SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
OPTIKAI ÉS KVANTUMELEKTRONIKAI TANSZÉK
CSILLAGÁSZ SZAK

DIPLOMAMUNKA

Galaktikus nyílthalmazok fotometriai vizsgálata

Készítette: Makai Zoltán, V. éves csillagász szakos hallgató
Témavezetők: Csák Balázs tudományos segédmunkatárs,
SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék
Dr. Vinkó József egyetemi docens,
SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

SZEGED, 2006

Jelen dolgozat a nyílthalmazok fotometriai vizsgálatával fog foglalkozni. Ahhoz, hogy megérthessük majd az eredményeket, először is bizonyos alapfogalmakat kell definiálni.

Az 1.1. fejezetben a nyílthalmazok legalapvetőbb tulajdonságait, valamint a hozzájuk kapcsolódó, igen fontos állapotdiagramot fogom ismertetni (1.2. és 1.2.1. fejezet). A 1.3. fejezetben tárgyalom azt, hogy milyen módszerekkel lehet a nyílthalmazok távolságát meghatározni és a 1.5. fejezetben fogom egy kicsit részletesebben bemutatni, hogy milyen csillagfejlődési modelleket használtam a munkám során arra, hogy a vizsgált nyílthalmazok egyes fizikai paramétereit meg lehessen határozni, illetve össze tudjam hasonlítani a különböző modelleket. Az objektumok kiválasztásának kritériumait és a használt műszereket a 2. fejezetben fogom ismertetni. A 3. fejezetben fogom tárgyalni azt, hogy milyen módszerekkel és lépésekkel lehet a csillagászati nyers képekből számunkra hasznos információkat kinyerni. Természetesen a hangsúly azon lesz, hogy az általam végzett munka során milyen lépéseket tettem, és azokat hogyan kiviteleztem.

Az ezt következő nagy fejezetben (4. fejezet) kerül sor az eredmények ismertetésére, figyelembe véve az eddigi, szakirodalomban meglévő adatokat is. Ezután az eredmények egy lehetséges magyarázata, konklúziója következik majd (5. fejezet).

A dolgozat végén természetesen az Összefoglalás, a Köszönetnyilvánítás, a felhasznált szakirodalom, valamint a Függelék van feltüntetve.

Kulcsszavak: nyílthalmaz, szín–fényesség diagram, szín–szín diagram, izokrón-illesztés, elméleti modellek, vörösödés, extinkció, fotometria.

Tartalomjegyzék

Bevezetés

A csillagászat egyik alapvető problémája az égi objektumok távolságának meghatározása, amely különböző módszerekkel történhet. A nyílthalmazok (többek között) azért érdekes objektumok, mert segítségükkel a különböző fotometriai távolságmérési módszereket lehet kalibrálni. Az egyik legelterjedtebb módszer az ún. izokrón-illesztéses eljárás, melynek eredménye függ az alkalmazott modellektől. A nyílthalmazok ezen kívül a Galaxis szerkezetének vizsgálatában is fontos szerepet játszanak. Munkám arra irányult, hogy minél több olyan nyílthalmazt vizsgáljak, amelyekről a szakirodalomban igen kevés vagy egyáltalán semmilyen adat nem áll rendelkezésre. A dolgozatban hét nyílthalmaz fotometriai vizsgálatát és annak eredményét mutatom be. Célként azt tűztem ki, hogy az egymástól független modellek segítségével minél több fizikai paramétert (távolság, kor, intersztelláris vörösödés) meghatározzak, illetve ilyen módon összehasonlítsam a modelleket.

A dolgozatban először alapfogalmakról lesz szó (a nyílthalmazok főbb jellemzői; HRD és szín–fényesség diagram, izokrón-illesztés. Ezek után saját megfigyeléseimet, azok feldolgozását, majd az alkalmazott csillag-modelleket mutatom be röviden, és legvégül pedig az alkalmazott távolságmérési eljárás eredményeit ismertetem.

1. A halmazok

1.1. A nyílthalmazok

A nyílthalmazok olyan fiatal csillag csoportosulások, melynek tagjai gravitációs kapcsolatban állnak egymással. Ezen objektumokat alkotó csillagok egy csillagkeletkezési régióban születnek és a térbeli mozgásuk is hasonló. A halmazok gravitációja azonban csak bizonyos ideig tudja összetartani a csillagokat, ezért a nyílthalmazok bizonyos idő elteltével általában szétbomlanak.

