

Szegedi Tudományegyetem
Természettudományi és Informatikai Kar
Kísérleti Fizikai Tanszék

SZAKDOLGOZAT

Félszabályos változócsillagok fénygörbe-analízise

Készítette: Onozó Ervin
Fizika BSc szakos hallgató

Témavezető:
Dr. Szatmáry Károly
egyetemi docens
SZTE Kísérleti Fizikai Tanszék

Szeged
2010

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
Bevezetés.....	3
A változócsillagokról röviden.....	5
A változócsillagok fénygörbe-analízisének módszertana	13
A Fourier analízis	14
A wavelet analízis	16
Az eljárások alkalmazása más területeken.....	17
Eredmények.....	18
AF Cygni.....	18
AH Draconis.....	22
TX Draconis	25
UX Draconis.....	27
Z Aurigae.....	30
Z Ursae Majoris.....	38
Összefoglalás	42
Köszönetnyilvánítás.....	43
Irodalomjegyzék.....	44

Bevezetés

A Naprendszer központi csillagától - a Naptól - függ a földi élet döntő többsége, a Nap az egyik meghatározó tényező a Naprendszer bolygóinak felszínén uralkodó időjárás tekintetében, valamint a Naprendszerben az űr-időjárást is döntően a Nap alakítja. Érthető hát, hogy a Nap működésének megértése fontos. Figyelembe véve, hogy a Nap egy változócsillag - annak ellenére, hogy sokan nem így gondolnak rá -, megismerésének egyik lényeges eszköze más változócsillagok tanulmányozása. A fényességváltozás oka alapján a változócsillagokat öt csoportba szokás sorolni: eruptív, pulzáló, rotáló, fedési és kataklizmikus változó, ezek közül csillagunk az első háromba besorolható.

Távoli csillagok megfigyelésekor lehetőségünk van mérni a csillag látszólagos helyét (asztrometria), fényének intenzitását, vagyis a csillag fényességét, és a fényintenzitás hullámhossz szerinti eloszlását (spektroszkópia). Ezek közül a legegyszerűbben a csillag fényességét lehet 'mérni', szabad szemmel kistávcsövön keresztül megfigyelve a csillagot, és fényességét ismert, állandó fényességű csillagokhoz hasonlítva.

A változócsillagok fényességváltozásának periódusideje a csillag tulajdonságaitól, és a fényességváltozás okától függően néhány perctől több mint ezer napig bármilyen értéket felvehet. Periodikus folyamatok részletes vizsgálatához sok periódus hosszúságú, kellően jól mintavételezett adatsor szükséges. Ez a rövid periódusidejű csillagoknál nem okoz gondot, egy éjszaka alatt több periódus hosszúságú adatsor készíthető kevés távcsőidő felhasználásával (az ilyen adatsorok vizsgálata során a nappalok által keltett űrök okoznak nehézségeket). Több száz napos periódusidejű változások követése azonban már olyan hosszú adatsorokat igényel, hogy a nagyobb távcsövek felhasználása ezek elkészítésére nem megengedhető.

Pulzáló változócsillagokra jellemző, hogy a nagyobb fényességbeli változásoknak hosszabb a periódusideje, és fordítva - a hosszú periódusidejű pulzáció nagy fényességváltozással jár. Ez azt jelenti, hogy éppen azok a hosszú periódusidejű fényességváltozások, melyek megfigyelésére nincs kellő mennyiségű nagyműszer és munkaerő, megfigyelhetőek szabad szemmel, kis távcsöveken keresztül, amatőr csillagászok által.

Léteznek olyan szervezetek, amelyek összegyűjtik, összefüggő adatsorokba rendezik amatőr csillagászok fényességbecsléseit, és ezeket elérhetővé teszik az interneten mindenki számára. Dolgozatomban a legnagyobb ilyen szervezet, az AAVSO (American Association of Variable Star Observers) adatbázisából letöltött, félszabályos változócsillagok fényességét tartalmazó adatsorokat elemeztem.

Változócsillagok fénygörbéjét több módszerrel is vizsgálhatjuk, ezek közül a dolgozatban a Fourier analízist és a wavelet analízist fogom részletesen bemutatni. A Fourier analízist egy adatsoron elvégezve csak a fényességváltozás frekvenciái, illetve a változási frekvenciák amplitúdói határozhatók meg, míg a wavelet analízissel, ami egy úgynevezett idő-frekvencia módszer, a frekvenciaspektrum komponenseinek időbeli változását is nyomon követhetjük, és ez utóbbi az, amiből a csillagban végbemenő folyamatok változására következtethetünk pl.: He shell flash.

A Szegedi Tudományegyetemen a változócsillagászati kutatások nagy múltra tekintenek vissza, számos TDK dolgozat és diplomamunka látott napvilágot ezen a területen. Jelen dolgozatban a célom a változócsillagok fénygörbéjének elemzésére használt módszerek közül kettőnek, a Fourier analízisnek és a wavelet analízisnek a bemutatása, a két módszer lehetőségeinek és korlátainak a feltárása néhány félszabályos változócsillag fénygörbéjének elemzésén keresztül.

A változócsillagokról röviden

A változócsillagok fényességváltozásának oka szerint öt csoportot szokás megkülönböztetni:

- Fedési változók
- Rotáló változók
- Eruptív változók
- Kataklimikus változók
- Pulzáló változók

A fedési változók nem mások, mint fedési kettőscsillagok. A fényességváltozást az okozza, hogy a Földről nézve a csillagok minden keringésük során egy időre részben vagy teljesen eltakarják egymást. Fénygörbéjük alapján megkülönböztetünk Algol, β Lyrae és W UMa típusú fedési kettősöket. Fizikai szempontok alapján megkülönböztetünk contact (érintkező), semi-detached (félíg érintkező) és detached (elkülönülő) kettősöket. A fedési kettőscsillagok fénygörbéje igen változatos, fényességváltozásuk periódusa viszont általában szigorúan állandó, azonban ez alól vannak kivételek.

Nem szokás változócsillag-típusnak nevezni, de fényességváltozást okozó tényezőként megemlítendő a fedési exobolygók, különösen akkor, ha figyelembe vesszük, hogy egy kisméretű barna törpecsillag és egy nagyobb gázóriás között nincsen éles határvonal, így vannak olyan kettős rendszerek, amelyek ugyanúgy nevezhetők fedési kettőscsillagnak, mint fedési exobolygóval rendelkező csillagnak. A fedési exobolygókhoz hasonló, csak nagyobb mértékű, szabálytalanabb és hosszabb ideig tartó fényességcsökkenést okozhat egy csillag körül keringő porfelhő, ha az keringése során pont köztünk és a csillag közt halad át.

A rotáló változók látszólagos fényessége a Földről nézve három okból változhat. Az első két ok hasonló: a csillag fényessége azért változik, mert tengely körüli forgásuk során különböző felületi fényességű (foltos csillagok), vagy különböző felületű (elliptikus csillagok) részük fordul a Föld felé. A harmadik lehetőség, hogy a csillag mágneses mezeje változik, illetve a csillag forgása miatt a Földről látható oldalán a csillagnak másféle mágneses mezeje. Ilyenek például a pulzárok, melyeknek mágneses pólusa mutat minden rotációs periódusban egyszer a Föld felé. Ha a foltos csillag nem végez pulzációt is, tengely körüli forgásának periódusa állandó, a foltok száma, mérete, alakja és elhelyezkedése időben változhat, így egy foltos csillag fénygörbéje időben

erősen változhat. Magányos pulzárak felvillanásai többnyire atomóra-pontossággal követik egymást. Ha egy pulzár felvillanásai közt nem azonos idő telik el, azt okozhatja a pulzár körül keringő bolygó (timing), a pulzár forgásának gyorsulása tömegbefogás miatt, vagy annak lassulása energia leadás miatt.

Az eruptív változócsillagok felszínén vagy légkörében történő kitörések, robbanások miatt a csillag fényessége megnövekszik. A fényességnövekedés nagysága tized magnitúdótól néhány magnitúdóig terjed, az elhalványodás időtartama percektől évekig terjed. Ez a fajta fényességváltozás általában szabálytalan, azonban a csillagok egy részénél hosszú távon megfigyelhetők a 11 éves napfoltciklushoz hasonló aktivitási maximumok és minimumok.

A kataklizmikus változók közös tulajdonsága, hogy rövid idő alatt drasztikus mértékben megnövekszik a fényességük, majd lassan elhalványodnak. A fényességnövekedés mértéke és ismétlődése szerint négy csoportot szokás megkülönböztetni a kataklizmikus változók között, ezek a szupernóvák, a nóvák, a törpenóvák, és a nóvaszerű objektumok. A szupernóva robbanások során a progenitor csillag elpusztul. A progenitor lehet egy nagy tömegű csillag, ami rövid élete végén összeroskad, vagy lehet egy fehér törpe, ami anyagot fog be társcsillagától, majd egy kritikus tömeghatárt (a Chandrasekhar határt) elérve felrobban. A nóvák szoros kettős rendszerek, amelyek egyik komponense egy fehér törpe, a másik komponens pedig egy olyan csillag, ami kitölti a kettős rendszerben a Roche-térfogatát, és anyagot ad át a fehér törpének. A fehér törpe társa egyaránt lehet szuperóriás, óriás, óriás alatti (sub-giant), valamint fősorozati csillag. A törpenóvák esetében a fehér törpe társa általában egy vörös törpe. A nóvák fényességnövekedésének oka az, hogy a befogott hidrogén sűrűsége és hőmérséklete eléri azt a határt, aminél beindul a fúzió, és ez egy robbanást okoz az akkréciós korongban, vagy a fehér törpe felszínén. A robbanás a nóvák jelentős részénél időről-időre megismétlődik. A törpenóvák fényességnövekedésének mértéke jelentősen kisebb a nóvákénál, azt valószínűleg az akkréciós korong instabilitása okozza: ha az akkréciós korongban lévő gáz hőmérséklete eléri egy határt, a viszkozitása megváltozik, és emiatt nagyobb mennyiségű anyag hullik egyszerre a fehér törpe felszínére, és az így felszabaduló energia okoz egy robbanást, felvillanást. A nóvaszerű objektumok fénygörbéje, vagy spektrális tulajdonságai hasonlítanak a nóvákéra.

A dolgozatomban félszabályos pulzáló változócsillagok fénygörbéit elemzem, ezért a pulzáló változókat a következőkben részletesebben mutatom be.

A pulzáló változók fényessége egyrészt a csillag méretének, másrészt a csillag felszíni hőmérsékletének ingadozása miatt változik. Emellett bizonyos pulzáló vörös óriásoknál a felszíni

hőmérséklet csökkenése következtében létrejövő molekuláris porburok fényelnyelése is jelentős szerepet játszik.

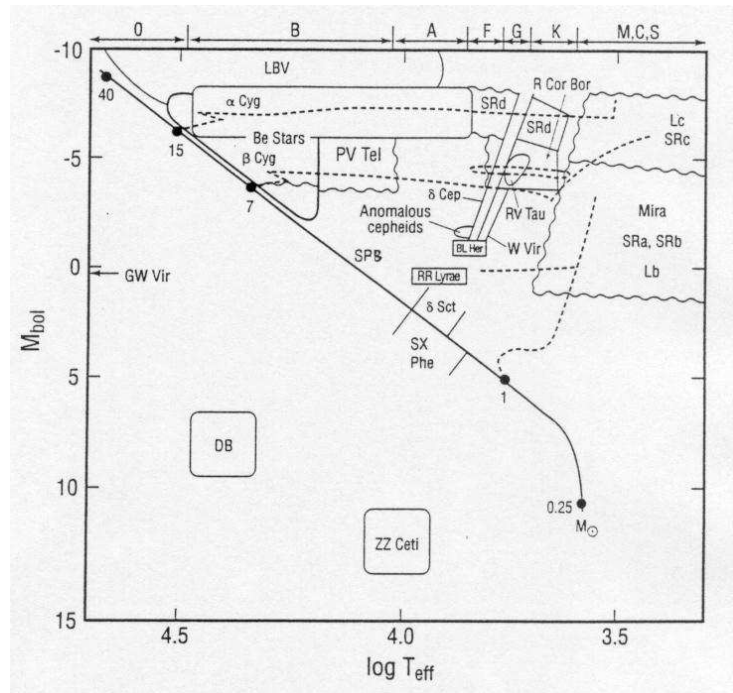
A pulzáló változók típusai (a HRD-n kb. felülről lefelé haladva) (forrás: <http://astro.u-szeged.hu/ismeret/valtozok/pulzalog.html>):

- LBV (Luminous Blue Variables): Nagy luminozitású eruptív kék változók, 1 magnitúdónál nagyobb szabálytalan fényességváltozással, amelyek tömegvesztése az erős csillagszél által valószínűleg a globális pulzációs instabilitás következménye. S Doradus vagy Hubble-Sandage változóknak is nevezik a csoportot.
- α Cyg: Kváziperiodikus A színképtípusú szuperóriások 0,1 magnitúdó körüli amplitúdóval és néhány napos vagy hetes periódussal. Többszörös periodicitás, nemradiális módusok.
- ζ Oph: Gyorsan forgó O vagy korai B színképtípusú csillagok. Nagy felbontású spektroszkópiával színképvonal-profil változást mutatnak. Magas rendű nemradiális ($l \sim m$) módusok.
- β Cep: Korai B óriások 0,1 magnitúdó körüli amplitúdóval és pár órás periódussal. Néhányuk többszörösen periodikus, radiális és nemradiális p módusok fordulnak elő. β CMa típusnak is hívják őket. A χ Cen valószínűleg prototípusa a rövid periódusú alcsoportnak.
- SPB (Slowly Pulsating B stars): Közepes és korai B csillagok 9 órás vagy hosszabb fényességbeli és színképi változással, ami nem magyarázható fedéssel vagy rotációval. Többszörös periodicitás, nemradiális g módusok. 53 Per csillagoknak is nevezik a csoportot.
- Be csillagok: Gyorsan forgó, nagy tömegvesztésű emissziós B csillagok. Kismértékű, kváziperiodikus változásukat valószínűleg pulzáció okozza. Példa: LQ And.
- roAp csillagok (rapidly oscillating Ap stars): Gyorsan forgó, különleges (pekuliáris) A színképtípusú csillagok sok fém-vonallal és erős mágneses térrel. 5-20 perc közötti, ezred vagy század magnitúdós fényesség változást mutatnak. Példa: α Cir.
- δ Scuti: III-IV-V luminozitási osztályú A vagy F csillagok néhány órás periódussal és pár század vagy tized magnitúdós amplitúdóval. Mono- vagy multiperiodikusak, radiális és/vagy nemradiális módusok. Korábban törpecefeidákként vagy AI Vel csillagokként szerepeltek.
- SX Phe: A δ Scutikhoz nagyon hasonló, de öreg (II. populációs) szubtörpe csillagok.

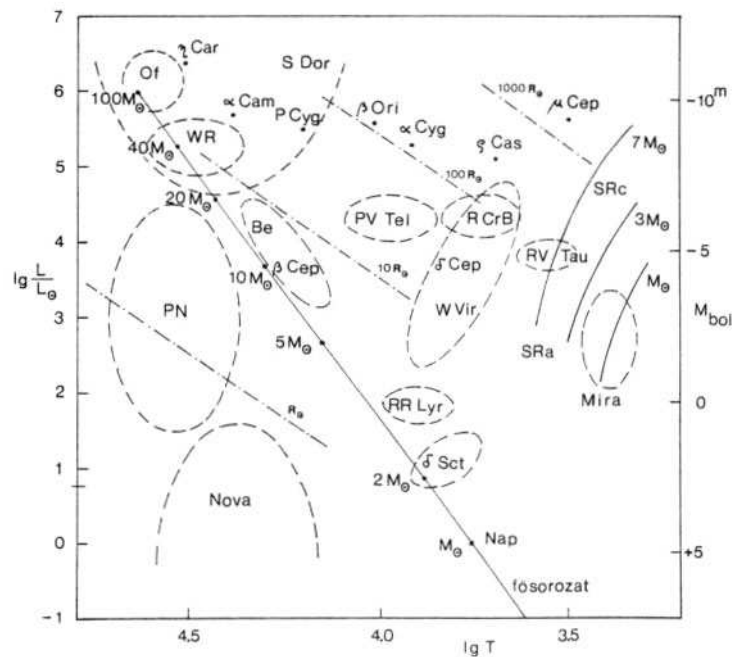
- γ Dor: A δ Scutikhoz nagyon hasonló, de hidegebb csillagok az instabilitási sáv vörös oldalánál.
- Nap-típusú oszcillátorok: Globális nemradiális (p és/vagy g módusok) akusztikus pulzációt végző csillagok, hasonlóan a Naphoz.
- Anomális cefeidák: Az RR Lyrae típushoz hasonló, de nagyobb luminozitású csillagok, majdnem kizárólagosan csak a fémszegény törpe elliptikus galaxisokban (pl. Draco) fordulnak elő.
- RR Lyrae: Öreg, II. populációs A színképtípusú óriás csillagok a Tejútrendszer korongjában és halójában, gyakoriak a gömbhalmazokban. Halmaz-változóknak is hívták őket. 0,2-1 nap periódussal, néhány tized és két magnitúdó közötti amplitúddal változtatják fényességüket. A abszolút fényességük nagyon hasonló, 0,5-0,6 magnitúdó, így távolságmeghatározásra alkalmasak. Általában radiálisan pulzálnak, de újabban nemradiális módusokat is kimutattak. Altípusok: RRab (F), RRc (1H), RRd (F+1H), RRe (2H). Sok esetben 20-300 napos periódussal, több tized magnitúddal változik a pulzációs amplitúdó (Blaskó-effektus).
- H-hiányos csillagok (H-deficient stars): Színképükben hidrogént nem vagy alig mutató csillagok 0,1 és 40 nap közötti periódussal. Altípusok: R CrB csillagok, H-hiányos szén (HdC) csillagok, extrém hélium (eHe) csillagok. Példa: PV Tel.
- R CrB: Hidrogénben szegény, szénben gazdag eruptív változócsillagok, amelyek az időnkénti erős elhalványulás mellett kváziperiodikus pulzációt is mutatnak. A periódus 30-100 nap közötti, az amplitúdó nagyobb mint 1 magnitúdó.
- Cefeidák (δ Cephei csillagok): Radiálisan pulzáló fiatal (I. populációs) fényes szuperóriás csillagok. A periódusuk 1 és 135 nap közötti, az amplitúdó 0,1-2 magnitúdó. A HRD-n jól meghatározott helyen, az instabilitási sávban helyezkednek el. A periódusuk egyenesen arányos a luminozitásukkal, így a fényváltozásukból meghatározható a távolságuk (periódus-fényesség reláció). Néhányuk többszörös periodicitást mutat (beat cefeidák). Más elnevezéseik: klasszikus cefeidák, I. típusú cefeidák.
- W Vir: A cefeidákhoz nagyon hasonló, de kisebb tömegű, II. populációs, idősebb csillagok. A HRD-n és a P-L reláció szerint a cefeidák alatt, velük párhuzamosan találhatóak. Periódusuk 1-35 nap, az amplitúdó 0,3-1,2 magnitúdó. II. típusú cefeidáknak is hívják őket.
- BL Her: A W Virginis típushoz hasonló radiális pulzátorok. A fényváltozási görbéjükön a leszálló ágon egy púp van. A periódus 1-8 nap.

