

# Egy összemérés története

Sok amatőrt vonz a digitális technika alkalmazásának lehetősége, a kiváló érzékenység vagy a pontos fényesség-meghatározás. Amikor azonban szembesülnek a részletek, szabályok, eljárások hosszú és bonyolultnak tűnő sorával, legtöbbször megtorpannak. Idegen az addigi észlelési módszereik között, sőt az addig elsajátított észlelési fogások nagy része az feleslegessé válik. Hirtelen matematikába öntött konkrét tudásra és szemléletre támad igény, amit illik sok részletre kiterjedően megérteni és alaposan begyakorolni. Kiderül továbbá, hogy a távcső mellett töltött idő lerövidül, miközben a szabadidőből egyre többet kell áldozni a kamerával felvett képi anyag feldolgozására. Nem csoda, hogy a változócsillag-észlelők nagy része a mai napig megmaradt a hagyományos észlelés mellett.

Azon kevesek, akik áttérnek a digitális fotometriára, szintén hosszú utat járnak be, mire elsajátítják a mesterfogásokat. Érthető, hogy jó eredményeket akarnak produkálni a frissen megismert észlelési technikával, örülni akarnak annak, hogy „működik” a dolog. Jönnek a felvételek, számolnak, adminisztrálnak bőven és – ahogy a vizuális kurzusokban is tették – feszegetik a technikai határokat. Az adatokat pedig nagy lelkesedéssel küldik a szakcsoportnak, abban a nyugodt hitben, hogy minden a legnagyobb rendben van.

A vizuális észlelésekkel kapcsolatban régóta tudjuk, hogy nagyjából egy-másfél magnitúdó körüli szórással terhelt adatsorokat eredményeznek. A digitális fotometriával szerzett adatoknál azt gondolnánk, hogy egyáltalán nem lehet szórás, hiszen objektív eszközökkel, ellenőrzött úton szerzett adatokról beszélünk. Nos, ez nagyon nem így van, különösen ha azt is figyelembe vesszük, hogy az AAVSO észlelői rengeteg szűrőn keresztüli mérést is végeznek. Ha szűkítjük az észleléseket a B, V, R, I, azaz a fontosabb

standard fotometriai sávokra, akkor így is tekintélyes, több tized magnitúdó széles a szóródási sáv, sőt olykor egészen kiugró adatok is láthatók. Ezt a pár tizednyi pontatlanságot tekinthetnénk akár eredménynek is, hiszen sokkal pontosabb a szemmel észlelt fénygörbéknél. Ha azonban figyelembe vesszük, hogy a kamerázással akár 10–20 mmag (millimagnitúdó) pontosság is elérhető, az eredmény már egyáltalán nem tetszetős. Az összemérést, melyet be fogok mutatni, éppen azért terveztem, hogy felmérjem, milyen adatokat juttatunk mi a változós adatbázisokba.

Évek óta gyakorlom kisebb-nagyobb intenzitással a digitális fotometriát és még mindig tanulok új fogásokat, értek meg a technológiával kapcsolatosan új jelenségeket. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy a korábbi észlelések esetleg nem voltak kellően jók, több olyan hiba maradt bennük, melyeket mai tudással már nem követtem volna el. Ez a fejlődés lassú evolúciós tisztulással működik. Van azonban egy egyszerű, bizonytalanság nélküli módszer a hibák kiszűrésére. Ez a módszer az összemérés, mely kíméletlenül megmutatja az észlelések gyengeségeit. Lényege, hogy ugyanazt az objektumot kell szimultán módon mérni legalább két észlelőnek, miközben a hely, az optika, a kamera, az égbolt állapota és minden, ami befolyásolhatja a mérés eredményét, eltér egymástól. Ha az objektum eleve ismert fénymenetű (könnyen leírható szabályos ismétlődésű, jól dokumentált stb.), nem csak az egyes észlelések eltérései, hanem egyenként minden résztvevő saját hibája láthatóvá válik. Az összemérés igazi haszna, hogy a felvételezés és feldolgozás minden fázisa utólag jól értékelhető, ezáltal az elkövetett hibák mibenléte tisztázható.