Ezekre a csillagcsoportokra jellemző, hogy a Tejútrendszer síkjában helyezkednek el, közel a spirálkarokhoz. Legtöbbjük $10^6 \dots 10^9$ évvel ezelőtt keletkezett, tehát fiatal, fémben gazdag, I. populációs csillagok alkotják. Ezt a fajta besorolást Walter Baade német-amerikai csillagász vezette be 1944-ben (Geddes és Grosset, 1995). Az átlagos fémtartalmuk ([Fe/H]) $\approx -0{,}7 - 0{,}3$ (Mardin, 2001). A nyílthalmazok szabálytalan alakú képződmények, a csillagok száma 10 és 5000 között van. A nyílthalmazok átmérői széles tartományban mozognak, az átlagméret kb. 10 pc, míg tömegük átlagosan $\overline{\mathfrak{M}} = 2 \times 10^3\ \mathfrak{M}_\odot$.

A nyílthalmazok osztályozása Shapley (Shapley, 1925) és Trumpler (Trumpler, 1929; Trumpler, 1931) nyomán a következő tulajdonságok alapján történik:

1. A centrális koncentráció illetve az égi háttérből való kiemelkedés mértéke szerint négy fokozatot lehet megkülönböztetni (I: feltűnően erős, ...), IV: gyenge, még éppen észlelhető).

2. A halmaztagok fényesség szerinti megoszlása szerint három változat lehetséges:

   - minden csillag közelítőleg egyforma fényrendű,
   - egy nagyobb fényességintervallumot nagyjából egyenletesen töltenek ki a halmaztagok,
   - néhány fényes csillag mellett a többiek viszonylag halványak.

3. A halmazok csillaggazdagságuk (N) szerint a következő csoportokba sorolhatóak:

   - P (poor = szegény): $N < 50$,
   - m (moderate = közepes): $50 \leq N < 100$,
   - r (rich = gazdag): $N \geq 100$.

A semleges hidrogéngáz sok halmazban kimutatható a 21 cm-es sugárzás segítségével. Mennyisége korrelál a halmaz korával. A fiatal halmazokban $\mathfrak{M}_H \approx \mathfrak{M}_*$ (ahol $\mathfrak{M}_*$ a halmazcsillagok össztömege), az idős halmazokban viszont intersztelláris hidrogén már nem mutatható ki (Marik, 1989). A halmazok többségének élettartama 10^8 és 10^9 év között van. A halmazok számát nehéz pontosan megbecsülni, mivel ezen halmazok a Galaxis síkjában vannak és az ott levő nagy mennyiségű fényelnyelő por szinte lehetetlenné teszi detektálásukat. Statisztikus módszerek segítségével a Tejútrendszerben található nyílthalmazok számát 15000-re becsülik, amelyből a katalogizáltak száma nagyjából 1200.

1. ábra. Az NGC 2194 jelű nyílthalmaz

1.2. A Hertzsprung–Russell diagram (HRD)

A csillagászatban alapvető fontosságú állapotdiagramot Einar Hertzsprung dán-holland és Henry Norris Russell amerikai csillagász fedezte fel. A diagram elkészítése 1905 és 1913 között történt. Eredetileg a vízszintes tengelyen a csillagok spektráltípusa volt feltüntetve, míg a függőleges tengelyen az abszolút fényesség (manapság már nem csak ezt a két állapotjelzőt szokták feltüntetni a tengelyek mentén). Az abszolút fényesség az a fényesség, amit akkor látnánk, ha a csillag 10 parszek (32,62 fényév) távolságra lenne. Az abszolút fényesség kiszámításához ismert távolságra levő csillagokat használtak. Ez fontos, mivel nem mindig lehetséges ennek meghatározása.