- RV Tau: Szuperóriás II. populációs csillagok. Hasonlóak a W Vir típushoz, de hosszabb, 30-150 napos a periódusuk, az amplitúdó legfeljebb 5 magnitúdó. A fénygörbe két minimumot mutat. Alosztályok: RVa és RVb (az átlagfényesség itt hosszú, akár ezer napos periódussal változik).
- SRd: Szemireguláris (félszabályos) sárga óriások és szuperóriások változatos csoportja. Néha emissziós színekép, a periódus 30-1100 nap, az amplitúdó néhány tizedtől négy magnitúdó lehet.
- Lc: Szabálytalan, lassú fényváltozású M szuperóriások, mintegy 1 magnitúdós amplitúdóval.
- SRC: Félszabályos, késői színeképtípusú pulzáló szuperóriások. A periódus 30 naptól néhány ezer nap, az amplitúdó 1 magnitúdó körüli. Altípus: OH-IR (infravörös, OH gyök a színeképben) csillagok.
- Lb: Lassan, szabálytalanul, periodicitást nem mutatóan változó késői színeképtípusú óriás csillagok.
- SRa: A Mirákhhoz hasonló, de 2,5 magnitúdónál kisebb amplitúdójú vörös óriások 35 és 1200 nap közötti periódussal.
- SRb: Az SRa típushoz hasonló csillagok, de gyakori a többszörös periodicitás, a periódus és az amplitúdó változása.
- Mirák: Radiálisan pulzáló vörös óriás és szuperóriás csillagok. Az amplitúdó általában 2,5 magnitúdónál nagyobb, a periódus 80-1200 nap, átlagosan kb. 1 év. Néha többszörös periodicitás mutatható ki. LPV (Long Period Variables) elnevezést is használnak rájuk.
- EC 14026: Multiperiodikus pulzáló forró szubtörpék (sdB, $\log g \sim 6,0$, $T_{\text{eff}} \sim 35000$ K). A periódus 120-500 másodperc, az amplitúdó változása $< 1\%$.
- PNNV (Planetary Nebula Nuclei Variables): Nagyon forrók, planetáris ködök központi csillagai. A periódus 1000-3000 másodperc.
- GW Vir (vagy DOV): Multiperiodikus, nemradiálisan pulzáló, nagyon forró leendő fehér törpék (pre-white dwarfs). Speciális színeképtípusuk DO vagy PG 1159. Másik nevük: DOV csillagok. A periódus 400-1200 másodperc.

- DB változók (vagy DBV): Multiperiodikus, nemradiálisan pulzáló, hélium-atmoszférájú fehér törpék, 100-1000 másodperces periódussal.
- ZZ Ceti (vagy DAV): Multiperiodikus, nemradiálisan pulzáló, hidrogén-atmoszférájú fehér törpék, néhány perces periódussal. Az amplitúdó 0,001-0,3 magnitúdó.



1. ábra. Különböző változócsillag-típusok helye a HRD-n



2. ábra. Különböző változócsillag-típusok helye a HRD-n (Szatmáry K.)

A fenti pulzáló változók közül a mirákat, valamint a félszabályos változókat egy kicsit részletesebben ismertetem.

A Mira típusú változók névadó csillaga az európai csillagászok által elsőként megfigyelt változócsillag, az omikron Ceti, amelyet minden addig ismert csillagtól eltérő viselkedése miatt neveztek el Mirának, ami latinul azt jelenti, „csodálatos”, „megdöbbentő”. A GCVS (General Catalogue of Variable Stars) definíciója szerint a mirák vörös óriás, vagy szuperóriás csillagok, amelyeknek fényességváltozása több mint 2,5 magnitúdó. Sokak véleménye szerint azonban a mirák, az SRa csillagok, és a többnyire kisebb amplitúdójú félszabályos és szabálytalan változók között nem lehet éles határvonalat húzni, az átmenet folytonos. A mirák fényességváltozásának periódusideje, valamint a fénygörbe időbeli lefutása egyaránt periódusról periódusra kismértékben változik, úgy is mondják „lötyög”. A mirák általában az alaphérvencian, valamint az első felhangon szoktak pulzálni. Ennek során a csillag sugara akár 20%-ot is változhat, felszíni hőmérséklete olyan mértékben lecsökken, amikor a csillag a legnagyobb pulzációja során, hogy TiO (titánium-oxid) molekula illetve por képződik a külső légkörében, ami a csillag fényének jelentős részét elnyeli a vizuális tartományban. Emiatt a csillag akkor a legfényesebb, amikor a legkisebb és egyúttal legforróbb a felszíne. A titánium-oxid felhő képződésének egy másik következménye a csillag fénygörcbéjének jellegzetes alakja. A mirákra is létezik periódus-fényesség reláció.

A félszabályos változócsillagok fényességváltozása mutat szabályosságokat, azonban pulzációjuk periódusideje a mirákéhoz hasonlóan „lötyög”, gyakran több módusú pulzációt végeznek, továbbá a fényességváltozásuk amplitúdója is ingadozik, sőt az is előfordul, hogy fényességük egy időre állandósul, majd újraindul a pulzáció. A félszabályos változócsillagokon belül négy kategóriát szokás megkülönböztetni, ezek az SRa, SRb, SRc, és SRd.

Az SRa csillagok nagymértékben hasonlítanak a mirákhoz, azonban fényességváltozásuk amplitúdója kisebb, mint 2,5 magnitúdó, pulzációs periódusuk 35-1200 nap.

Az SRb csillagok hasonlóak az SRa csillaghoz, a Hertzsprung-Russell diagramon is egymás közelében található a két kategória. Az SRb csillagok gyakran mutatnak többszörös periodicitást, valamint gyakori, hogy a pulzációs periódus, illetve a fényességváltozás amplitúdója változik.

Az SRc csillagok késői színképtípusú pulzáló szuperóriások. Fényességváltozásuk amplitúdója 1 magnitúdó körüli, periódusa 30 és néhány ezer nap közötti. Altípusuk az OH/IR csillagok, amelyeknek az infravörös spektrumában OH gyök színképvonalai láthatók.

Az SRd csillagok sárga óriások és szuperóriások változatos csoportja. Néha emissziós színekkel rendelkeznek, fényességváltozásuk periódusa 30-1100 nap, amplitúdója néhány tizedtől négy magnitúdó.

A változócsillagok fénygörbe-analízisének módszertana

Fénygörbék analizálásához elsősorban egy fénygörbére van szükség, annak előállításához pedig megfigyelésekre, mérésekre. A legelső lépés tehát az adatok gyűjtése, illetve mérések, megfigyelések végzése. Dolgozatom a félszabályos változócsillagok fénygörbe-analíziséről szól, ezért a következő bekezdésben az ilyen csillagok megfigyeléséről ejtenék pár szót.

A hosszú periódusú, nagy amplitúdójú változócsillagok fényességét elfogadható (1-2 tized magnitúdós) pontossággal lehet becsülni szabad szemmel kistávcsövön keresztül végzett megfigyelések útján a változócsillag fényességét ún. összehasonlító csillagok fényességével összehasonlítva, amelyeknek fényessége a megfigyelt csillag fényességéhez közeli és időben állandó. Ahhoz, hogy kielégítően hosszú és kellően jó minőségű adatsorral rendelkezünk egy-egy változócsillagról, szükséges a csillagról készült minél több megfigyelés összegyűjtése, amit az amatőr csillagászokat tömörítő szervezetek meg is tesznek, és emellett a megfigyeléseket szelektálják, összefüggő adatsorokba rendezik, és a csillagászok számára elérhetővé teszik. Az ilyen szervezetek munkájának fontos része, hogy ún. keresőtérképeket bocsátanak ki az amatőr csillagászok munkájának segítésére. A keresőtérkép egy speciális csillagtérkép, amelyen meg van jelölve a változócsillag, és a környezetében található összehasonlító csillagok, és természetesen ezeknek meg van adva a fényessége. A dolgozatomban felhasznált adatsorokat a legnagyobb ilyen szervezet, az AAVSO (American Association of Variable Star Observers) adatbázisából töltöttem le.

Egy hosszú adatsor elemzésének megkezdésekor célszerű az adatpontokat néhány naponként átlagolni. Az átlagolás célja, hogy csökkentse az egyéni megfigyelések hibáinak hatását. Az átlagolásnál szükséges odafigyelni arra, hogy az átlagolt időtartamok hossza ne legyen túlságosan nagy, az átlagolás ne rontsa túl nagy mértékben a mintavételezettséget. 100 napnál hosszabb pulzációs periódussal rendelkező csillagok esetében az adatsor 10 napos átlagolása az általános, periódusonként legalább 10 adatponttal rendelkező adatsor még kellően jól mintavételezett.

A Fourier transzformáció és a wavelet transzformáció matematikai háttérének részletes bemutatása messzire vezet, ezért terjedelmi okokból ettől jelen esetben eltekintek, és inkább ezen módszerekkel nyert információk értelmezésének ismertetésére helyezem a hangsúlyt.

A Fourier analízis

Változócsillagok fényességváltozásának periodicitását leggyakrabban Fourier analízissel szokás vizsgálni. Ez tulajdonképpen a mérési adatsor diszkrét Fourier transzformáltjának kiszámítását, ábrázolását, majd a kapott Fourier spektrum vizsgálatát jelenti.

A folytonos Fourier transzformáltat a következőképpen definiáljuk:

$$F(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-2\pi i \nu t} dt \quad (1)$$

A diszkrét Fourier transzformált ez alapján:

$$F(\nu) = \sum_{k=1}^N f(t_k) e^{-2\pi i \nu t_k} \quad (2)$$

ahol k egy pozitív egész szám

N az adatpontok száma,

$f(t_k)$ a t_k időpontban mért (jelen esetben fényesség) érték

ν a frekvencia

Ezzel a módszerrel jól vizsgálhatók időben stacionárius jelek spektrális összetevői, azonban nem stacionárius jelek vizsgálatára már kevésbé alkalmas. A spektrális komponensek időbeli eloszlásáról valamilyen idő-frekvencia módszerrel nyerhetünk információt, mint amilyen az ablakozott Fourier transzformáció, vagy a wavelet analízis.

A Fourier transzformációval nyert frekvenciaspektrumban látható csúcsok nem mindegyikének feleltethető meg valódi periodikus változás az adatsorban, számos okból hamis csúcsok jelennek meg a spektrumban, amelyekre oda kell figyelni a Fourier spektrum elemzésekor.

Zaj hatására hamis csúcsok jelennek meg a frekvenciaspektrumban, főleg magasabb frekvenciákon, továbbá a valódi változásoknak megfelelő csúcsok kismértékben eltolódhatnak a valódi értéktől.

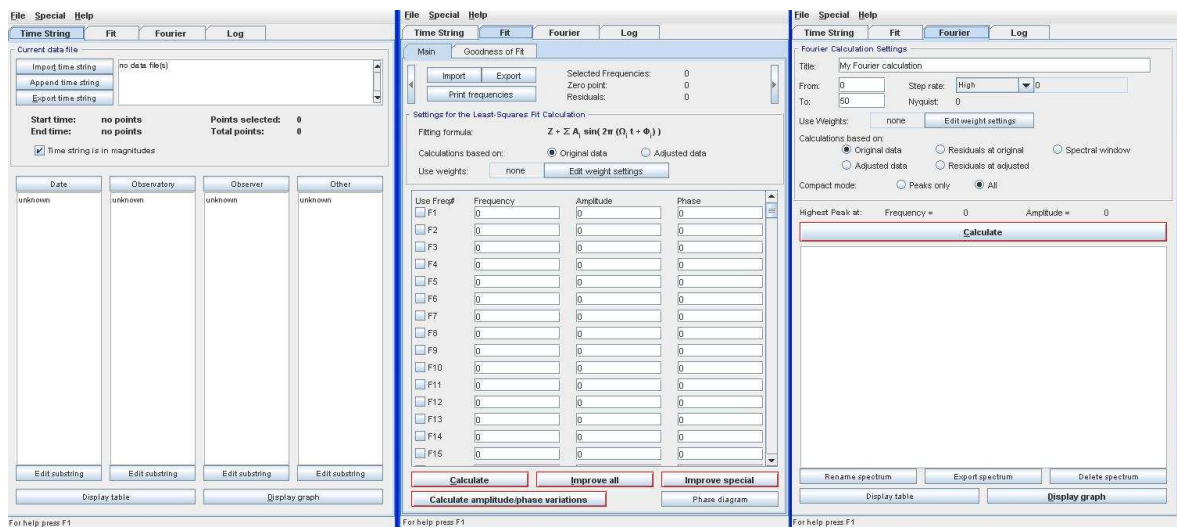
Az adatsorban található űrök hatására hamis csúcsok jelenhetnek meg. Amennyiben az űrök periodikusan helyezkednek el, a hamis csúcsok (aliasok) meglehetősen erősek lehetnek, több fényességváltozási periódus esetén több alias is eshet egy frekvenciára, ebben az esetben az így jelentkező hamis csúcs akár magasabb is lehet, mint a valódi csúcsok.

Amennyiben egy adott fényességváltozási frekvencia időben nem állandó, hanem kismértékben változik (például a mirák pulzációs periódusának „lötyögése”), a Fourier spektrumban az adott frekvencia közelében egyetlen diszkrét csúcs helyett több csúcs jelentkezik, a spektrum „tarajos” lesz.

A fényességváltozás frekvenciájának akár ugrásszerű, akár folyamatos változása, valamint a fázisugrás további csúcsokat kelt.

A spektrumban látható csúcsok félérték-szélessége fordítottan arányos a vizsgált adatsor hosszával, ablakozott Fourier transzformáció és wavelet transzformáció esetén a használt ablak szélességével.

A Fourier analízist a Period 04 nevű programmal hajtottam végre. A program azon kívül, hogy kiszámolja és megjeleníti a számára megadott adatsor Fourier spektrumát, képes arra, hogy az adatsor Fourier spektrumában jelenlévő legmagasabb csúcsoknak megfelelő frekvenciájú szinuszgörbékét illesszen az adatsorra, illetve lehetőséget nyújt az adatsor további elemzésére ezeknek a szinuszgörbéknek a levonása után.



3. ábra. A Period 04 kezelőfelülete

A wavelet analízis

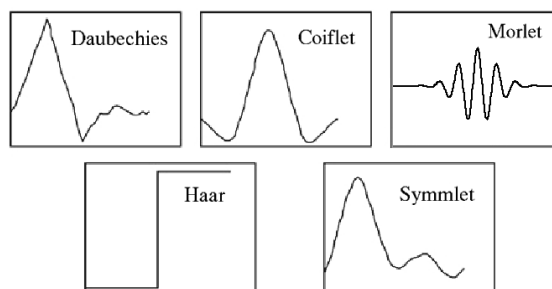
A wavelet transzformáció során a Fourier transzformációval szemben nem szinusz- és koszinuszfüggvények összegére bontjuk az elemezni kívánt periodikus jelet, hanem ún. analízáló waveletek (kernelnek is szokás nevezni) összegére.

A wavelet transzformáció általános képlete:

$$W(f, \tau) = \sqrt{f} \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) g^* [h(t - \tau)] dt \quad (3)$$

Az analízáló wavelet lehetséges alakjai közül mutat néhányat a 4. ábra. Ezek közül változócsillagok vizsgálatára elsősorban a Morlet-féle kernelt szokás használni.