Juhász András amatőrcsillagász társammal végeztük el az első összemérést. András később kezdte a fotometriát, gyorsan aktív észlelővé vált. Az előzmények közé tarto-

A tesztobjektum adatai (részlet az AAVSO-adatbázisból)			
Name	DY Her		
AAVSO UID	000-BBX-619 (10850 observations)		
Const.	Hercules		
J2000.0	16 31 17.95 +11 59 52.5 (247.82479 +11.99792)		
Galactic coord.	27.863 +36.480		
Other names	AAVSO 1626+12	AN 62.1935	ASAS J163118+1159.8
	BD+12 3028	HIP 80903	ROTSE1 J163117.94+115952.4
Var. type	DSCT		
Spec. type	A7III-F4III		
Mag. range	10.15 - 10.66 V		
Epoch	06 Jun 1950 (HJD 2433439.4865)		
Period	0.148631353		

	Juhász András (Jha)	Stickel János	Megjegyzés
<b>Helyszín</b>	Tata	Szentendre	
<b>GPS-koordinálák</b>	fi: 47,38, l: 18,19 z: 150 m	fi: 47,67, l: 19,10 z: 175 m	
<b>Mechanika</b>	HEQ-5 Pro GoTo Skywatcher	EQ-5 CAM GoTo Celestron	
<b>Optika</b>	200/1000 Skywatcher	200/1800 Vixen VISAC Cassegrain, 0,63x Meade fókuszreduktor	
<b>Kamera</b>	Canon 1000D	Canon 300D	átalakítatlan vázak
<b>Expozíciós idő</b>	30 s	30 s	vezetés nélkül, ISO 800
<b>Felvételek kezdete</b>	JD 2456147,29731	2456147,30134	
<b>Felvételek vége</b>	JD 2456147,39229	2456147,40207	
<b>Felvételek száma</b>	78	220	Jha 60 s-os szüneteket iktatott a felvételek közé

zik, hogy a legutóbbi kecskeméti változós találkozón részletekbe menően beszélgettünk műhelyfogásokról, ki-ki megosztva ismereteit adott részletkérdésekben a másikkal. Egykettőre kiderült, hogy jól szót értünk egymással. Augusztus folyamán megkerestem és javasoltam a szimultán mérést. András annyira lelkesen fogadta a dolgot, hogy nem húztam az időt fontolgatással meg keresgéeléssel. Bedobtam a DY Her „személyében” a jól ismert  $\delta$  Scuti típusú változót, mely az idő tájt éjfél után nyugvással elég időt biztosított ahhoz, hogy látványos lefutású görbéhez juthassunk nagyon rövid idő alatt. (Megjegyzés: a maximum epochára és a pulzációs periódusra vonatkozó értékek nem egyeznek a Szege-di Tudományegyetemen végzett mérések eredményeivel (Derekas, 2002.). Szegeden rövidebb periódust adnak, mely ráadásul csillagfejlődési okból lassan, de folyamatosan tovább rövidül.) Egy harmonikusan nyugodt és jórészt közepesen átlátszó egű éjszakán

(augusztus 7–8.) 22–01 óra között megtörtént a felvételsorozat, melyet előzetesen egyeztetünk. Eszerint alkonytájban friss flat-eket készítettünk, majd két másik változó (T UMi, Z UMi) levadászása után elkezdttük a DY Her folyamatos észlelését.

A következőkben részletekbe menően ismertetni kívánom tapasztalatainkat. A hiteles kép kedvéért semmilyen eredményt nem „cenzúráztunk”. A képek feldolgozásával kapcsolatos részleteket a fotometrálni szándékozó olvasók informálása céljából válogattam be. Minden részeredményt természetesen nem lehet publikálni, ezek megmaradnak az észlelők birtokában, segítve jövőbeni munkájuk

Néhány észrevétel a műszerezettséghez. A táblázatból látható, hogy az optikai összeállítások nagyon hasonló eszközöket takarnak. A húszcentis tükrös tubusok elsősorban fényerőben különböznek, de a Vixenre adaptált 0,63-as reduktor alaposan kiegyenlíti az

eltérést, a tényleges eredő fókusz 1325 mm. A Vixen javára szóló konstrukciós előnyök a fotometriánál nem érvényesülnek. Az, hogy az optikák ennyire hasonlóak, csupán a véletlen műve. Megengedett bármilyen más optika is, ami a célobjektumot egyértelműen leképezi.