Legyen két csillagunk, melyek látszó fényessége egy adott λ hullámhosszon m_1 és m_2, és a róluk érkező fényintenzitás rendre I_1 és I_2. Ekkor fennáll, hogy:

$$m_1 = -2{,}5\log_{10} I_1 + B \tag{1}$$
$$m_2 = -2{,}5\log_{10} I_2 + B, \tag{2}$$

ahol B konstans. Ha kivonjuk egymásból a két egyenletet, akkor a következőt kapjuk:

$$m_1 - m_2 = -2{,}5 \log_{10} \frac{I_1}{I_2} \tag{3}$$

Másképpen:

$$\frac{I_1}{I_2} = 10^{-0{,}4(m_1 - m_2)} \tag{4}$$

Legyen egy csillag r távolságban, ahol a távolság parszekben van megadva. Ekkor (3)-hoz hasonlóan írhatjuk, hogy:

$$m - M = -2{,}5 \log_{10} \frac{I(r)}{I(10)}, \tag{5}$$

ahol m a csillag látszó fényessége, M pedig az abszolút fényesség. Felhasználjuk, hogy a Lambert-törvény értelmében az intenzitás arányos a távolság négyzetének reciprokával:

$$m - M = -2{,}5 \log_{10} \frac{1/r^2}{1/10^2} = -2{,}5 \log_{10} \left(\frac{10}{r}\right)^2 \tag{6}$$

Figyelemebe kell venni még egy fontos tényezőt, mielőtt egy ismert távolságú csillag abszolút magnitúdóját meg tudnánk mondani. Az égi objektumokról hozzánk érkező elektromágneses sugárzás a csillagközi térben szóródik és részben elnyelődik. Ezt a kombinált hatást nevezzük extinkciónak. A forrásnál $I_\lambda(0)$ intenzítású és λ hullámhosszú fény τ_λ optikai mélységű közegen áthaladva

$$I_\lambda = I_\lambda(0) \exp(-\tau_\lambda) \tag{7}$$

intezításúnak észlelhető. A τ_λ optikai mélység a megfigyelések szerint közel lineárisan változik a hullámhossz reciprokával, de függ a csillag spektráltípusától is:

$$\tau_\lambda = \frac{C}{\lambda} \tag{8}$$

A C együttható foglalja magában a színképtípustól való függést. A (8) összefüggés nagyjából a 300 nm $\leq \lambda \leq$ 2000 nm tartományon érvényes.

Az extinkció függ a szemcsék n_d térfogati sűrűségétől és geometriai keresztmetszetétől is, ami gömb alakú szemcséket feltételezve:

$$\sigma_d = \pi r_d^2 \tag{9}$$

Az extinkcós együttható:

$$\kappa_{ext} = Q_e(\lambda) \sigma_d n_d, \tag{10}$$

ahol $Q_e(\lambda)$ a szóródást és extinkciót magában foglaló extinkciós hatékonysági tényező. Az extinkció magnitúdóban kifejezve:

$$A_\lambda = -2{,}5 \log \frac{\mathcal{F}_\lambda}{\mathcal{F}_\lambda(0)} = 1{,}086 N_d Q_e \sigma_d, \tag{11}$$

ahol $\mathcal{F}_\lambda(0)$ a csillag extinkció nélküli fluxusa a földi megfigyelőnél, N_d az oszlopsűrűség. A gömb alakú szemcséken történő fényszórást és abszorpciót a Mie-féle elmélet tárgyalja.

Az A_λ abszorpció csökken a λ növekedésével. Az A_λ a teljes extinkció a λ hullámhosszon, és A_λ hullámhossztól való függése pedig a szelektív abszorpció. Mérjük meg két azonos spektráltípusú és luminozitási osztályú csillag $\Delta m(\lambda_1)$ és $\Delta m(\lambda_2)$ magnitúdókülönbségét a λ_1 és λ_2 hullámhosszakon. Mivel a két csillag spektruma közel azonos, a magnitúdókülönbségek csak a távolság és az extinkció különbségéből adódnak. Ha a magnitúdókülönbségeket kivonjuk egymásból, akkor a távolság hatása kiesik:

$$\Delta m(\lambda_2) - \Delta m(\lambda_1) = \Delta(A_{\lambda_2} - A_{\lambda_1}) \tag{12}$$

Ha az egyik csillagra $A_\lambda = 0$ (pl. nagyon közeli csillag), akkor a $A_{\lambda_2} - A_{\lambda_1}$ a két hullámhossz közötti $E(\lambda_1,\lambda_2)$ extinkciókülönbséget, színexcesszust adja. Ha $\lambda_2 = 5550$ Å valamint, ha $\lambda_1 = 4350$ Å (a V és B fotometriai sávok effektív hullámhosszai), akkor $E(\lambda_1,\lambda_2)$ éppen az $E(B-V)$ színexcesszus.