A wavelet analízis során, az ablakozott Fourier transzformációhoz hasonlóan az adatsort szakaszonként vizsgáljuk. Az ablakok szélességét a c paraméterrel lehet állítani. Minél rövidebbek a vizsgált szakaszok, annál jobban kiszélesednek a csúcsok a spektrumban, vagyis annál bizonytalanabb lesz a frekvenciák meghatározása, másként fogalmazva csökken a frekvenciabeli felbontás. Szélesebb ablakok alkalmazása, vagyis hosszabb adatsorok elemzése esetén a csúcsok szélessége csökken, vagyis a frekvenciák meghatározása pontosabb lesz, a frekvenciabeli felbontás növekszik, azonban az időbeli felbontás magától értetődően csökken. Amíg a Fourier spektrumot egy egyszerű két dimenziós grafikonon szokták ábrázolni, a wavelet transzformáció eredményének ábrázolásához három tengelyre van szükség. A wavelet transzformáltat kétféleképpen szokás ábrázolni: perspektívikusan szintvonalakkal, vagy amplitúdó tekintetében „felülnézetből”, az amplitúdó nagyságát különböző színekkel jelezve. A WinWWZ nevű program, amit használtam az elemzésekhez ez utóbbi megjelenítési formát használja, amelyet contour plot-nak neveznek. A WinWWZ a súlyozott wavelet transzformáció egy speciális esetét használja (Weighted Wavelet Z-Transform - WWZ) használja, amit a diszkrét wavelet transzformációból lehet származtatni (Foster 1996).



4. ábra. Különféle analízáló waveletek

Az eljárások alkalmazása más területeken

A Fourier és a wavelet analízis az elsődleges eszköze lényegében minden periodikus folyamat elemzésének. Azt már részletesen kifejtettem, hogy csillagok fénygörbéjét ezekkel a módszerekkel szokás elemezni. A Fourier analízis, egy periodikus jelben jelenlévő frekvenciakomponensek elkülönítésével felhasználható akusztikus jelek (hangok) felismerésére, vagy azok pontosabb elemzésére, például egy hangszer hangja tisztaságának meghatározására, a hangszer pontos behangolása érdekében.

Képek feldolgozására, valamint mintázat-felismerésre szokás használni a 2D Fourier és a 2D wavelet transzformációt.

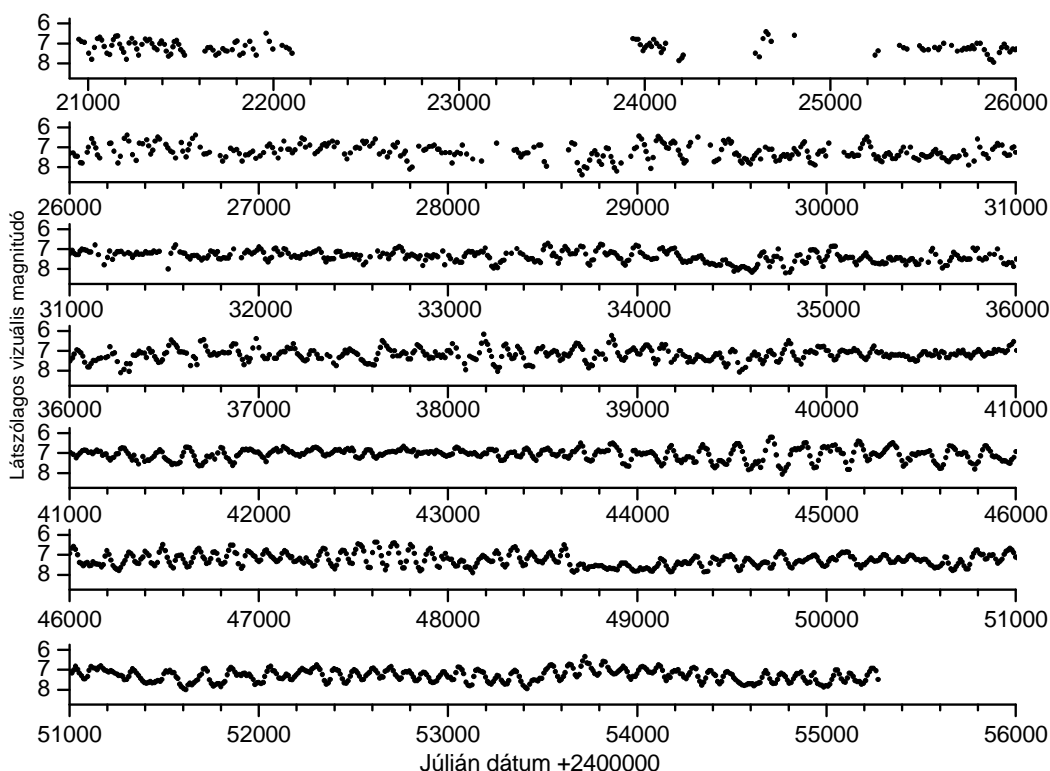
A wavelet analízist elsőként a szeizmológia és geofizika terén alkalmazta Goupillaud, Grossmann és Morlet az 1980-as években (Goupillaud et al. 1984).

Számos élettani folyamat is periodikus, és periodicitásának megváltozásából következtetni lehet bizonyos megbetegedésekre. A vérnyomásgörbétől kezdve az EEG és EKG görbéken át a pupilla oszcilláció vizsgálatáig számos helyen alkalmazható a Fourier és a wavelet analízis az élettudományok területén is.

Eredmények

AF Cygni

A csillag fénygörbéjére tekintve könnyen megállapíthatjuk, hogy a csillag fényessége időben változik, azonban a változás csak viszonylag rövid időtartamokban nevezhető szabályosnak. Láthatjuk, hogy a fényességváltozás amplitúdója időben erősen változik, például 42200 és 43200 között lecsökken. A csillag fényességváltozásának periódusideje is változik időben, például 44000 és 46000 között egy hosszabb periódusú változás dominál (de láthatóan ráakódik egy rövidebb periódusidejű változás is), míg 47300 és 48000 között egyértelműen jóval rövidebb a változás periódusideje. A fénygörbéje alapján az AF Cygni egy félszabályos pulzáló változó, amely két módusban pulzál, azonban a két pulzációs módus közül általában az egyik dominál.

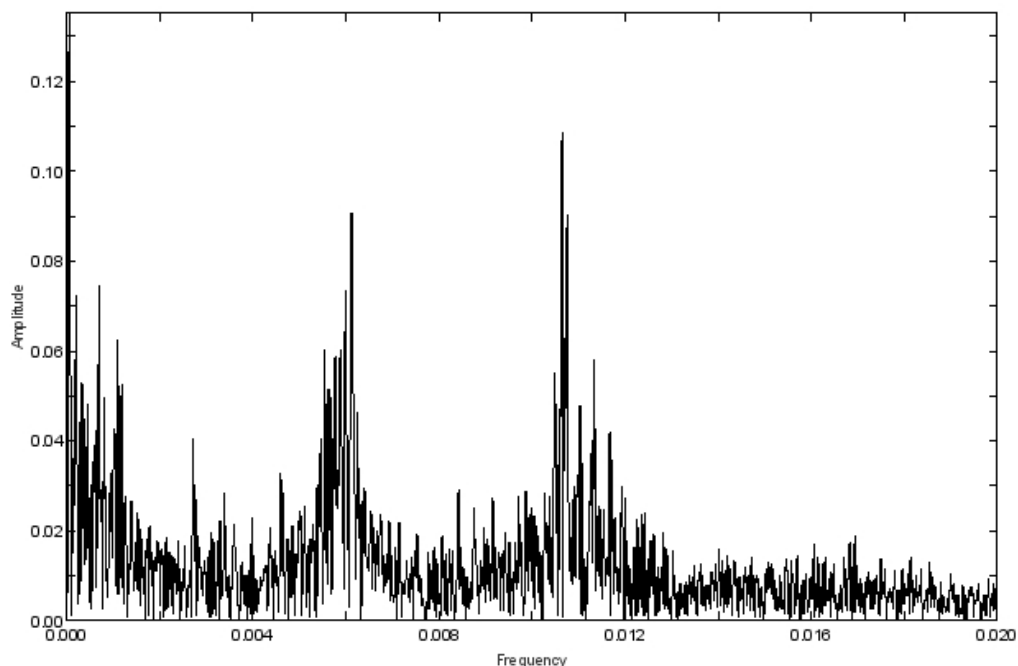


5.

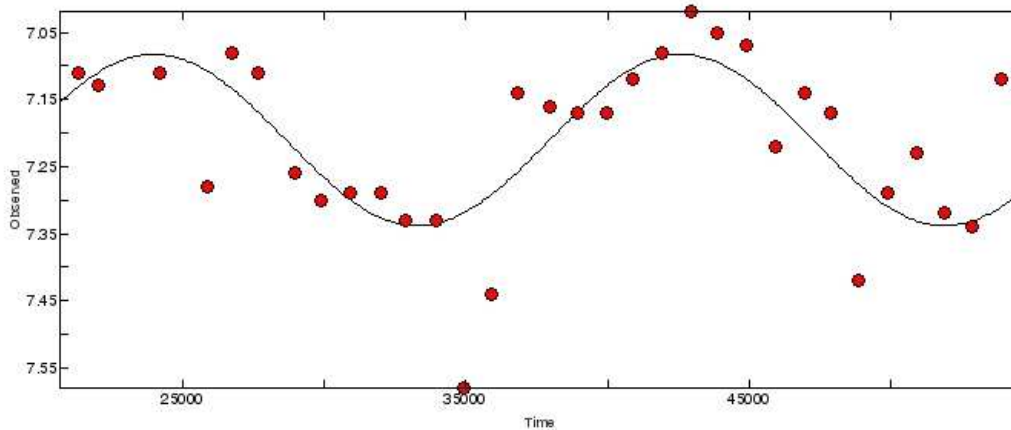
ábra. Az AF Cygni 10 napra átlagolt fénygörbéje

Az adatsor Fourier spektrumában jól látható a fénygörbén megfigyelt hosszabb és rövidebb periódus két csúcscsoport formájában, amelyeknek legmagasabb csúcsa 163 napnál, és 94 napnál található. A Fourier spektrumban látható legmagasabb csúcs azonban nem ezeknek a

csoporthoz tartozó tagja, hanem a 19000 napos periódusidőnek megfelelő, igen alacsony frekvenciánál található. A fenti adatsoron ez a 19000 napos periódus elég nehezen megfigyelhető, ezért a fényességeket 1000 napra átlagoltam, majd az így kapott adatsort ábrázoltam. A grafikonon a kb. 19000 napos periódusidejű változás jól látható, az adatsor Fourier analízise szerint a periódusidő 18630 napnak adódik. Figyelembe véve, hogy a csillag fényességére vonatkozó megfigyelésekkel mindössze 34000 napra visszamenőleg rendelkezünk, ami kevesebb, mint két teljes 19000 napos periódus, nem állítható biztosan, hogy a csillag tartósan mutatja ezt a változást, valamint ha tartós is ez a változás, nem állítható biztosan, hogy periódusideje állandó. A Fourier spektrumban néhány ezer napos periódusidőknél is láthatóak jelentős csúcsok. Kiss László és munkatársai vörös szuperóriás csillagokon végzett vizsgálatai szerint a több ezer napos periódusidőkhöz közelítve ezeknek a csúcsoknak a megjelenése meglehetősen általános, sztochasztikus eredetű $1/f$ zaj, ami az ehhez hasonló önszabályozó rendszerekre jellemző. Gál János és Szatmáry Károly 1993-as Meteorban megjelent cikkében is megemlíti, hogy a Fourier spektrumban 13300 ± 5000 napos periódusnál van egy csúcs a Fourier spektrumban, azonban nem térnek ki ennek lehetséges magyarázataira. A két fő pulzációs periódus csúcs-csoportjain, és hosszú periódusidőknél található csúcsokon túl megemlíteném még a 368 napnál található csúcsot, amely valószínűleg a Föld Nap körüli keringéséből, és ezen keresztül a csillag láthatósági feltételeinek időszakos változásából adódik.

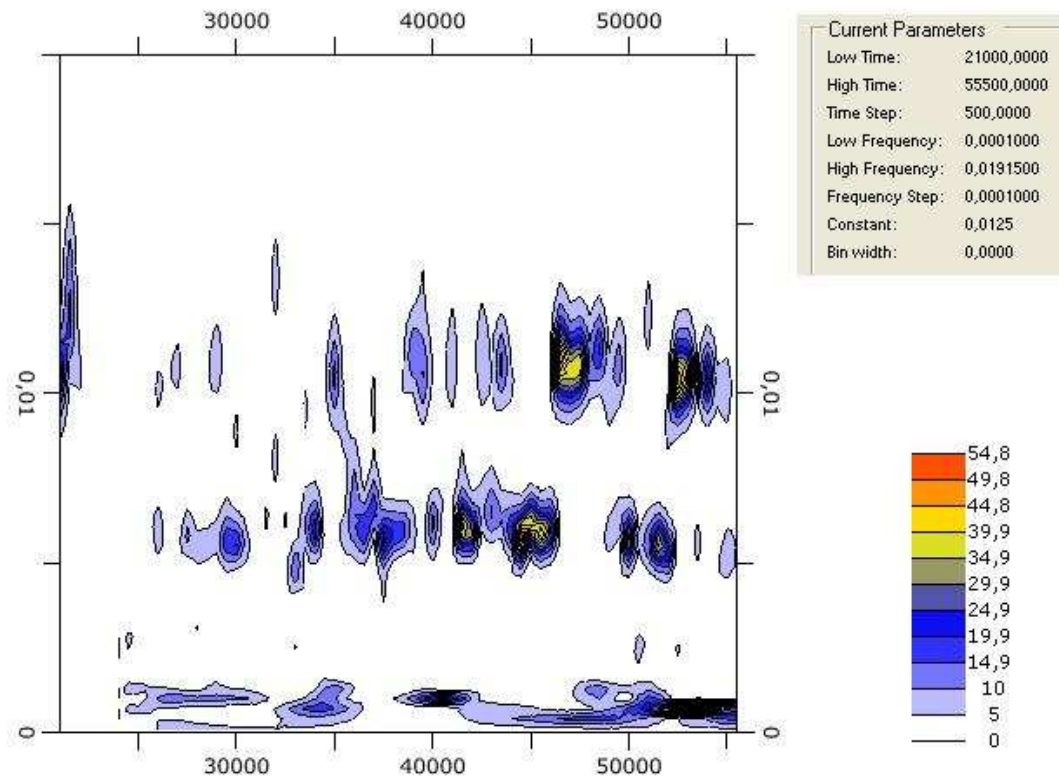


6. ábra. Az AF Cygni 10 napra átlagolt adatsorának Fourier spektruma



7. ábra. Az AF Cygni 1000 napos átlagfényességeiből rajzolt fénygörbe, és rá illesztett 18630 napos periódusidejű szinuszgörbe

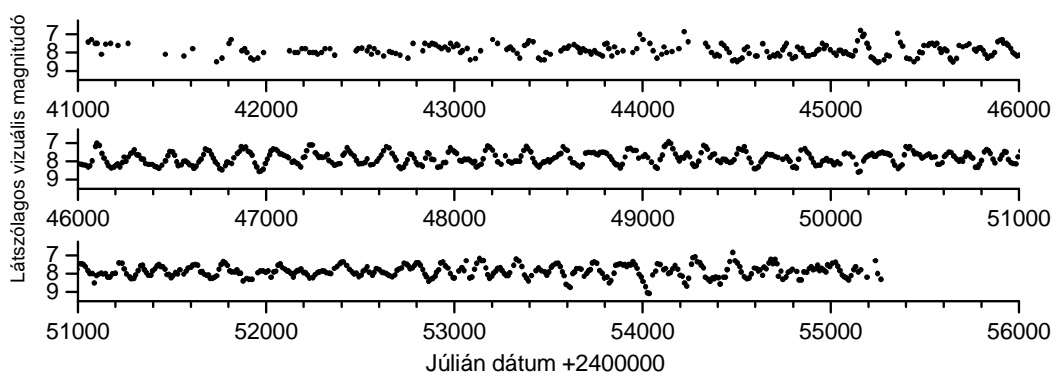
Az AF Cygni contour térképén tisztán látható mindaz, amit eddig megállapítottam a csillagról. Az ábrán jól látható a 163 és 94 napos pulzáció, valamint az, hogy a csillag többnyire egyszerre csak az egyikkel pulzál jelentősen. A Fourier spektrumban különálló csúcsok helyett látható csúcscsoportok létét is megmagyarázza a contour térkép: a pulzációs módusok periódusidőiben nem állandók, úgymond „lötyögnek”. A contour térképet összevetve a fénygörbével megállapítható, hogy a fényességváltozás amplitúdója leginkább akkor csökken le jelentősen, amikor a csillag pulzációs módust vált. A contour térképen a két fő pulzációs periódus mellett láthatók még a néhány ezer napos fényességváltozások.