Nagyon eltérő viszont a mechanikák minősége. A HEQ-5 annyival jobb mechanika a Celestron CAM-nál, hogy vezetetlenül is tökéletes képeket készített. Az EQ-5 a 30 s-os expozíciókkal csak éppen hogy boldogult, a csillagok profilja bőven ellipszisekké torzult, a periodikus hiba közelítőleg fél ívpercnyi volt (képsorozatból rekonstruálva). Szerencsére az apertúra kiméréseket megfelelően paraméterezve nem okozott bajt.

A kamerák teljesen eltérő korcsoportba tartoznak. A Canon 300D legalább öt generációnyi távolságban van az 1000D-től. Ennek ellenére – mint a mérések később mutatni fogják – ma is kiválóan használható fotometriai célokra. A digitalizálás mélysége mindkét egységnél 12 bit.

A mérések megkezdését megelőzően friss flat-sorozatot vettünk fel és értékeltünk ki a szokásos opciókkal: 5 db derült égbolt felvétel 50 foknál nagyobb magasságban, képenként elmozdított tubussal, 5 db bias képpel, majd medián átlagolás, bias levonás és 5000 ADU-ra való normálás után 1 db masterflat kép készült mindkettőnkél.

A kitelepülés még kellemes alkonyatban zajlott, ekkor van idő nyugodtan kihordani-összeszerelni az egységeket, zavartalan áramellátásról gondoskodni, előkészülni a pólusra álláshoz, majd a tájolóhoz. A távcső tájolását (a GOTO funkció felélesztése) a megszokott gyakorlattól eltérően két csillagra való illesztéssel és két további ún. kalibrációs csillagra állással, tehát összesen 4 csillaggal szoktam elvégezni. Ez kiváló hibakiegyenlítést eredményez akkor is, ha a pólusra állás közel sem tökéletes (kitelepülő észlelőknél nem szokott az lenni) és mindössze 5–6 perc kell hozzá. A Celestron e tekintetben nagyon flexibilis szoftvert kapott, nem jön zavarba kifejezetten rossz pólusra állás mellett sem.

Banálisan hangzik, de fontos, hogy az

első képet minden esetben alaposan nézzük át, hogy a célpont és az öh-k biztosan rajta legyenek a felvételen. Előfordulhatnak meglepetések, az öh-k egy részének hiánya – röviden szólva – tud problémákat okozni. Gondos tervezés esetén persze mindez nem fordulhat elő.

Ha az első kép rendben van, elindulhat a sorozatgyártás. Ettől kezdve már hasznélvezői lehetünk a helyzetnek, nyugodtan nézelődhetünk egy második távcsővel, vagy csak gyönyörködhetünk az éjszaka látványában. Időszakosan ellenőrizzük a kamerán, hogy a felvételek továbbra is rendben vannak-e.

A DY Her felvételezését éjjel után változó felhősödés zavarta meg. Bár a képek továbbra is készültek, a feldolgozásnál mintegy félórai képsort teljesen ki kellett hagyni. Andrásnál a közeli fák takarása további akadályt képezett, így a teszt hossza végül nem érte el a változó egy ciklusának a hosszát. Bár a csonka fénygörbe nem túl elegáns, az összehasonlítást nem rontotta el. A felvétel-sorozatot 5 db sötétkép zárta.

## Feldolgozás

Mindketten az IRIS-t használtuk a kiértékeléshez. A kimérések előtt a képkorrekciók, majd a képek kidolgozása következett.