A teljes vizuális extinkciót A_V méri, azaz A_λ, ha $\lambda = 5550$ Å. A teljes és szelektív extinkció hányadosa az R_V mennyiség:

$$R_V = \frac{A_V}{E(B-V)} \tag{13}$$

Mivel a csillagközi por összetétele függ a környezettől, ezért az R_V értékek is különböznek ($\approx 1{,}6-6$). A csillagközi anyag fényre gyakorolt hatásáról többet is meg lehet tudni pl. az ELTE honlapjáról[1].

Ha mindezek után (6)-nál felhasználjuk a logaritmus-azonosságokat, és figyelembe veszszük a csillagközi extinkciót is, akkor végeredményül a következőt kapjuk:

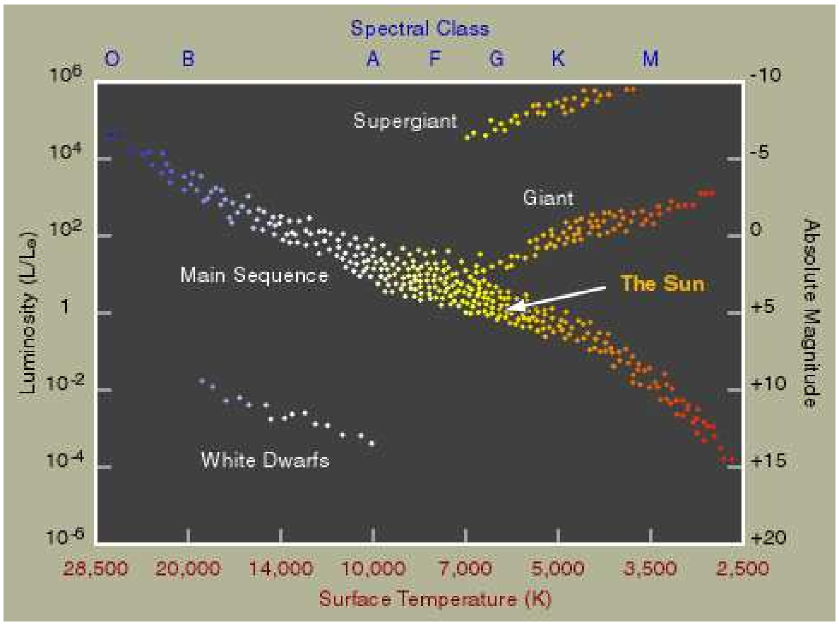
$$\boxed{m - M = -5 + 5\log_{10} r + A_v} \tag{14}$$

Az $m-M$-et nevezzük távolságmodulusnak. A (14)-es segítségével tehát ismert távolságú csillagra meg tudjuk mondani az abszolút fényességét.

Spektroszkópiai mérések segítségével lehet megállapítani a színképosztályt, amely öszszefüggésben van a csillagok felszíni hőmérsékletével. A főbb osztályok: O, B, A, F, G, K, M. Ezen kívül vannak még további osztályok is, pl.: L és T, amelyek az infravörös törpékre jellemzőek; R, N, S, melyek szén-csillagokra jellemzőek, és a W, amelyek az igen forró, emissziós *Wolf-Rayet csillagok*.