8. ábra. Az AF Cygni 10 napra átlagolt adatsorának contour térképe

AH Draconis

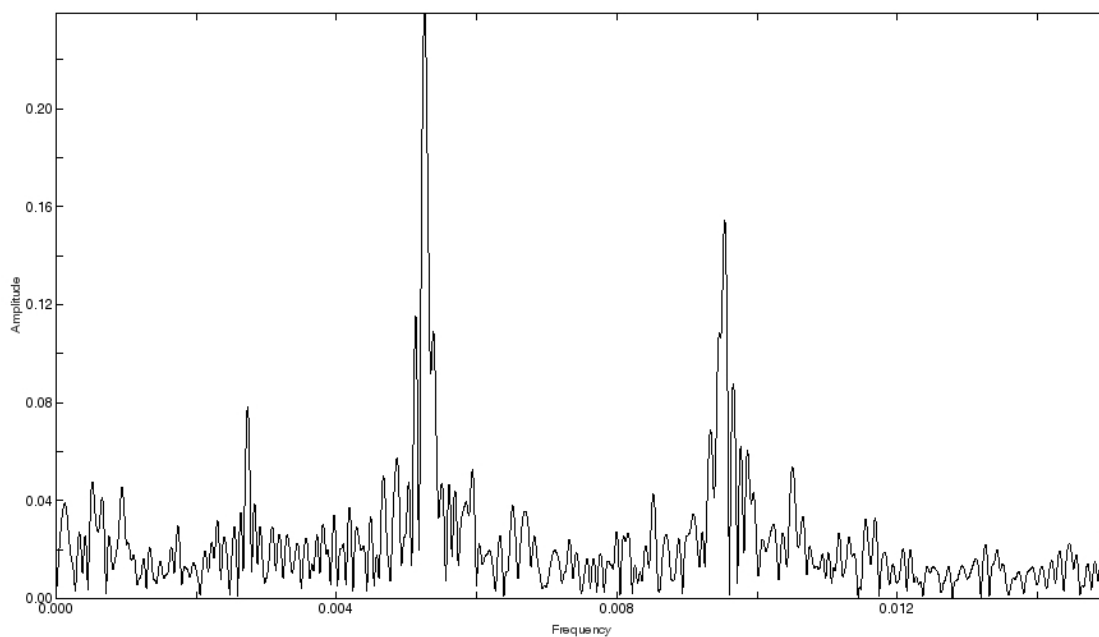
Az AH Draconis fénygörbét többnyire egy körülbelül 200 napos periódusidejű változás dominálja, azonban néhány helyen egy körülbelül feleekkora periódusidejű változás az erősebb. A fényességváltozás amplitúdója, és a fénygörbe alakja is változik időben – nem kimondottan szabályosan. Ezek alapján a csillag valószínűsíthetően egy félszabályos pulzáló változó, amely két módusban pulzál.



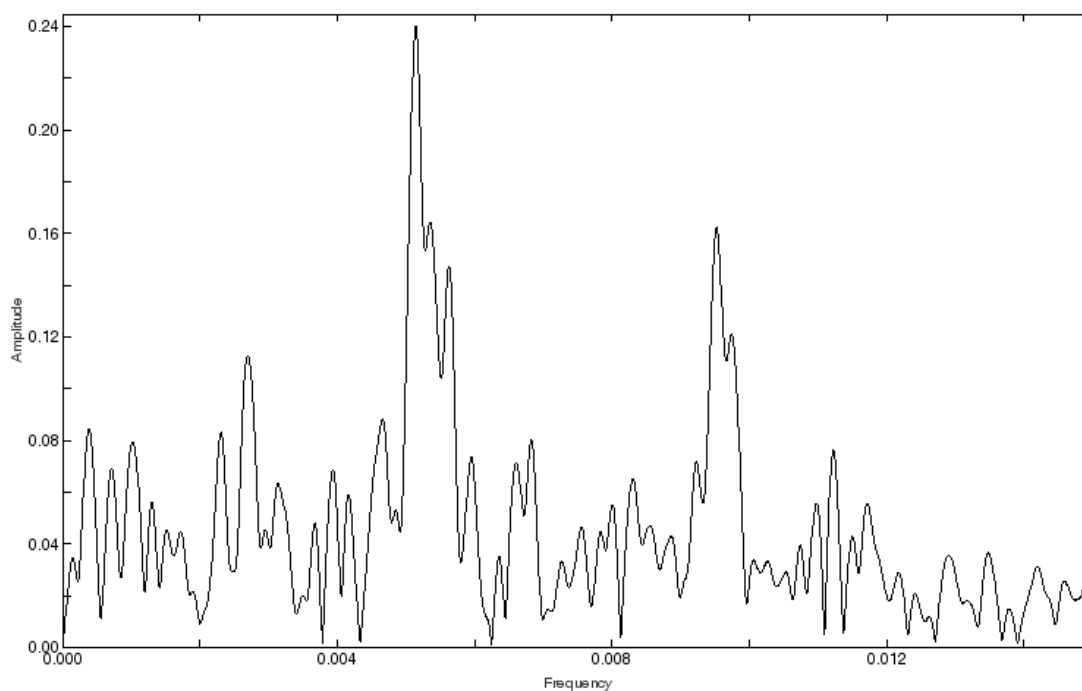
9.

ábra. Az AH Draconis 10 napra átlagolt fénygörbéje

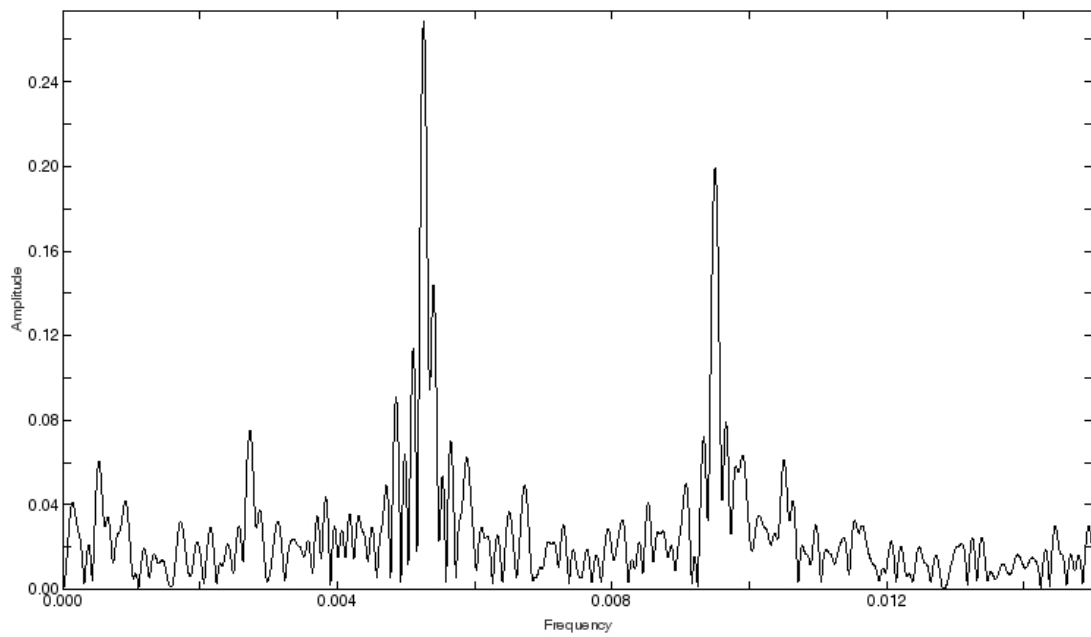
A csillag Fourier spektrumán jól látható a két pulzációs módusnak megfelelő csúcs-csoport 190,2 és 104,8 napos periódusidőnél. A két domináns csúcs-csoporton kívül még egy erős csúcs látszik 365,7 napnál. Ez az érték körülbelül megegyezik a Föld Nap körüli keringésének a periódusidejével, ezért azt sugallja, hogy a csúcs megjelenése összefüggésben lehet a Föld Nap körüli keringésével. Ehhez hasonló hamis csúcsokat eredményezhet például a csillag időszakos láthatósága (például az északi féltekéről nézve a csillag csak télen látszódik). A fénygörbét vizuálisan megvizsgálva megállapíthatjuk, hogy az első 5000 naptól eltekintve nem igazán láthatóak benne űrök. Annak megállapítására, hogy vajon az első 5000 nap adatsorának hiányai okozzák-e a 365 napos csúcsot a Fourier spektrumban, az adatsort 46000-nél kettéválasztottam, és 46000 előtti és utáni szakaszon külön-külön Fourier transzformációt hajtottam végre. A 11. és 12. ábrát összehasonlítva jól látható, ahogy az űrök hatására hamis csúcsok jelennek meg a Fourier spektrumban, valamint az adatsor lerövidülése miatt kiszélesednek a csúcsok.



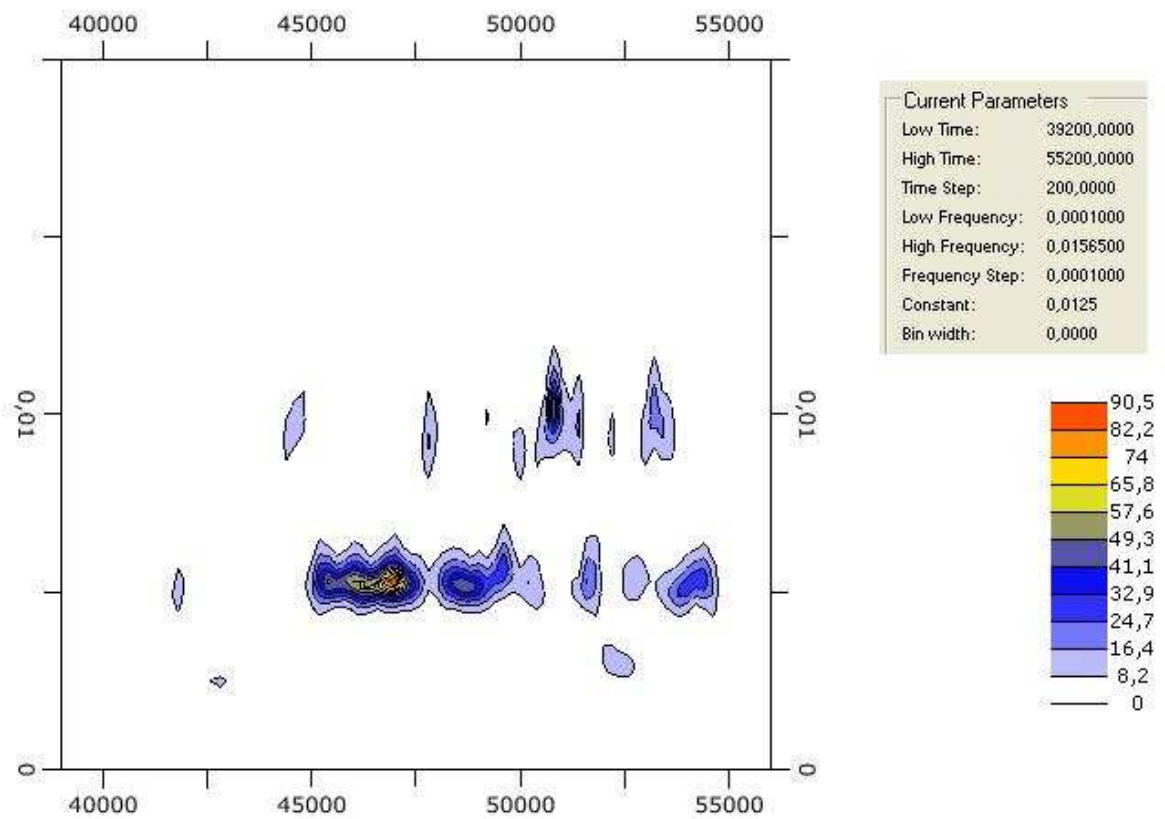
10. ábra. Az AH Draconis 10 napra átlagolt adatsorának Fourier spektruma



11. ábra. Az AH Draconis 10 napra átlagolt adatsorának 46000 előtti szakaszának Fourier spektruma



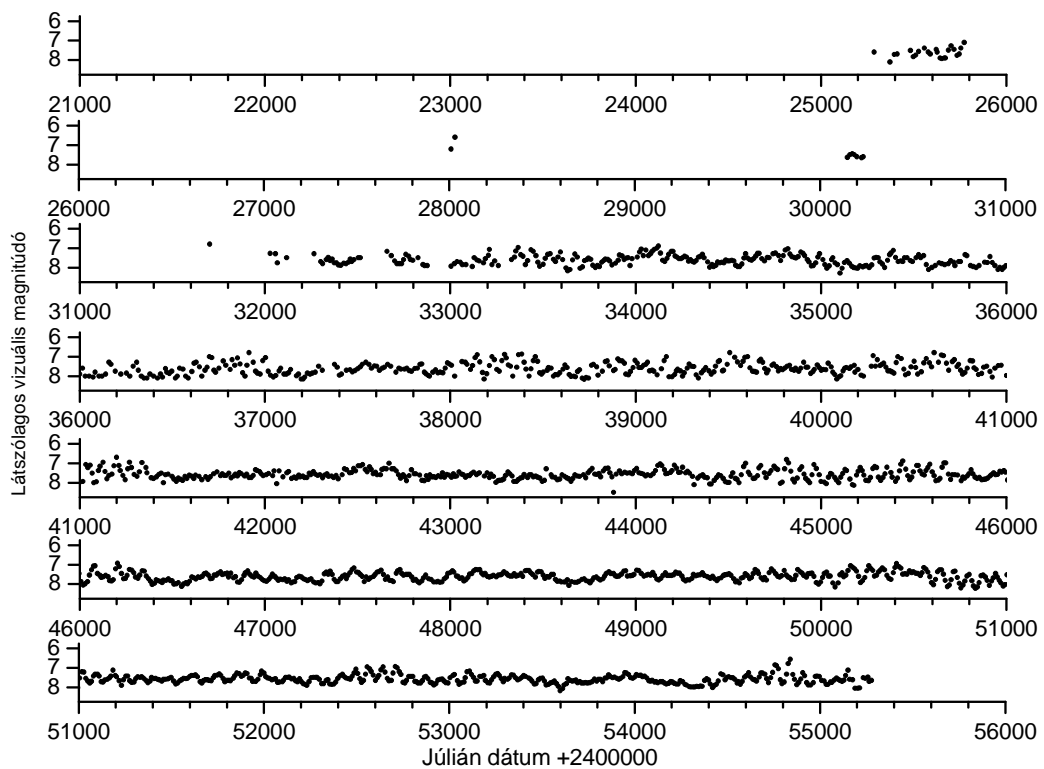
12. ábra. Az AH Draconis 10 napra átlagolt adatsorának 46000 utáni szakaszának Fourier spektruma



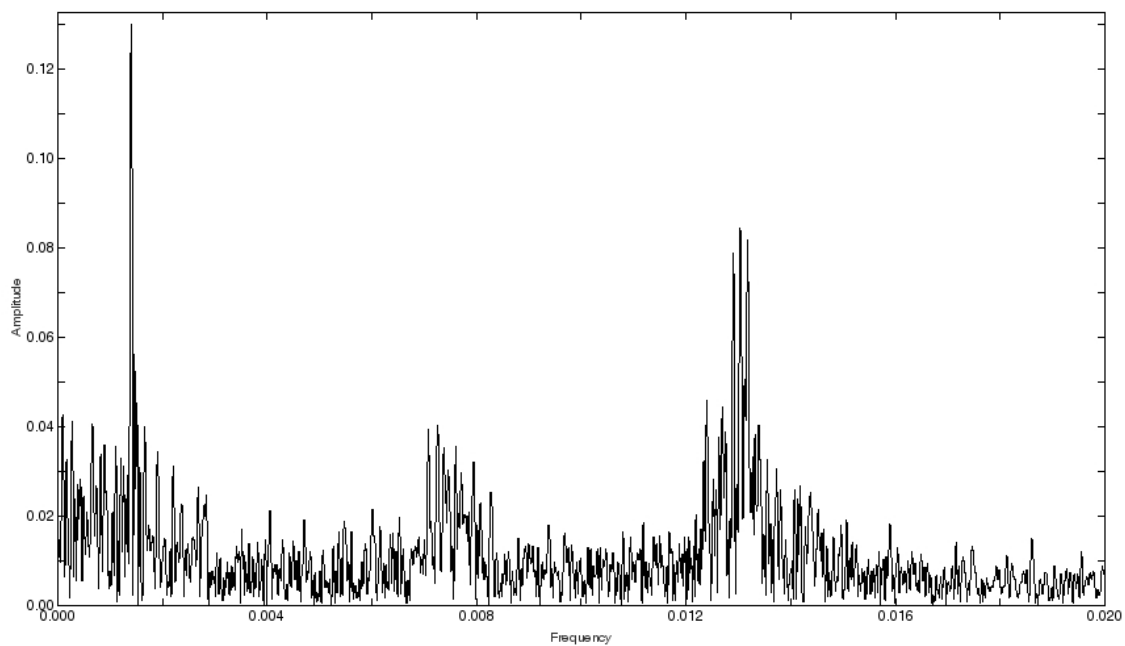
13. ábra. Az AH Draconis 10 napra átlagolt adatsorának contour térképe

TX Draconis

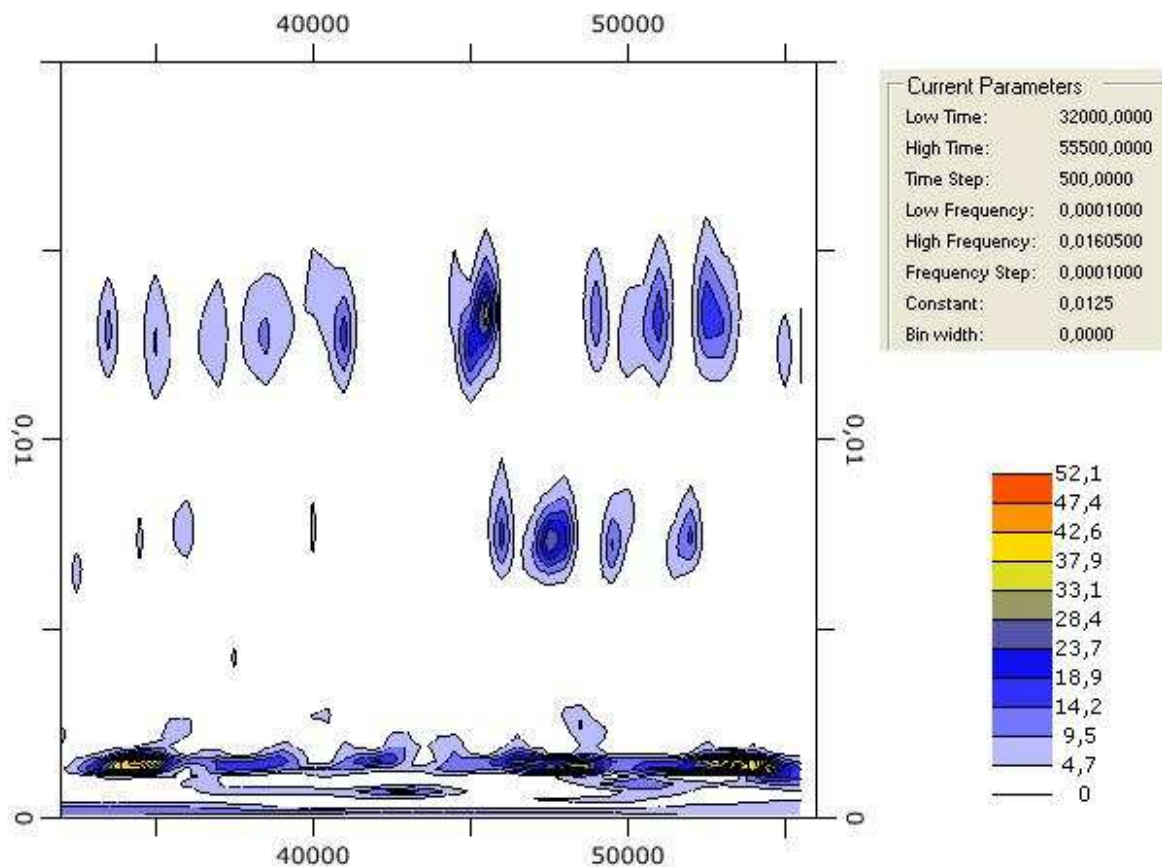
A Fourier spektrumban egy nagyon magas csúcs látszik 714 napnál, jóval alacsonyabb csúcsok 77 nap körül, és még alacsonyabbak 139 napnál. Valószínűleg a 77 napos, és a 139 napos pulzáció a csillag alaprezgése, és első felhangja (arányuk 1,8 ami a félszabályos változócsillagokra jellemző érték közelében van). A 714 napos periódusú változás pedig a sok félszabályos változócsillagnál megfigyelhető LSP (Long Secondary Period), amit okozhat például a csillag forgása és foltossága.