A feldolgozási műveletek:

– RAW képek transzformálása PIC formátumba

command: CONVERTRAW

– sötétkép, világoskép korrekciók

menü: PREPROCESSING

– RGB sávok kiegészítése teljes képpé (Bayer-mátrix hatásának eliminálása)

command: CFA2PIC

– képek fedésbe hozása

command: COREGISTER2

– Égi háttér levonása (előkészítés összegzéshez)

command: OFFSET2

– RGB sávok szeparálása önálló képekké

command: SPLIT\_RGB2

– Összegzések a jel-zaj viszony javítására

command: COPYADD

Levegőtömeg (air-mass) korrekciót nem végeztünk, sejtésem szerint a hibáink többszörösen felülmúlják a korrekció értékét.

A feldolgozáshoz előre elkészített ún. szkripteket célszerű futtatni, melyben az összes művelet lépésenként szerepel, csupán a képek számát kell aktualizálni. Mintaként a következő szkriptet tudom ajánlani mindenki figyelmébe:

```
-- elotte le kell futtatni preprocessing menubol
-- a bias, dark, flat korrekciókat.
-- a korrigalt kepek az ldc filekben vannak
----
```

```
cf2pic ldc ldr gb 220
setfindstar 5
setspline 1
coregister2 ldr gb ldreg 220
noffset2 ldreg ldregn 0 220
split_rgb2 ldregn r g b 220
copyadd r rsum2_220 2
copyadd g gsum2_220 2
copyadd b bsum2_220 2
```

Elgondolkodtató, hogy a futás 220 db kép esetén órákat vesz igénybe, helyigénye a 300D viszonylag kedvező RAW-file mérete esetén (6,5 M) legalább 40 GB, ha menet közben nem töröljük a használaton kívülre került képeket.

## Kiértékelés

Ezután megérkezünk az egész procedura rég várt lépéséhez, azaz a változó kiméréséhez. A páronkénti összegzés miatt 110 db 60 s-os kép állt rendelkezésre színenként. Juhász András képei nem voltak összegezve,

nála maradt a 30 s és színenként 78 db kép. Minden esetben apertúra fotometriát számoltunk 2-szeres félérték-szélesség átmérőben.

Összehasonlítóként az AAVSO 105-ös öh-ját használtuk, ellenőrző csillagnak a 103-ast választottuk. A diagramok már standardizált BVR fényességeket ábrázolnak.

Látható, hogy a zajtartalom különbözősége ellenére a görbék igen hasonlóak lettek. Ez egyszerű, látszik, hogy alapvető bajok nincsenek egyikünkénél sem. Azonban illik nagyon részletesen diszkutálni az eredményeket, ezért a következőkben sávonként összevetem a görbéket. Az összevetés nem is olyan egyszerű, mivel a két észlelő méréspontjai soha nem azonos időpillanatokhoz tartoznak. A következő eljárást választottam:

- Színenként polinomokat illesztettünk a mérési pontokra. A polinom fokszámát igyekeztünk kordában tartani.

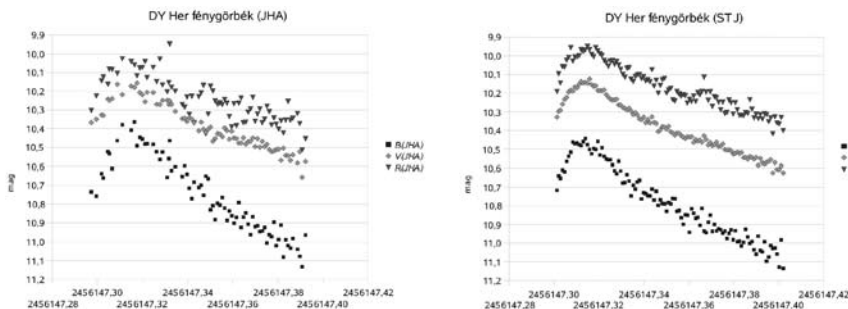
- A polinom együtthatók alapján teoretikus mérésgörbéket generáltunk egyenközü időpontokra.

- A teoretikus adatokból idősor,- és crossplot (eloszlás) diagramokat készítettünk sávonként.