Korán felfedezték, hogy a HRD-n a közel azonos tulajdonságú csillagok kijelölnek bizonyos főbb ágakat. Ezeket később elnevezték aszerint, hogy milyen asztrofizikai csillag-

[1] http://astro.elte.hu/astr/hun/jegyzetek/Csillanyag_jegyzet



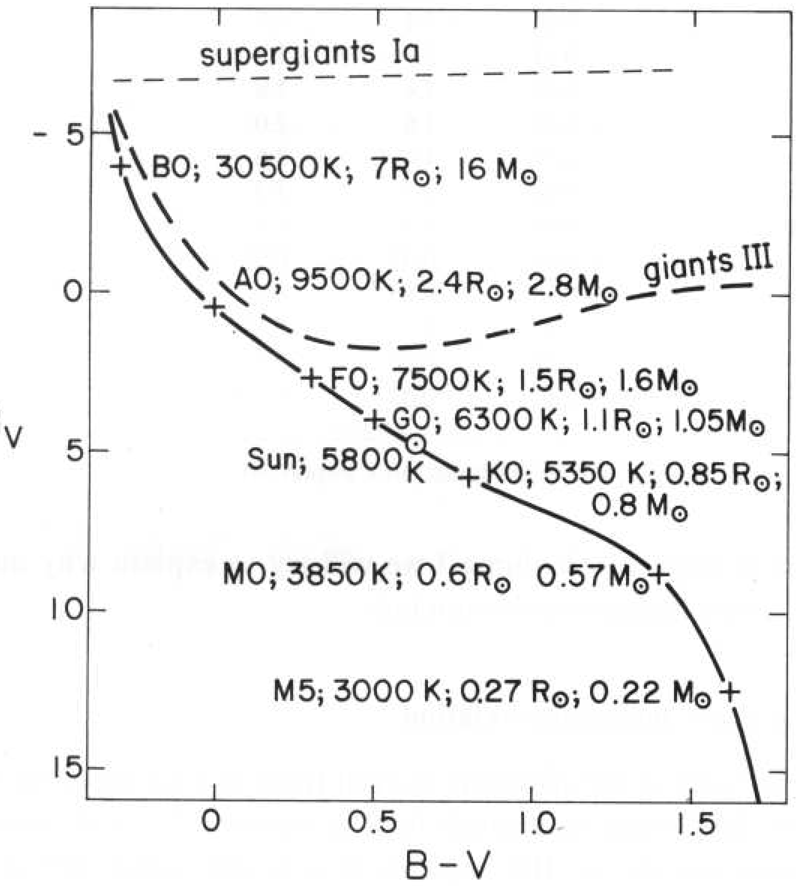
2. ábra. A Hertzsprung-Russell diagram

modellekkel lehet a legjobban leírni az ott tartozkodó csillagokat. Később arra is rájöttek, hogy a csillagok fejlődésük, életük során végigvonulnak a HRD ágain és az út, amelyet bejárnak, függ a csillag kezdeti tömegétől. Most következzenek a HRD főbb részei és az ott tartozkodó csillagokra jellemző belső tulajdonságok, röviden:

- Main Sequence (MS) = fősorozat. Ekkor a csillag magjában H-égés történik.
- Subgiant Branch (SB) = szubóriás-ág. A héjban H-égés van; a magban energiatermelés nincs és a sugárzási egyensúly nem áll fenn.
- Red Giant Branch (RGB) = vörös óriás-ág. H-égés a héjban, ekkor már a sugárzási egyensúly kialakult.
- Horizontal Branch (HB) = horizontális-ág. He-égés a magban és H-égés a héjban.
- Asymptotic Giant Branch (AGB) = aszimptotikus óriás-ág. C-, és O-égés a magban, He-égés + H-égés a héjban.

A HRD-nek több más, az eredetivel ekvivalens ábrázolása is lehetséges, amikor a tengelyeken a színképtípussal, ill. az abszolút fényességgel arányos mennyiségeket tüntetnek fel. Egyik gyakran használt forma a szín–fényesség diagram, amikor a vízszintes tengelyen a színindexet, míg a függőleges tengelyen a látszó magnitúdót tüntetik fel. Angolul ezt Color-Magnitude Diagram-nak, röviden CMD-nek nevezik. Tulajdonképpen a szín–fényesség diagram nem pontosan ugyanaz mint a HRD, azonban azzal topológiailag teljesen azonos értékű (Marik, 1989).

A 3. ábrán levő szín–fényesség diagramon a különböző színképtípusú, felszíni hőmérsékletű, sugarú és tömegű csillagok vannak feltüntetve. A folytonos vonal jelöli a fősorozatot. A vastagabb szaggatott vonal az óriáscsillagok helyét mutatja, míg a vékony szaggatott vonal a fényes szuperóriások által elfoglalt helyet jelöli ki (Böhm-Vitense, 1989).