14. ábra. A TX Draconis 10 napra átlagolt fénygörbéje



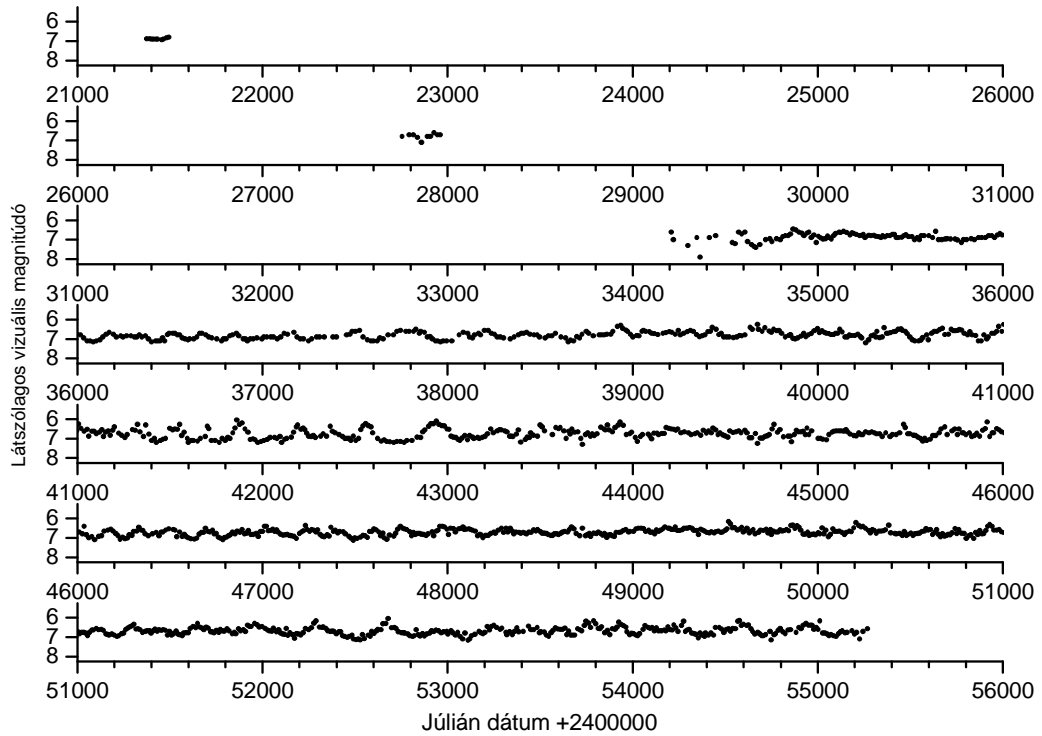
15. ábra. A TX Draconis 10 napra átlagolt adatsorának Fourier spektruma



16. ábra. A TX Draconis 10 napra átlagolt adatsorának contour térképe

UX Draconis

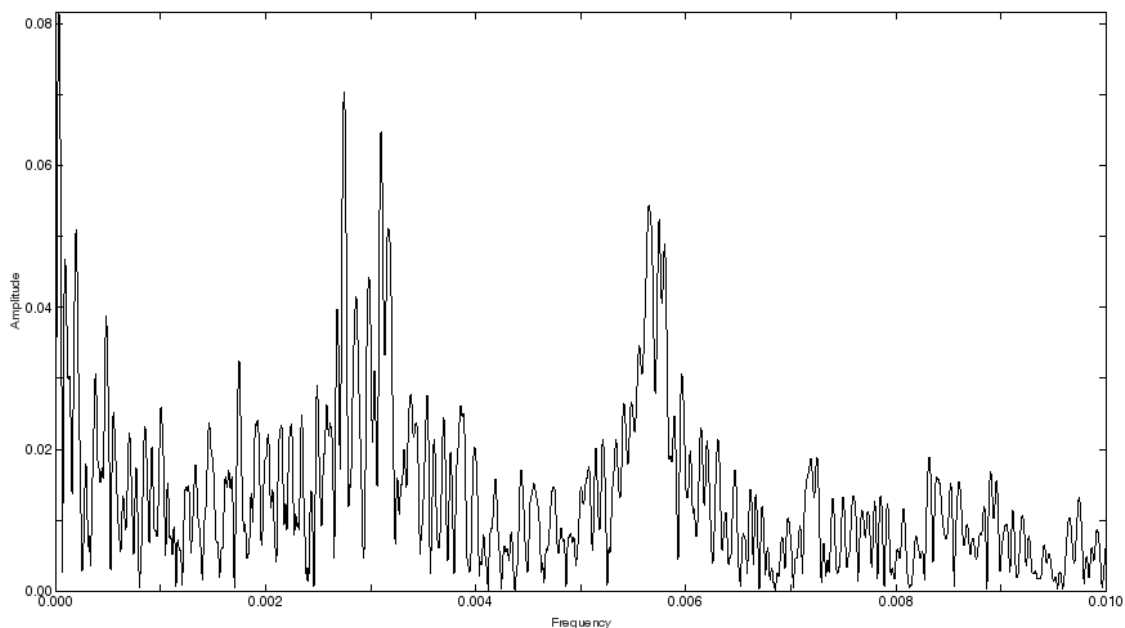
A vizsgált csillagok közül az UX Draconis fényességváltozásának volt a legkisebb amplitúdója.



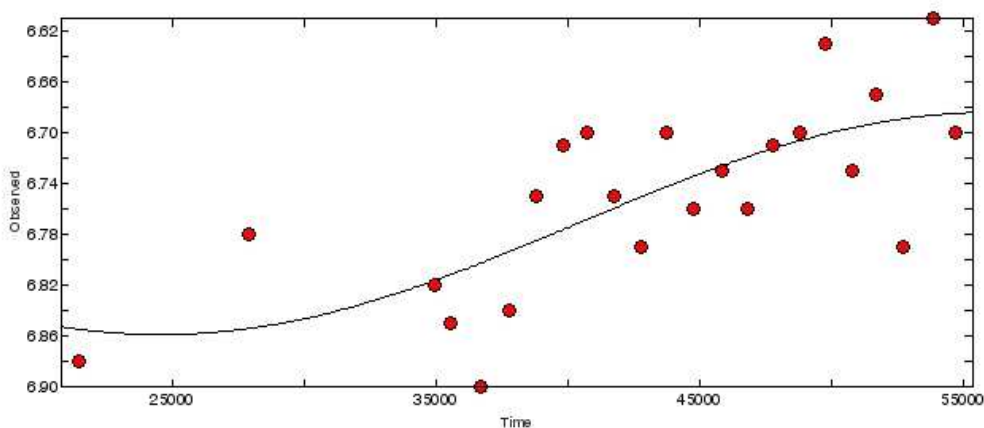
17. ábra. Az UX Draconis 10 napra átlagolt fénygörbéje

A Fourier spektrumban két magas csúcs-csoport látható 320-370 napos periódusnál, valamint 178 napnál. Feltehetően ez két periódus két valós pulzációs módushoz tartozik. Alacsony frekvenciákon megfigyelhető az $1/f$ zajhoz hasonló csúcsok megjelenése.

A Fourier spektrum legmagasabb csúcsa 34000 napos periódusidőhöz tartozik, ami sokkal hosszabb, mint az adatsorunk érdemi része. Az AF Cygni esetében használt eljárást követve 1000 napra átlagoltam az adatsort. Az 1000 napra átlagolt fénygörbén látszik, hogy a csillag átlagfényessége növekszik, azonban az 1000 napra átlagolt adatsor Fourier spektrumában lévő legmagasabb csúcs már 47000 napos periódusidőhöz tartozik, így semmiféleképpen nem állíthatjuk, hogy ez egy valós fényességváltozási periódus volna. 1990-ben megjelent cikkében Szatmáry Károly is erre a következtetésre jutott, vagyis a csúcsot a csillag átlagfényességének változása (növekedése) okozza.

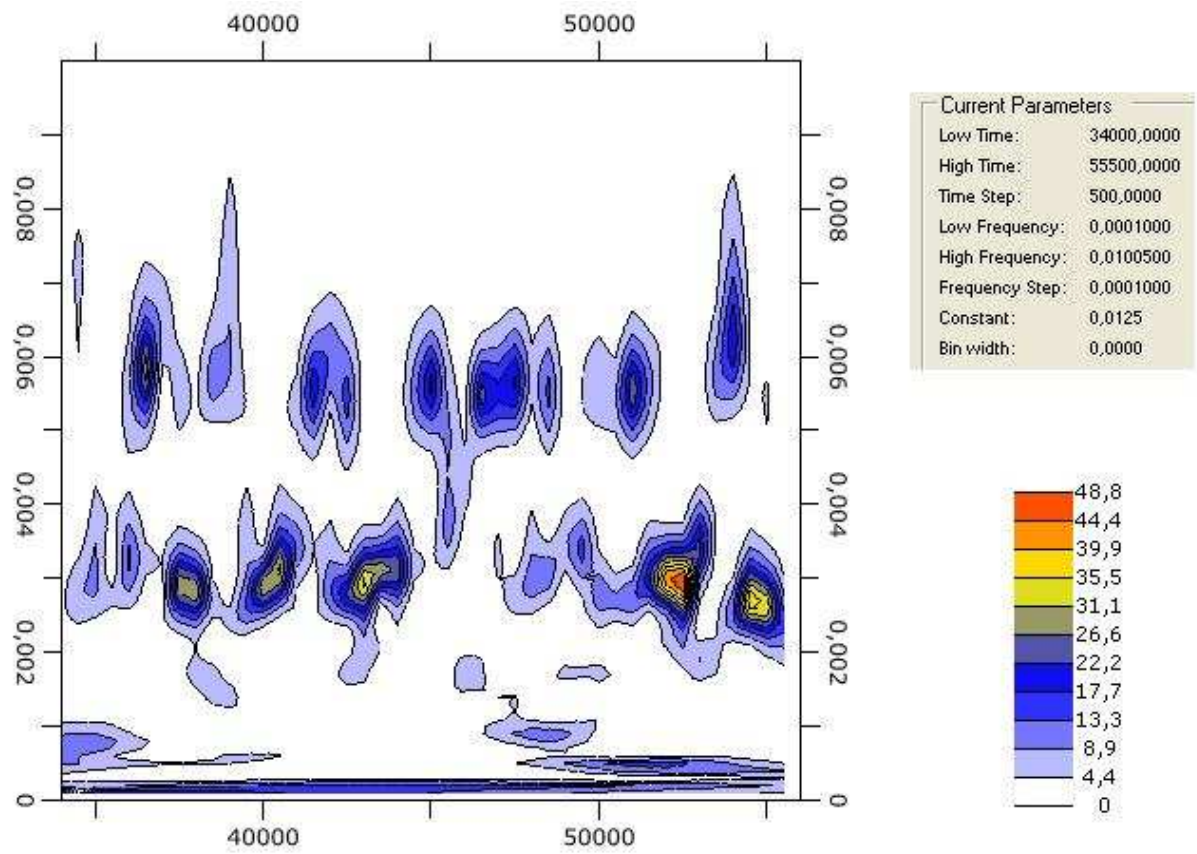


18. ábra. Az UX Draconis 10 napra átlagolt adatsorának Fourier spektruma



19. ábra. Az UX Dra 1000 napra átlagolt fénygörbéje, valamint a 47000 napos periódusú illesztett szinuszgörbe

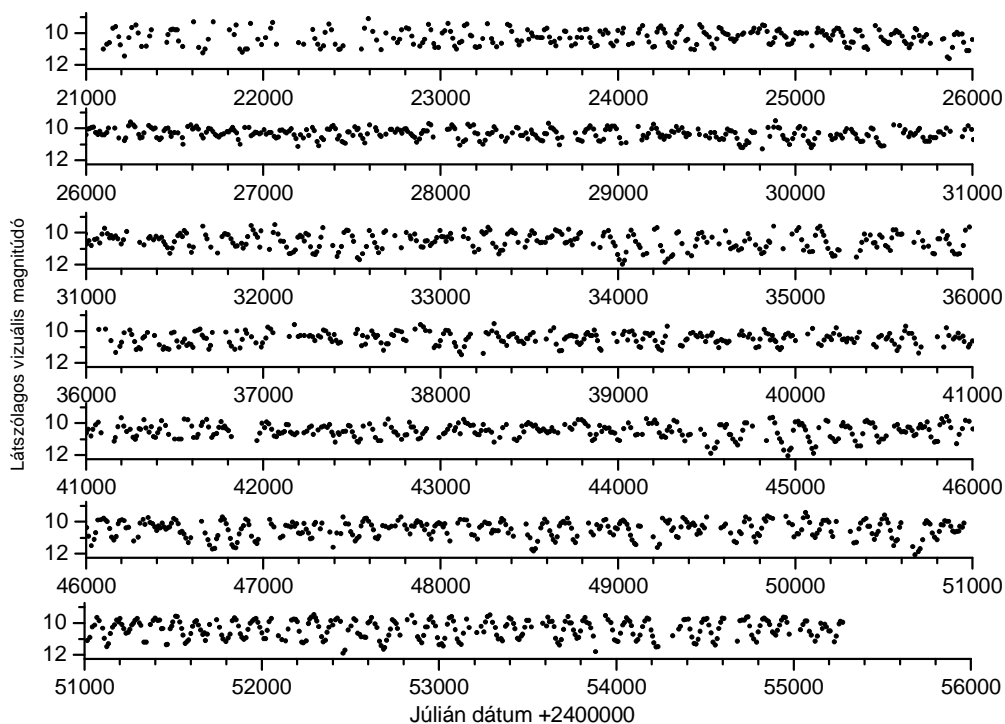
A contour térképen látható, hogy a 320-370 napos pulzáció periódusideje valóban e között a két érték mozog. Az adatsor korábbi szakaszán 40000-nél és 43000-nél inkább folyamatosan növekszik 320-ról 370 napra, amíg módusváltás nem történik. 52000-nél és 55000-nél azonban az látható, hogy miután a csillag két módusváltást követően visszatér ebbe a módusba, a pulzáció frekvenciája már más. Az is megfigyelhető, hogy a 320-370 napos és a 178 napos pulzációs módus közül a csillag többnyire csak az egyikben pulzál erősen.