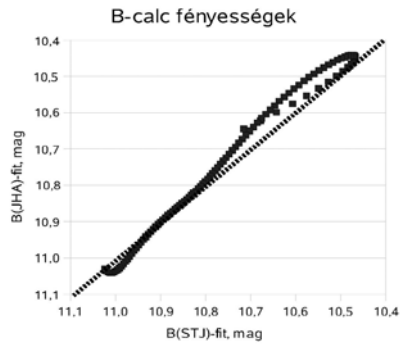
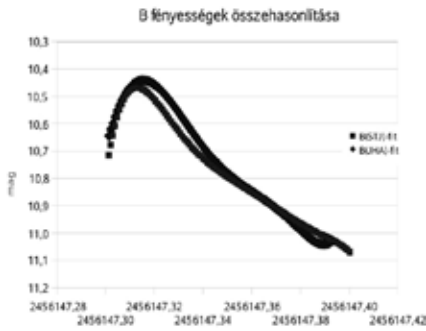
- Zajtartalom görbéket számoltunk teoretikus és mért pontok különbségéből.

A polinom fokszámát néhány kísérlet után hatodfokban állapítottuk meg. Efölött már nem javult az illesztés, felesleges lett volna a további növelés. A mellékelt diagramon a teoretikus B-fényességek láthatók.

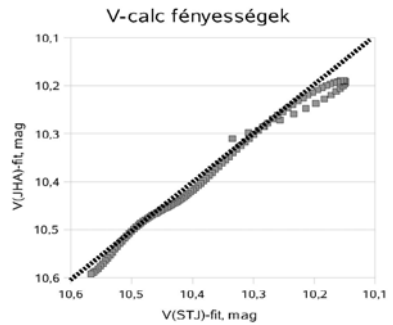
A bal oldali ábrán látható, hogy a görbék igen jól együtt futnak, az abszolút eltérések



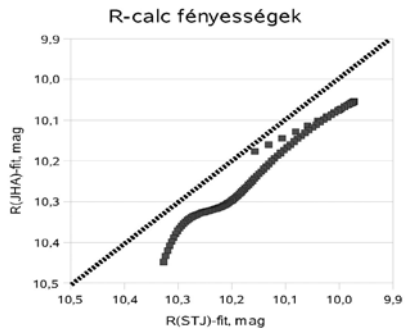
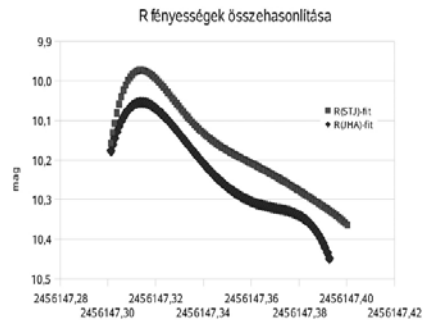
1. ábra. A DY Her fénygörbéje Tatáról (Jha) és Szentendréről (Stj)



2. ábra. B-sávú fényességek fénygörbéi (balra) és az észlelők adatainak összehasonlítása (jobbra)



3. ábra. V-sávú fényességek fénygörbéi (balra) és az észlelők adatainak összehasonlítása (jobbra)



4. ábra. R-sávú fényességek fénygörbéi (balra) és az észlelők adatainak összehasonlítása (jobbra)

legfeljebb 0,04–0,05 magnitúdónyiak. A jobb oldali eloszlás diagram már azt is megmutatja, hogy a tökéletesen azonos méréseket reprezentáló pontozott egyeneshez képest a két görbe tendenciózusan különbözik. Az

