0594	pulzáló	δ Scuti
249084	0,2772	0,31	fedési kettős	W UMa
249324	7,0092	0,0827	pulzáló	δ Scuti
249429	0,3987	0,3606	fedési kettős	W UMa
250817	0,4396	9,2516	fedési kettős	Algol
250930	0,5056	0,3272	fedési kettős	W UMa
251418	0,6957	6,857	fedési kettős	Algol
251606	0,3340	0,327	fedési kettős	W UMa
251710	0,3347	0,3656	fedési kettős	W UMa
253194	0,5618	0,3246	fedési kettős	W UMa
254726	2,9182	0,0587	pulzáló	δ Scuti
256025	0,3581	3,1584	fedési kettős	β Lyrae
256298	0,5108	0,2834	fedési kettős	W UMa
257772	1,6088	0,4992	fedési kettős	β Lyrae
258138	0,3082	1,1747	fedési kettős	Algol
258518	0,3149	0,4834	pulzáló	RRab

Azonosító	OGLE periódus	Háttér periódus	Változó osztály	Típus
258936	0,4513	0,4234	fedési kettős	W UMa
259120	0,3496	0,3116	fedési kettős	W UMa
259166	0,7261	0,3854	fedési kettős	W UMa
259321	0,4470	0,3808	fedési kettős	W UMa
259359	0,4016	0,2598	fedési kettős	W UMa
260224	0,3572	0,1976	fedési kettős	W UMa
260240	0,3951	0,1786	fedési kettős	W UMa
260512	0,4211	6,2959	fedési kettős	Algol
261116	0,3480	1,5728	fedési kettős	Algol
262353	3,2420	0,0797	pulzáló	δ Scuti
262375	0,4137	0,3451	fedési kettős	W UMa
262725	4,3717	0,3088	fedési kettős	W UMa
263181	0,6799	0,2852	fedési kettős	W UMa
266182	0,3489	0,3991	pulzáló	RRc
266487	0,7606	0,3606	fedési kettős	W UMa
266782	0,6003	0,298	fedési kettős	W UMa
268375	6,6364	0,0805	pulzáló	δ Scuti
269074	0,4088	0,3314	fedési kettős	W UMa
269995	0,6561	0,511	fedési kettős	W UMa
270233	2,2006	0,4318	fedési kettős	W UMa
271630	2,4319	0,3654	fedési kettős	W UMa
272108	0,3603	0,4044	fedési kettős	W UMa
272656	3,3856	0,3622	fedési kettős	W UMa
272973	8,2978	0,3878	fedési kettős	W UMa
273617	2,7733	0,4982	fedési kettős	W UMa
273738	0,3950	0,688	fedési kettős	Algol
273847	0,3778	0,3146	fedési kettős	W UMa
274534	0,4160	0,3756	fedési kettős	W UMa
274965	1,3419	0,3876	fedési kettős	W UMa
275618	0,4025	0,3198	fedési kettős	W UMa
276258	0,8262	0,4182	fedési kettős	W UMa
277014	0,4358	0,2922	fedési kettős	W UMa
277461	0,6797	0,3734	fedési kettős	W UMa
277539	0,5780	0,3754	fedési kettős	W UMa
277992	2,2097	0,3912	fedési kettős	W UMa
278817	0,8648	0,3062	fedési kettős	W UMa
279001	0,8151	0,241	fedési kettős	W UMa
279436	4,1620	0,0841	pulzáló	δ Scuti

Azonosító	OGLE periódus	Háttér periódus	Változó osztály	Típus
279811	7,3780	0,2972	fedési kettős	W UMa
280398	0,4074	7,2618	fedési kettős	W UMa
280921	8,0757	0,3568	fedési kettős	W UMa
282464	0,8516	0,2956	fedési kettős	W UMa
283579	0,3723	1,9612	fedési kettős	Algol
284282	0,8174	0,4421	fedési kettős	β Lyrae
284418	0,4588	0,2666	fedési kettős	W UMa
284896	0,2268	0,392	fedési kettős	Algol
285403	1,0778	0,1577	fedési kettős	W UMa
285692	0,5533	2,0592	fedési kettős	Algol
285827	0,2725	0,425	fedési kettős	W UMa
286273	0,2567	0,4088	fedési kettős	W UMa
286466	0,4180	0,4136	fedési kettős	W UMa
286630	0,5492	0,3758	fedési kettős	W UMa
288432	0,3879	3,7074	fedési kettős	Algol
289079	5,0076	13,5316	fedési kettős	Algol
289379	1,8864	0,0799	pulzáló	δ Scuti
290826	7,1794	0,3534	fedési kettős	W UMa
292142	1,4694	0,0719	pulzáló	δ Scuti
293399	0,4238	0,2842	fedési kettős	W UMa
293405	0,2843	0,4238	fedési kettős	W UMa
293627	3,3547	1,0356	fedési kettős	Algol
293769	1,5049	0,0452	pulzáló	δ Scuti
294525	0,4595	0,2423	pulzáló	RRc
296490	0,4266	0,3918	fedési kettős	W UMa
297270	1,1571	0,504	fedési kettős	W UMa
297854	0,8610	0,3498	fedési kettős	W UMa
298128	0,5135	0,3922	fedési kettős	W UMa
298817	0,4167	0,3936	fedési kettős	W UMa
301991	0,3534	0,4328	fedési kettős	W UMa
303226	3,3698	0,2434	fedési kettős	W UMa