20. ábra. Az UX Draconis 10 napra átlagolt adatsorának contour térképe

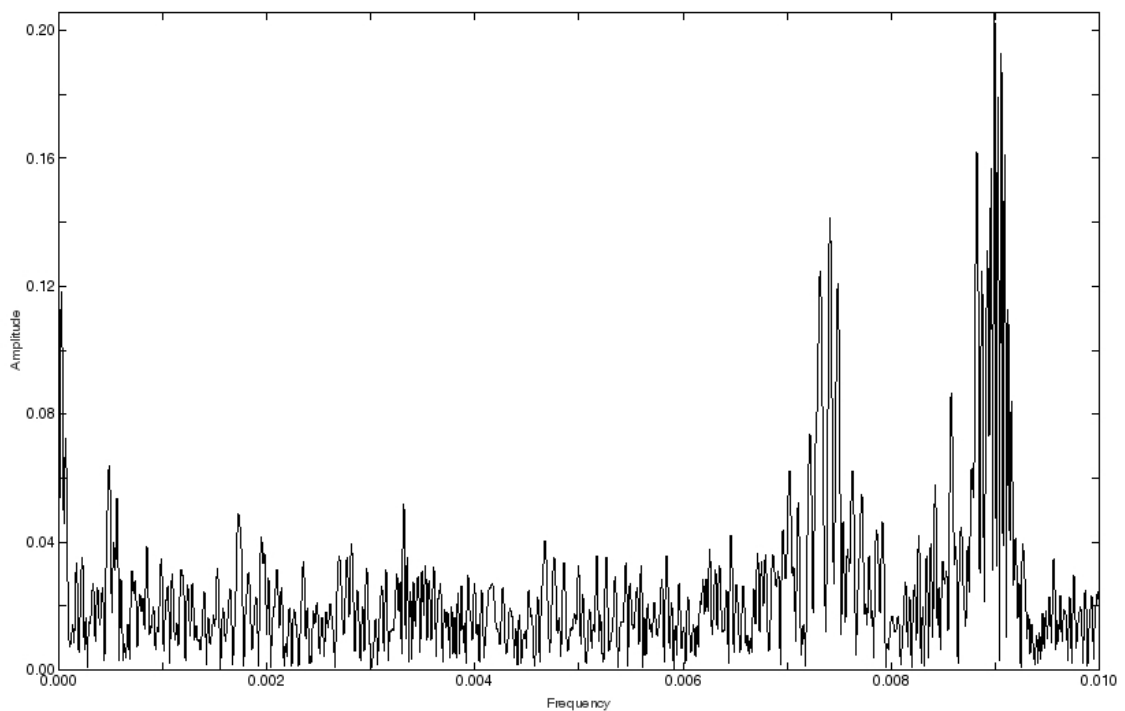
Z Aurigae

A fénygörbén látható, hogy a Z Aurigae fényességváltozásának amplitúdója, a periódusideje, valamint a fénygörbe alakja egyaránt változik időben.



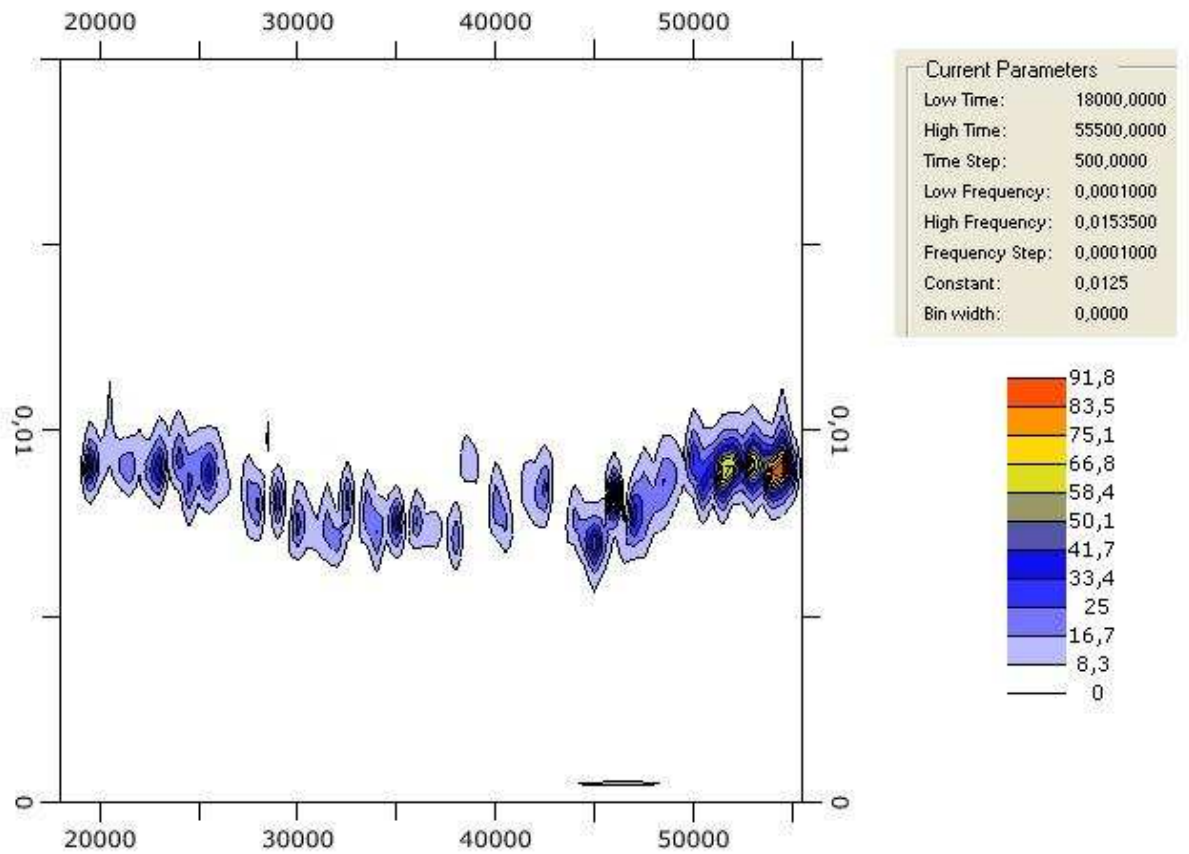
21. ábra. A Z Aurigae 10 napra átlagolt fénygörbéje

A Fourier spektrumban a két legmagasabb csúcs-csoport 111,2 és 134,9 napnál látható. A harmadik legmagasabb csúcs az AF Cygnihez és az UX Draconishoz hasonlóan nullához igen közeli frekvenciánál, kb. 37000 napos periódusidőnél látható. Annak megállapítására, hogy ez vajon valós fényességváltozási periódus lehet-e, az AF Cygni esetében is használt módszert alkalmaztam: az adatsort 1000 napra átlagoltam, ábrázoltam, megvizsgáltam vizuálisan, valamint Fourier analízisnek vettem alá.

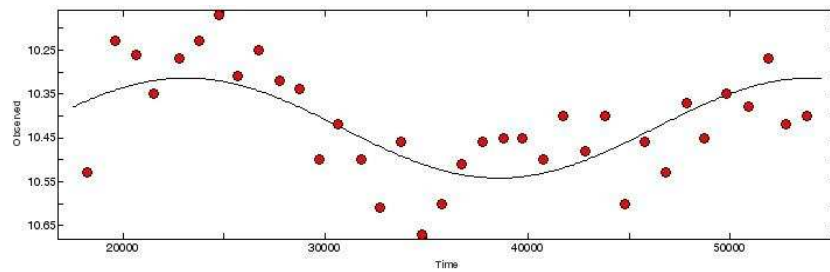


22. ábra. A Z Aurigae 10 napra átlagolt adatsorának Fourier spektruma

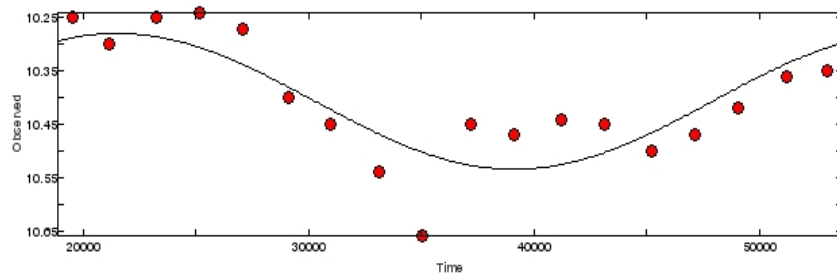
A Z Aurigae contour térképén jól látható a pulzációs periódus változása, azonban az eddigi csillagokkal ellentétben a periódusidő változása kevésbé tűnik ugrásszerűnek, inkább folyamatosnak tűnik. A contour térkép alatt látható a csillag 1000 napra átlagolt fénygörbéje, és a rá illesztett szinuszgörbe azonos időskálával. 1000 napos átlagok esetében még megfigyelhető, hogy a pontok szórása igen nagy, ennek részben az oka, hogy egy 1000 nap hosszúságú szakasz átlagát még jelentősen megváltoztatja, ha eggyel több fényességmaximum esik az átlagolt szakaszba, mint minimum, vagy fordítva. Ennek a hatásnak a csökkentésére 2000 napos átlagolást is végeztem. A csillag átlagfényességének változása megmagyarázza a Fourier spektrumban megjelenő 37000 napos csúcsot, ugyanakkor az átlagfényesség változása látszólag követi a csillag pulzációjának frekvenciáját, ennél fogva lehetséges, hogy a csillag pulzációs periódusa okozza az átlagfényesség változását, vagy fordítva, az átlagfényesség változása okozza a pulzációs periódus változását. Az átlagfényesség, vagyis luminozitás és a pulzációs periódus közötti összefüggés ötletét a pulzációs modellek segítségével lehetne tesztelni, azonban ez nem tartozik a dolgozatom tárgyához, ilyen vizsgálatokat nem is végeztem (még). Egyelőre megvizsgáltam azt, hogy egyáltalán a pulzációs periódus folyamatos változásáról van-e szó: létrehoztam egy adatsort, amelyben a pulzációs periódus 112 és 139 nap között változik 33000 napos periódusidővel (szinuszosan), majd ezt Fourier és wavelet transzformációnak vettem alá, hogy összevethessem a Z Aur Fourier és wavelet spektrumával. A mesterségesen generált adatsorba csak azokra az időpontokra generáltam fényességadatot, amelyeken a 10 napra átlagolt adatsorban voltak mérési pontok. Az űrök hatásának bemutatására készítettem egyenletesen mintavételezett, űröktől mentes adatsort is, amelyben naponta vannak „mérési” adatok.



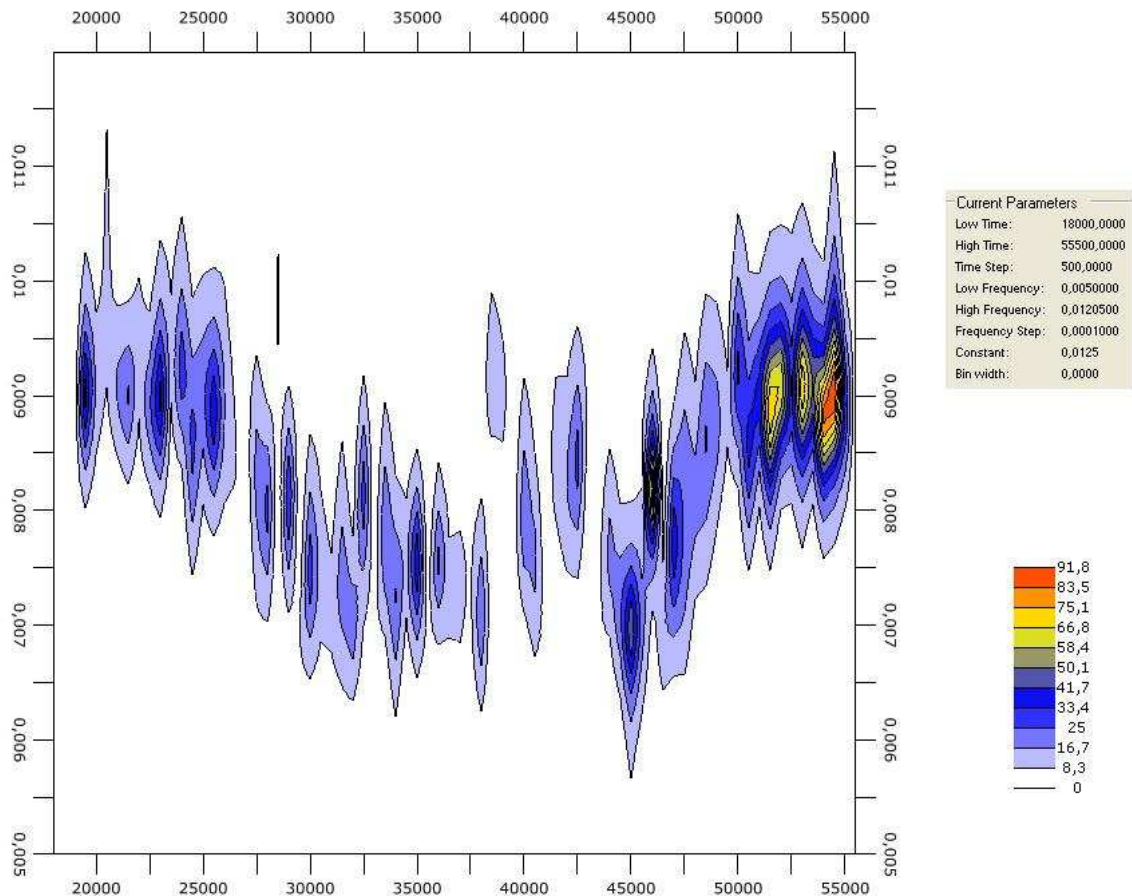
23. ábra. A Z Aurigae 10 napra átlagolt adatsorának a contour térképe



24. ábra. A Z Aurigae 1000 napra átlagolt fénygörbéje, és a rá illesztett 30900 napos periódusú szinuszgörbe



25. ábra. A Z Aurigae 2000 napra átlagolt fénygörbéje, és a rá illesztett 35250 napos periódusú szinuszgörbe



26. ábra. A Z Aur contour térképe szűkebb frekvenciatartományt mutatva

A generált adatsort a következő képletek szerint állítottam elő:

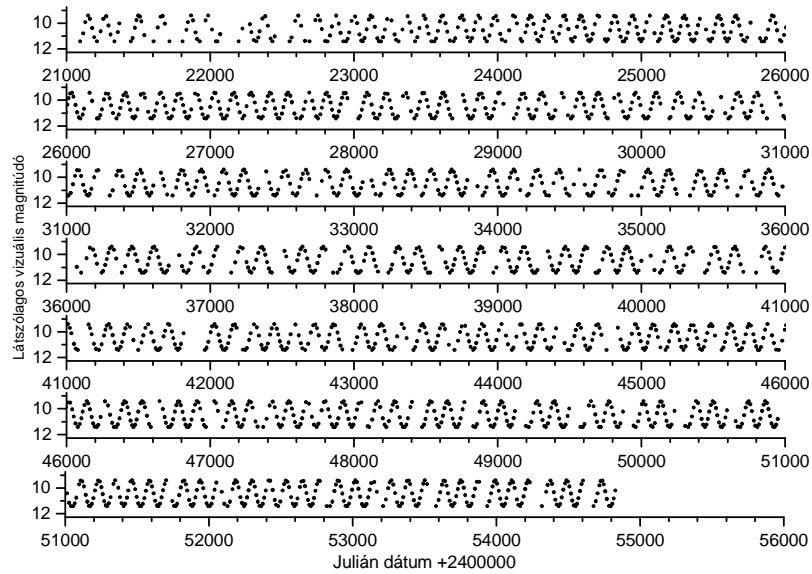
$$m = m_0 + a \cdot \cos(6,283 \cdot (t[j] - t_0) \cdot \text{frek} + \text{alfa}) \quad (4)$$

$$\text{frek} = f_0 + A \cdot \sin((\Omega \cdot t[j]) + \text{beta}) \quad (5)$$

a	1
A	0,000855
alfa	0
beta	-2,3
P	33000
Omega	6,283/P
m ₀	10,42
f ₀	0,008065

1. táblázat: az adatsor generálásához használt paraméterek

Alább látható a generált adatsorból készített fénygörbe, az adatsor Fourier és wavelet transzformáltja.