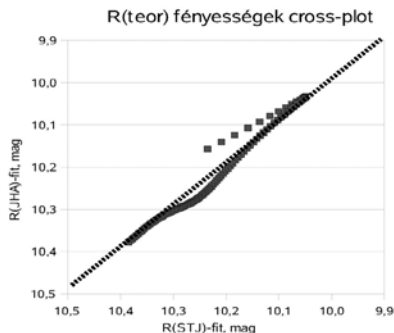
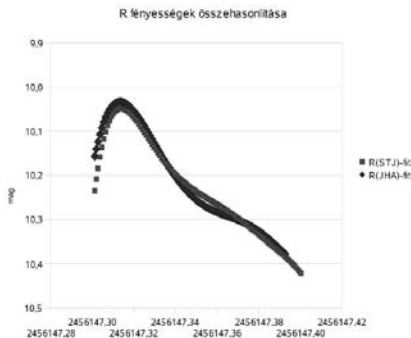
eltérés abból adódik, hogy JHA nagyobb amplitúdót határozott meg, mint STJ. A 10,8–10,9 magnitúdó táján a két görbe tökéletesen egyezik. Az átlagfényességek STJ=10,78 és JHA=10,74 magnitúdó, alig térnek el. Egy kis

fáziseltérés is felismerhető, de összességében nem rossz ez az eredmény.

A V-fényességek esetében láthatjuk, hogy a két görbe nagyrészt egymáson fut 0,01–0,02 magnitúdó differenciával, csak a fényesebb szakaszon van ettől több eltérés (3. ábra). A fáziseltérés is ugyanúgy jelentke-

– A korábbi észlelési adatsorokat a javított együttathókkal ismételtlen átszámítottuk standard magnitúdókra és megismételtük az összehasonlítást.

A javított diagramok közül helyhiány miatt csak a fontosabb eloszlásokat mutatjuk be (5. ábra).



5. ábra. R-sávu fényességek javított fénygörbéi (balra) és az észlelők adatainak összehasonlítása (jobbra)

zik. Az átlagfényességek szépen egyeznek, STJ=10,36, JHA=10,38 magnitúdó. Bármikor vállalhatók ezek az eredmények.

Az R-sáv „végre” valami alapvető eltérést produkált, mint a 4. ábrán látható. STJ fénymenete (alsó görbe) átlagosan 0,08 magnitúdóval fényesebbnek mutatja a változót, mint JHA. Bár a meredekség a cross-plot diagramon szinte tökéletesen identikus, a konstans eltolódás alaposan félreviszi az eloszlást. Továbbá JHA görbéje jobban hullámszik, mivel a nyers pontok szórása itt volt legrosszabb az összes mérés közül.

Természetesen a hibák okát fel kell tární és a fénygörbéket javítani kell. Nézetem szerint elegendő a standardizálás „háza táján” korrigálni a feldolgozásokat, ami végső soron néhány varázsszám megváltoztatásával megoldható. A következő eljárást csináltuk végig:

A lefotózott égterületeken lévő összes összehasonlítót, melynek mindhárom fényességadata ismert, kimértük, mintha változók lennének. Összesen 11 ilyen csillagot találtunk.

– Elkészítettünk új kalibrációs függvényeket a standardizáláshoz.

Ez igazán jól sikerült korrekció lett, ráadásul mindkét észlelő függetlenül dolgozott. Az együttathók újraszámolása meghozta az eredményt. Még nem tökéletesek, de közel állhatnak a valódi értékükhöz.

A teszt javított végeredménye ismét csak összefésült formában a 6. ábrán látható.

A kamerázás időadatainak helyességét is megvizsgáltuk a kismértékű fáziseltérés miatt. A polinomok segítségével kiszámoltuk a teoretikus görbéink maximum időpontját (2456147+):