27. ábra. A generált fénygörbe hiányos mintavételezés mellett

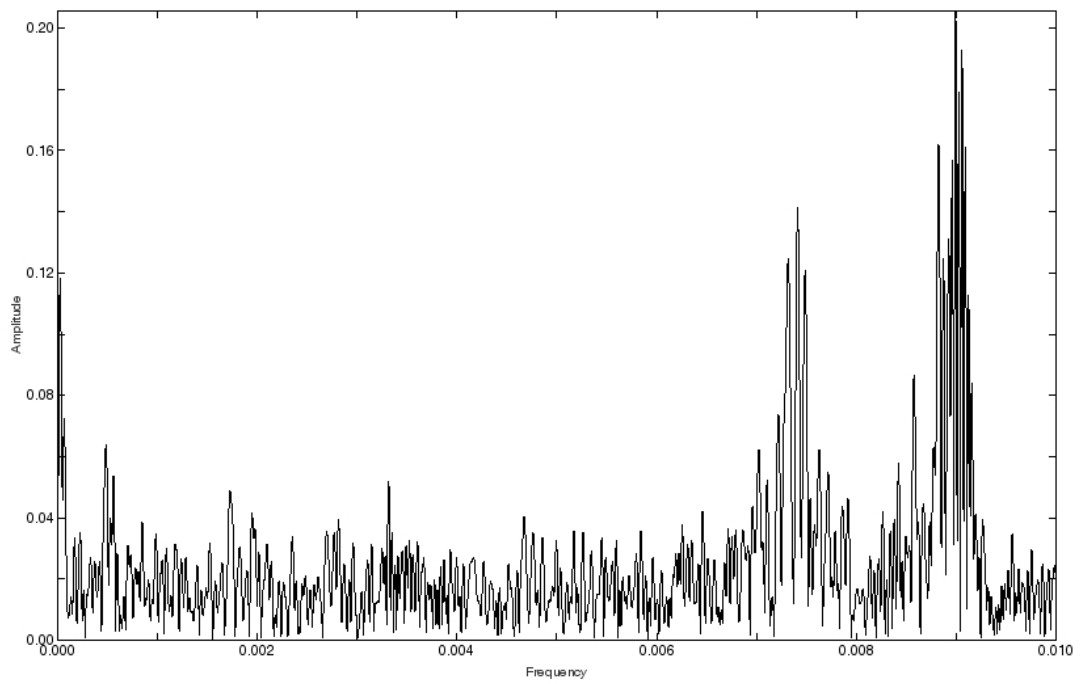
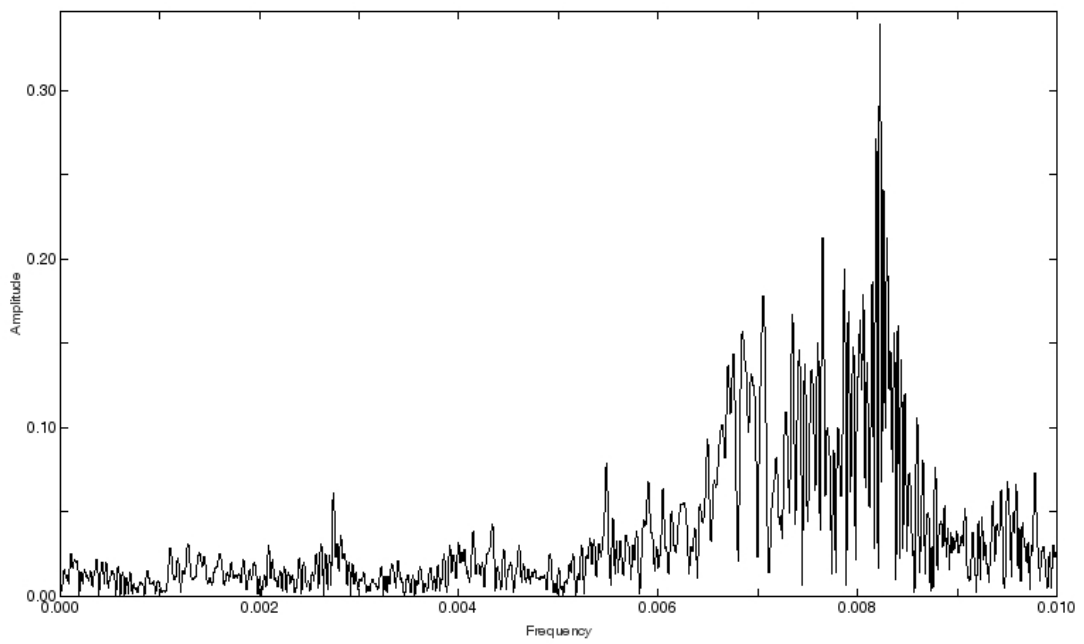
Megállapítások a generált és a valódi adatsor Fourier, illetve wavelet transzformáltjáról:

Az eredeti adatsorhoz tartozó Fourier spektrumban látható két különálló csúcs-csoport helyett a generált adatsorban egy igazán magas csúcsot kaptunk, mégpedig a fényességváltozás központi frekvenciájához igen közel, 122 napnál (a központi frekvenciához tartozó periódusidő 124 nap). Emellett a csúcs mellett rengeteg kisebb csúcs jelentkezik, főleg a kisebb frekvenciák, vagyis nagyobb periódusidők irányában.

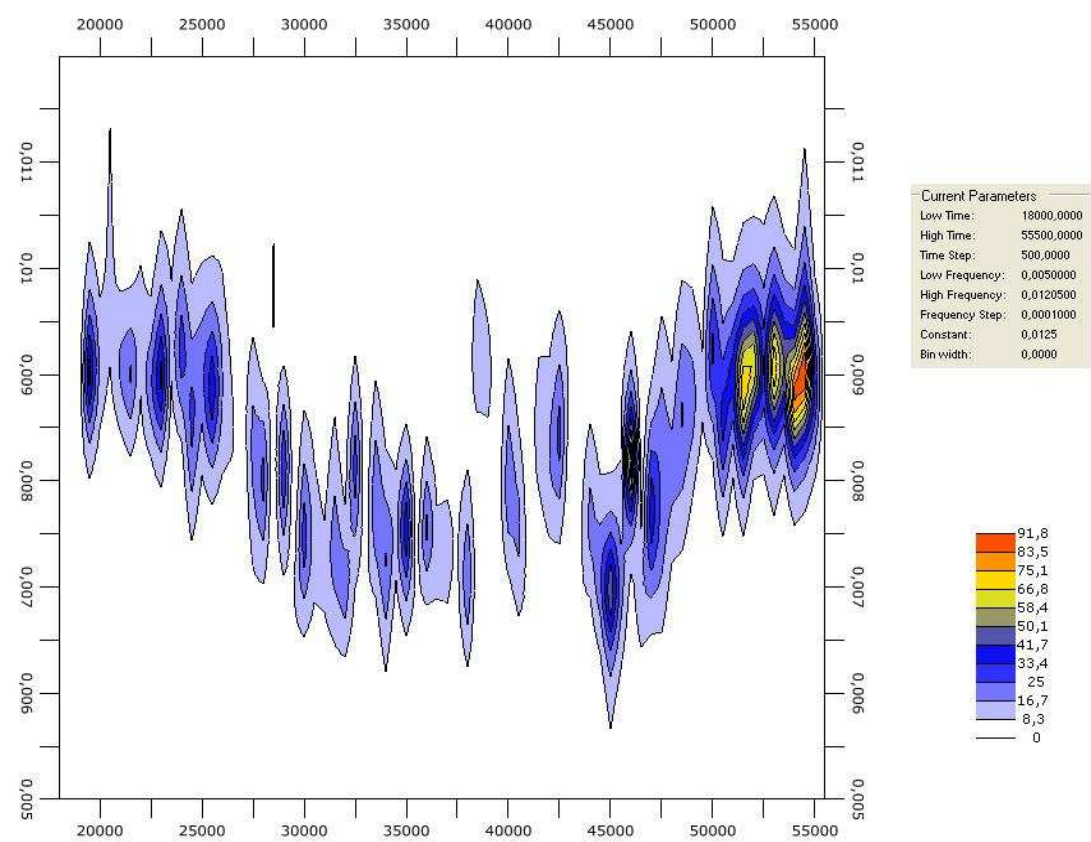
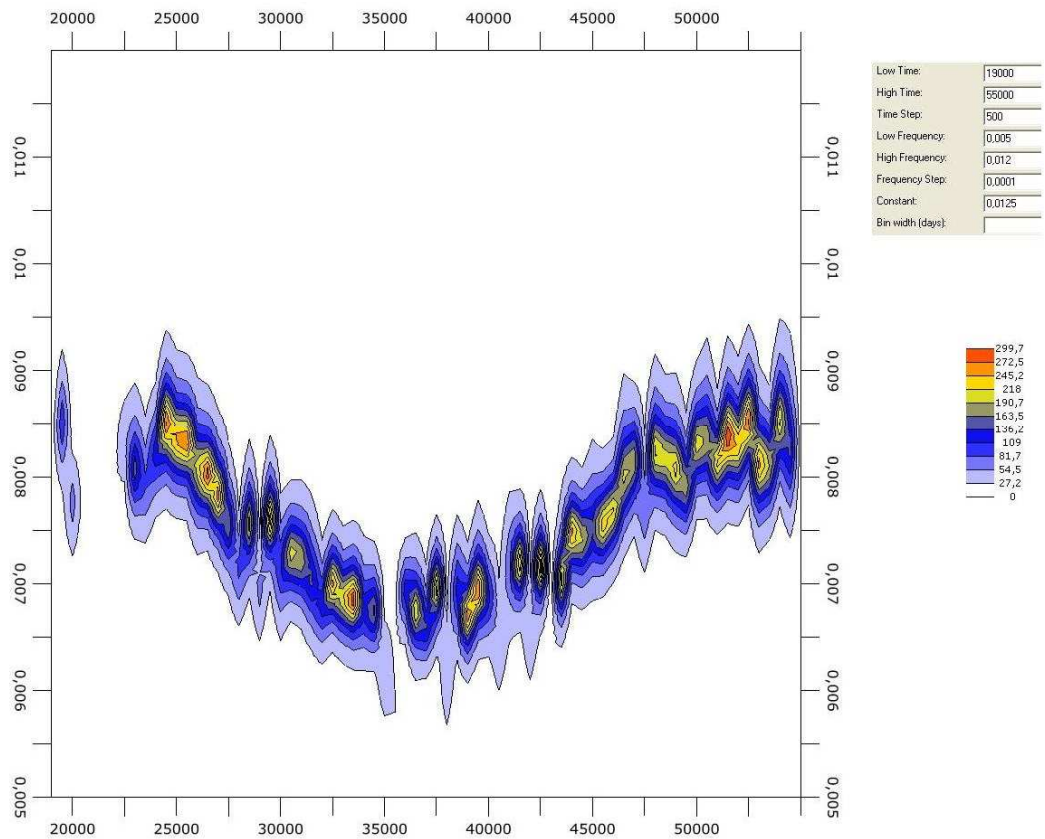
A generált adatsor Fourier spektrumában nem jelenik meg több tízezer napos periódushoz tartozó csúcs, azonban ez nem meglepő, hiszen az adatsor készítésekor csak a frekvenciát moduláltam 33000 napos periódusidővel, a fényességet, vagy a fényességváltozás amplitúdóját nem.

Érdekes, ahogy a contour térképen az űrök hatására 47000 és 49000 között egy lefelé, alacsonyabb frekvenciák felé futó gerinc jelenik meg annak ellenére, hogy a frekvencia azon a szakaszon valójában növekszik.

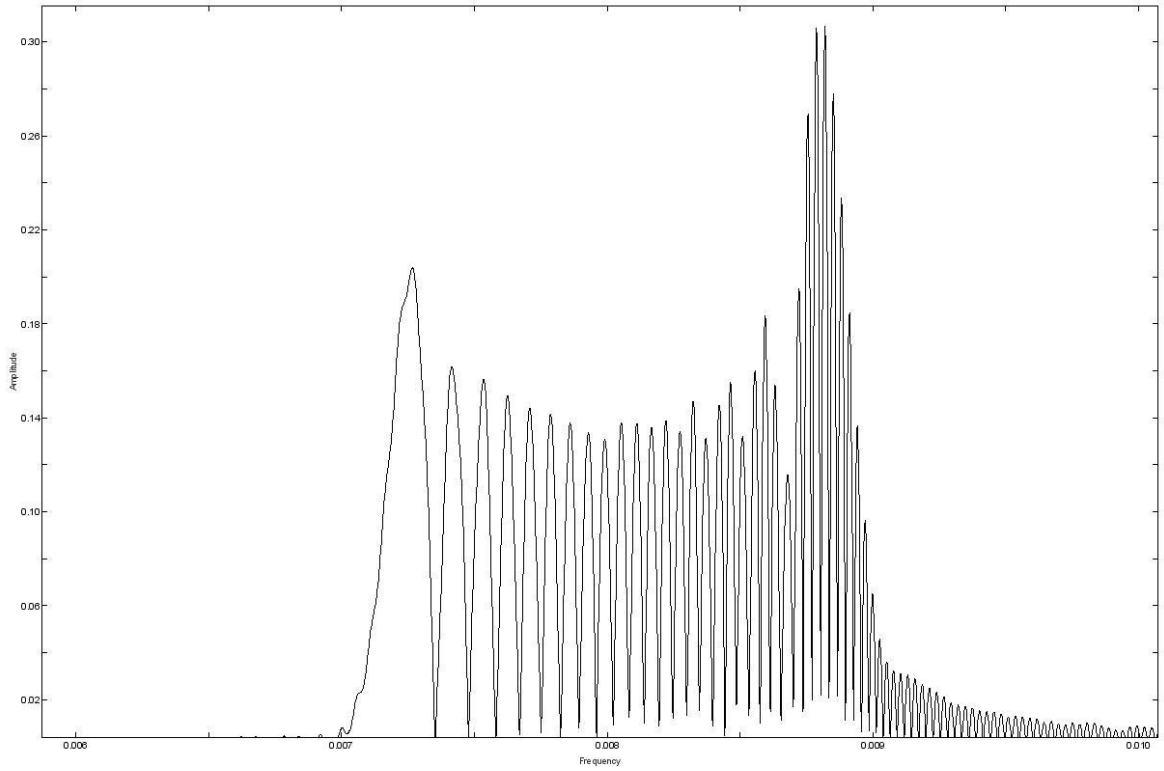
A generált adatsor és a valódi megfigyelések átlagolt adatsorának contour térképe meglehetősen hasonlít, ez összhangban van a folyamatos frekvenciaváltozás ötletével, azonban a Fourier spektrumok azonban már jelentős eltérést mutatnak. A Fourier spektrumokkal kapcsolatban azonban megemlítendő, hogy az űrökkel rendelkező, illetve űröktől mentes generált adatsor Fourier spektruma is nagymértékben különbözik, ami rámutat, hogy a Fourier spektrumok meglehetősen érzékenyek az űrök (valamint zajok, ugrásszerű változások, stb) hatására. Ennek megfelelően a Fourier spektrumok eltérése sem cáfolja meg az ötletet.



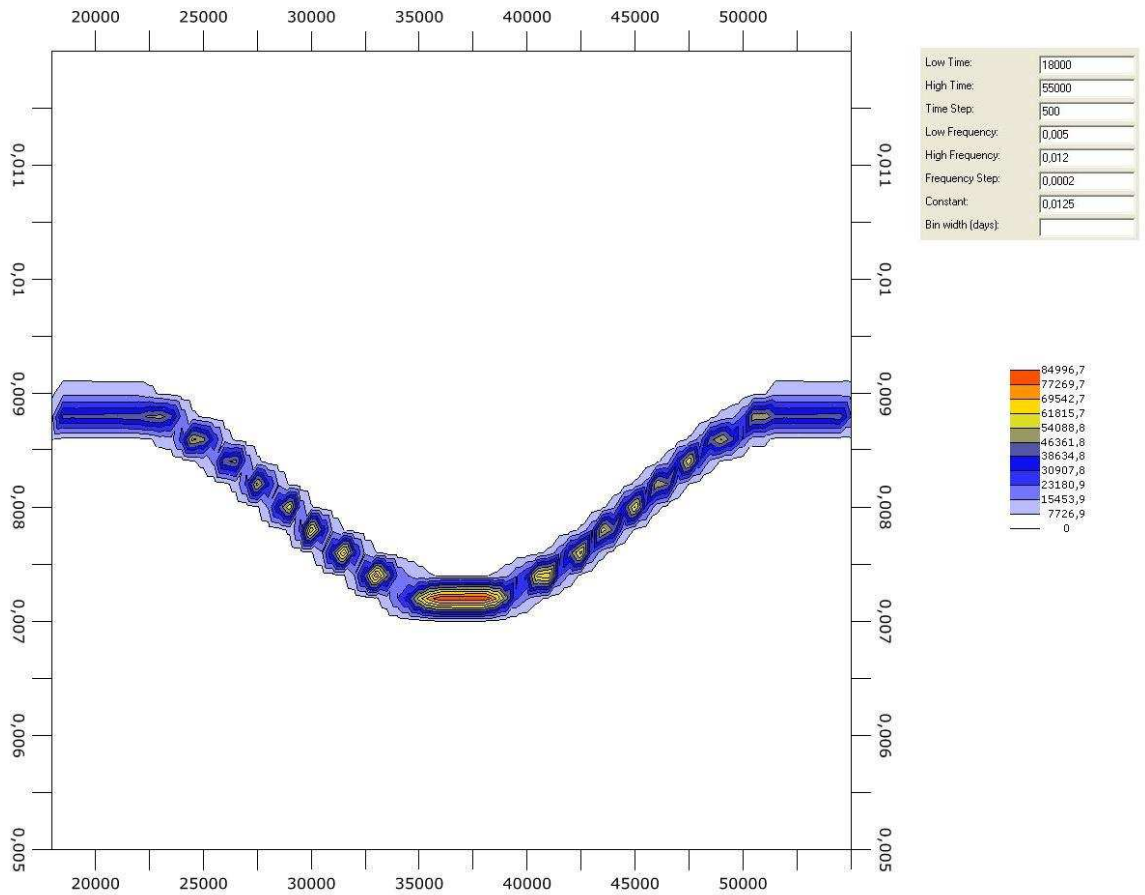
28. ábra. A hiányosan mintavételezett generált adatsor (fent), és a Z Aur 10 napra átlagolt Fourier transzformáltja



29. ábra. A generált (fent) és a Z Aur (lent) 10 napra átlagolt adatsorának contour térképe