$$B(STJ) = 0,31280 \quad V(STJ) = 0,31330$$

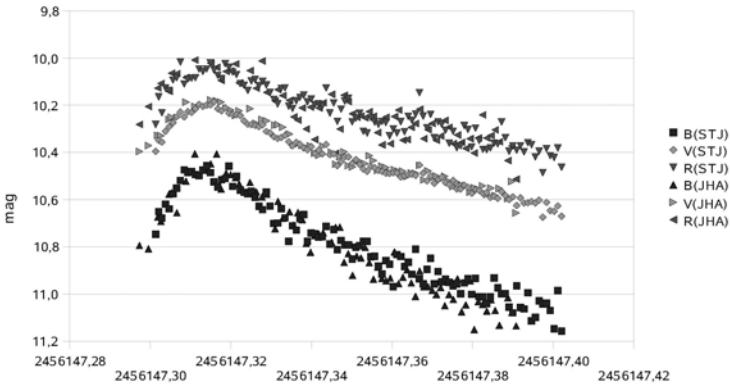
$$R(STJ) = 0,31385$$

$$B(JHA) = 0,31530 \quad V(JHA) = 0,31575$$

$$R(JHA) = 0,31410$$

Az eltérések átszámítva 3,5 perc körüliek, óriási differencia. Ennyivel el lett volna állítva egyikünk órája? Nehezen tudnánk elfogadni, és nem is valószínű. Pár másodperc óraállítási hiba esetleg elképzelhető, de semmi több. Gyorsan utánaszámoltam, az időmeghatározás hibája a méréspontok szórása miatt ugyanebbe a nagyságrendbe esik. Ez tehát véleményem szerint virtuális eltérés, jobb fénygörbéekkel közelebb kerülhettek volna az időpontok. Nem túl szívdertítő ez a

DY Her fénygörbék (STJ és JHA vegyesen)



6. ábra. A teszt javított végeredménye: az összefésült háromszín fénygörbék

körülmény. Ha pl. fény-idő effektus kimérése lett volna a cél, nagy gond lenne. Sokféle eltérésre számítottunk a teszt során, ilyenre nem. Azt hiszem, e téren sokkal jobban kell figyelniük a részletekre.

A tesztet a kis bizonytalanságok ellenére jobbnak tartom, mint amire előzetesen számítani mertem. Továbbá a kényeszerű javítás a fotometriai varázsszámokat pontosította, az eredményeink ettől minden trükközés nélkül sokkal jobban egyeznek. Természetesen látszik, hogy a korábbi megoldás csak Landolt-csillagok kimérése után állhat elő. Addig is értékeljük azt a rengeteg köztes adatot és eljárást, amely a végeredményhez vezetett.

Köszönöm Juhász Andrásnak aktív részvételét a tesztben, türelmét és kitartását a feldolgozás sokféle opciójának elvégzésében. Mi ketten már nyertesei lettünk ennek a „játéknak”.

Végül felajánlom minden tagtársam számára, hogy elkövetkezendő tesztjeinkben vegyenek részt. Elképzeléseim szerint időszakszerűen végeznék újbóli összemérést, melybe bevonnék olyan professzionális résztvevőt is, akinek adatait abszolút biztos referenciának tekinthetjük. Szép lenne, ha a magyar amatőrök jól ellenőrzött adatokkal járulhatnának hozzá a változócsillagászati észlelésekhez.

*Stickel János*

## Változócsillagok DSLR-fotometriája

Elkészült az AAVSO DSLR-fotometriai segédletének magyar fordítása. A segédlet letölthető honlapunk ([www.mcse.hu](http://www.mcse.hu)) észlelési ajánlatából.

A Magyar Csillagászati Egyesület tarjáni táborában 2008-ban elhangzott egy előadás, melyet Csák Balázs tartott a DSLR fényképezőgépek felhasználásáról a változócsillagok fotometriája területén. Ez már akkor felkeltette az érdeklődésemet a téma iránt, de aztán valamiért megfeledkeztem róla. Egészen a tavalyi évig, amikor is rábuk-

kantam a [www.citizensky.org](http://www.citizensky.org) oldalán egy DSLR fotometriai segédletre, ami ismét arra ösztönzött, hogy foglalkozzak a témával és elhatároztam, hogy lefordítom ezt a segédletet, hiszen sokan rendelkeznek ilyen vagy hasonló digitális fényképezőgéppel, talán a változócsillagok iránt is érdeklődnek, csak éppen magyarul nem volt a kezükben egy leírás, aminek alapján nekikezdhettek volna a változócsillagok fotometriájának. Ezt a hiányt remélhetőleg valamelyest betölti a most el készült fordítás.

*Perkó Zsolt*