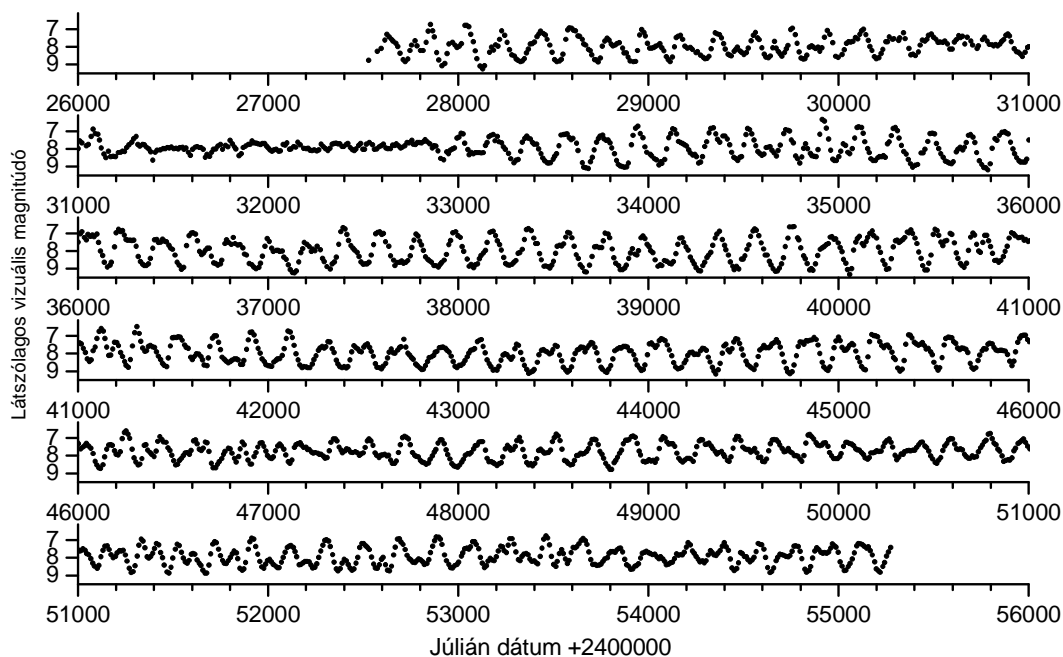
30. ábra. Egyenletesen mintavételezett generált adatsor Fourier spektruma



31. ábra. Egyenletesen mintavételezett generált adatsor contour térképe

Z Ursae Majoris

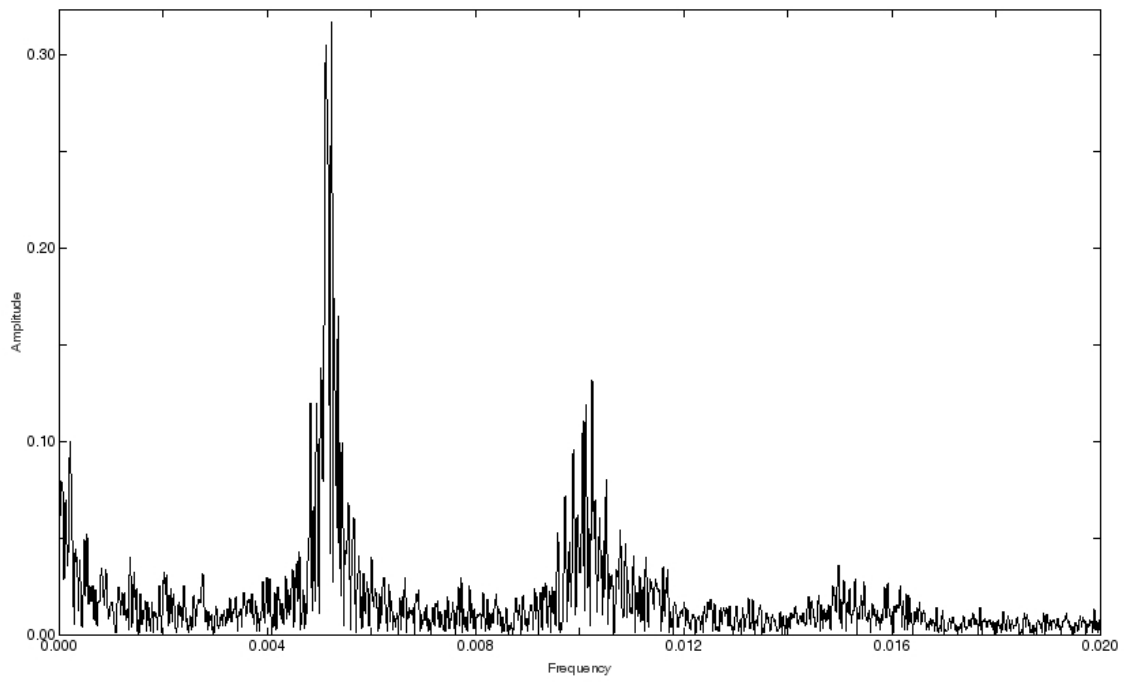
A Z Ursae Majoris fénygörbéjére jóval szabályosabb változás jellemző, mint az eddig vizsgált csillagokéra. A fénygörbe nagy részén egyértelműen dominál egy kb. 200 napos periódusú változás, amelyre helyenként jól láthatóan egy jóval rövidebb periódusidejű változás rakódik.



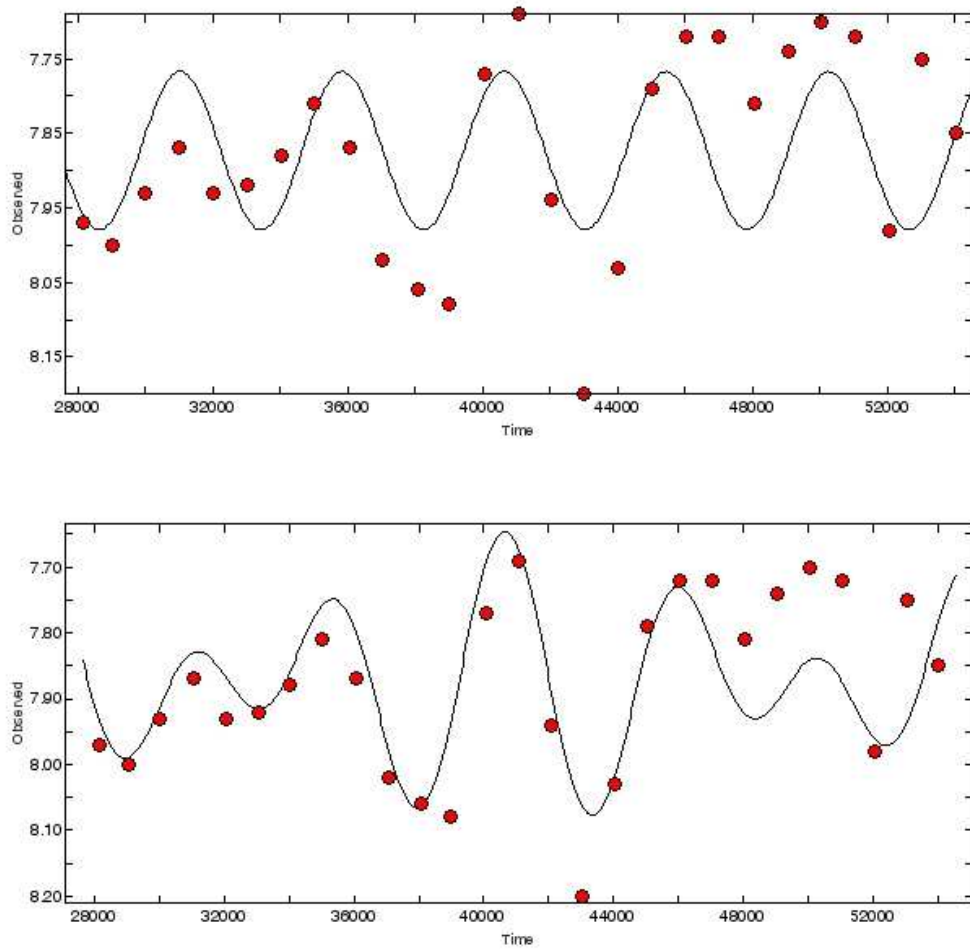
3

2. ábra. A Z Ursae Majoris 10 napra átlagolt fénygörbéje

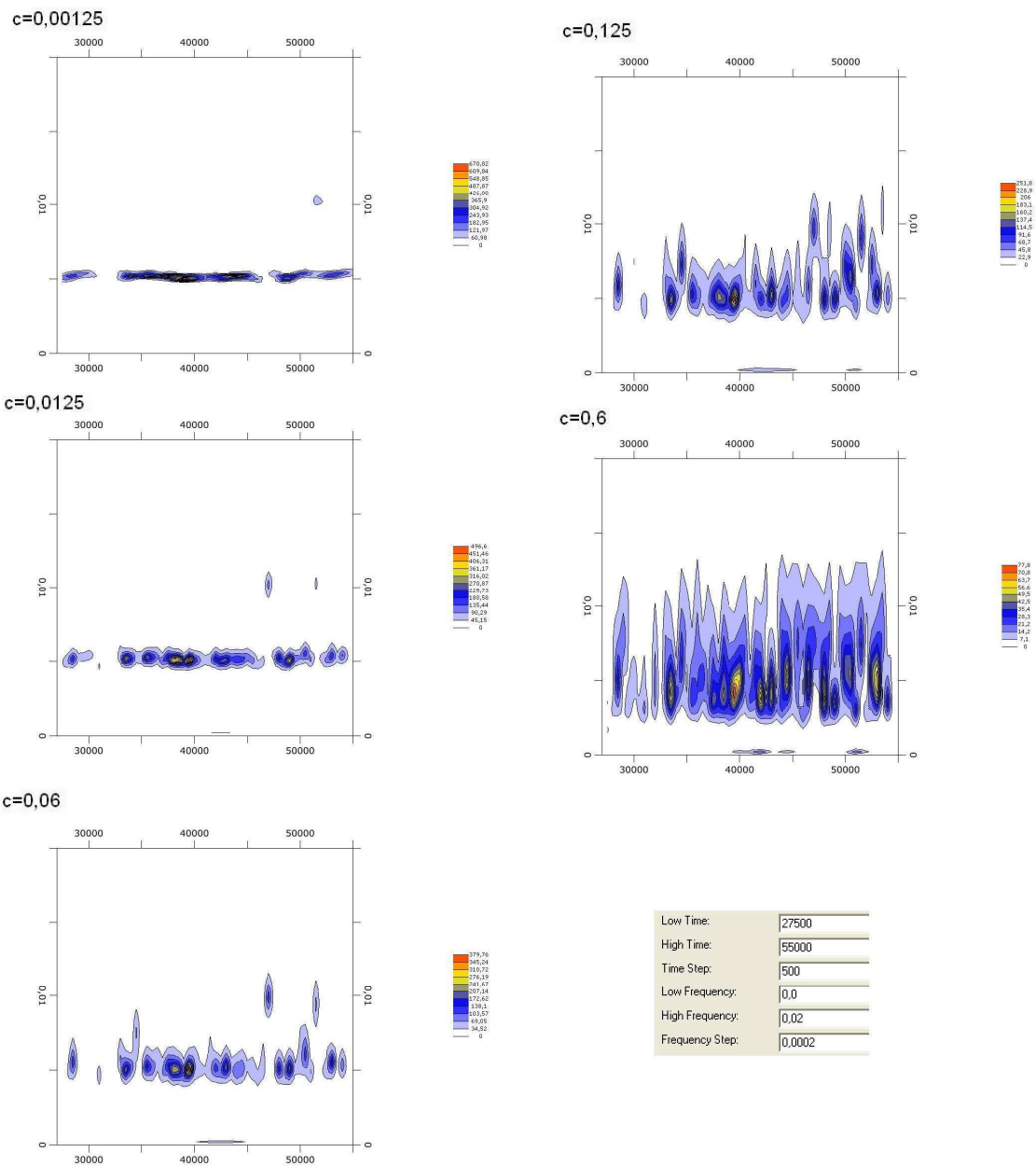
A Z Ursae Majoris Fourier spektrumában a két igen erős csúcs-csoport látható 191,1 valamint 97,7 napos periódusnál. A fénygörbe alapján ezek valószínűleg valós pulzációs periódusok. Nulla frekvenciához közelítve kb. 0,002-től kezdve a fő $1/f$ zajhoz hasonló alakban megnövekszik. Körülbelül 65 napnál is látható egy alacsony csúcs-csoport, ami jelezhet még egy pulzációs módust, de az is okozhatja, hogy a fénygörbe helyenként nagyon háromszögjel-alakú (például 39200-39800). A Z Aurigaehez és az AF Cygnihez képest a hosszú periódusú fényességváltozást nem lehet olyan jól illeszteni egy periódusú szinuszgörbével, csak két különböző periódusidejű szinusz összegével, azonban valószínűtlennek tűnik, hogy ez a két periódus valamilyen hosszabb időn át tartó periodikus változást ír le.



33. ábra. A Z Ursae Majoris 10 napra átlagolt adatsorának Fourier spektruma



34. ábra. A Z UMa 1000 napra átlagolt fénygörbéje illesztett szinuszgörbékkel: fent egyetlen 4800 napos periódusidejű, lent egy 4880 és 6757 napos periódusidejű szinuszgörbékkel



35. ábra. A c paraméter változtatásának a hatása a Z UMa contour térképén

Összefoglalás

A dolgozatomban bemutattam a fénygörbe-analízishez használt módszereket, a Fourier és a wavelet transzformációt. Bemutattam a módszerekkel kapott adatok értelmezését megnehezítő tényezők hatását, valamint az eredmények téves értelmezésének elkerülésére szolgáló módszereket. A dolgozatomban elemzett csillagokról hosszú, és nagyobb, periodikus űröktől mentes adatsor állt rendelkezésemre, ennek következtében ezek a tényezők nem befolyásolták nagymértékben a Fourier spektrumot.

Munkám során hat félszabályos változócsillag fénygörbét elemeztem. Mind a hat csillag legalább két olyan periódust mutatott, amelyek nagy valószínűséggel két pulzációs periódusnak felelnek meg, habár a Z Aur esetében erősen kérdéses, hogy ez két különböző pulzációs módus-e. A Z UMa esetében egy harmadik, kis amplitúdójú pulzáció jelenléte is lehetséges. A hat csillagból kettő (AF Cyg, UX Dra) Fourier spektrumában a legmagasabb csúcs több tízezer (!) napos periódusidőnél jelent meg, további két csillag (Z Aur, Z UMa) esetében ugyanilyen hosszú periódusidőnél hasonlóan magas amplitúdójú csúcs volt látható, azonban azon csillagok esetében nem ez a csúcs volt a legmagasabb. E csillagok fénygörbéjének részletesebb vizsgálata azt mutatta, hogy az átlagfényesség több tízezer napos periódusú fényességváltozása valóban jelen van, habár egyik esetben sem rendelkezünk elég hosszú adatsorral ahhoz, hogy azt állíthassuk, hogy ez a fényességváltozás tartós, illetve tartósan periodikus. A hat csillagból négy esetében volt jól megfigyelhető a Fourier spektrumban a kis frekvenciánál $1/f$ zaj szerűen megnövekvő fű (AF Cyg, TX Dra, UX Dra, Z UMa), amelyet Kiss és munkatársai írtak le 2006-os cikkükben. Abban a cikkben a szerzők által vizsgált csillagok jelentős részének Fourier spektrumában is jelen volt egy kiemelkedően magas csúcs tízezer napos nagyságrendű periódusidőnél, azonban a szerzők nem tértek ki ennek okára. Az ilyen hosszú időskálán történő változásoknak számos oka lehet, ilyen például a csillag nagymértékű tömegvesztése, a csillag által kibocsátott anyagból létrejövő porburok, illetve annak széteszlása.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet témavezetőmnek, Dr. Szatmáry Károlynak a szakmai konzultációs lehetőségekért és mindazért a tudásért, amelyet nagyszerű oktatóként az elmúlt évek során adott át nekem.

Köszönettel tartozom még az Amerikai Változócsillag-észlelők Társaságának (az AAVSO-nak), amiért elérhetővé tették számomra adatsoraikat, valamint a WinWWZ nevű programot, továbbá Patrick Lenz-nek és a Bécsi Egyetemnek a Period04 nevű programért.

Irodalomjegyzék

1. Gál János, Szatmáry Károly, 1993
AF Cygni
Meteor 9. 39-43.
2. Szatmáry Károly, 1990
UX Draconis
Meteor 7-8. 32-36.
3. Kiss L.L., Szabó Gy.M., Bedding T.R., 2006
Variability in red supergiant stars: pulsations, long secondary periods and convection noise
Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 372, 1721-1734
4. Buchler J.R., Kolláth Z., Cadmus Jr. R.R., 2004
Evidence for Low-Dimensional Chaos in Semiregular Variable Stars
Astrophys. J. 613, 532-547
5. Goupillaud P., Grossman A., Morlet J., 1984
Cycle-Octave and Related Transforms in Seismic Signal Analysis
Geoexploration, 23, 85-102
6. Foster G., 1996
Wavelets for Period Analysis of Unevenly Sampled Time Series
Astron. J., 112, 1709
7. Szatmáry K., Kiss L.L., Bebesi Zs., 2003
The He-shell flash in action: T Ursae Minoris revisited
Astron. Astrophys. 398, 277-282
8. Bebesi Zsófia, 2003, Pulzáló vörös óriáscsillagok fényváltozásának idő-frekvencia analízise
diplomamunka
9. Szatmáry Károly, 1994, Változócsillagok periódus-analízise az idő és a frekvencia tartományban
kandidátusi értekezés
10. A Szegedi csillagvizsgáló honlapja: <http://astro.u-szeged.hu/ismeret/valtozok/pulzalogk.html>
11. AAVSO adatbázis: <http://www.aavso.org/data/download/>
12. A Period04 program forrása: <http://www.univie.ac.at/tops/Period04/>
13. A WinWWZ program forrása: <http://www.aavso.org/data/software/winwwz.shtml>

NYILATKOZAT

Alulírott *Onozó Ervin* Fizika BSc szakos hallgató (ÉTR azonosító: ONEOAAT.SZE) a „*Félszabályos változócsillagok fénygörbe-analízise*” című szakdolgozat szerzője fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem, hogy dolgozatom önálló munkám eredménye, saját szellemi termékem, abban a hivatkozások és idézések általános szabályait következetesen alkalmaztam, mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.

Szeged, 2010. május 14.

.....
Onozó Ervin