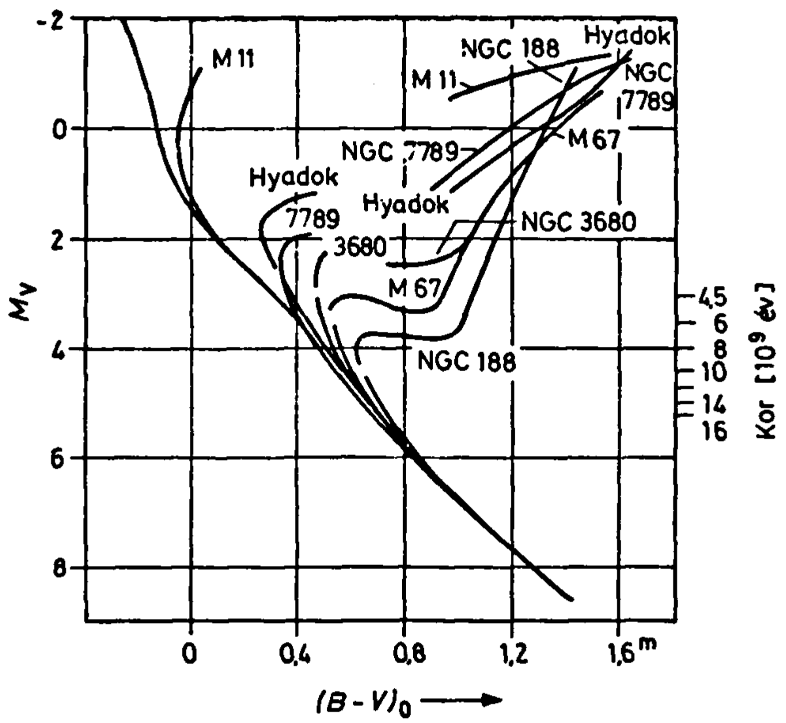
3. ábra. Csillagok CMD-je (Böhm-Vitense, 1989)

1.2.1. A nyílthalmazok CMD-je

Ha több nyílthalmaz szín–fényesség diagramját egy ábrán tüntetjük fel, akkor észrevehető, hogy a diagramon levő vonalak a fősorozattól különböző magasságokban kanyarodnak el köszönhetően annak, hogy a csillagok életkora más és más.

A 4. ábrán látható, hogy mindegyik ág egy közös főágba fut és a kis ágak különböző magasságokban (a fősorozaton) hozzásimulnak a főághoz.

Ezt a főágat nevezzük nulla-korú fősorozatnak (angolul Zero Age Main Sequence-nek, röviden ZAMS-nak). A kis ágak a fősorozathoz az ún. *turn off point*-ban csatlakoznak. Ez az elfordulási pont a halmaz koráról adhat felvilágosítást. Minél öregebb egy halmaz, az elkanyarodás annál nagyobb magnitúdó értéknél történik meg. A nagyon fiatal halmazok



4. ábra. Nyílthalmazok HRD-je (Marik, 1989)

csillagai még a fősorozaton tartózkodnak, így az ő HRD-jük szinte csak egy vonalból áll (a 4. ábrán ez az NGC 2362). Az ábrán példa egy öreg halmazra az NGC 188, amely már kb. 6^{m}-nál elfordul a ZAMS-tól. Ezeknél a halmazoknál megjelenik a vörös óriás ág (RGB). Ezt elválasztja – a nem túl idős halmazoknál – a fősorozattól az ún. Hertzsprung-űr. Ilyen halmaz például a Hyadok, amely a Taurus (Bika) csillagképben található. Ez az űr már nem látható a nagyon öreg halmazoknál (pl. NGC 188 vagy M 67). Ekkor az óriáság és az elfordulási pont között a szubóriás ág (SB) teremt kapcsolatot.

1.3. Távolságmérési módszerek

A Bevezetésben már szó volt arról, hogy a nyílthalmazok vizsgálatának segítségével bizonyos távolságmérési eljárások pontosíthatóak. Most röviden áttekintem, hogy milyen módszereket lehet használni arra, hogy egyes objektumok távolságát meg lehessen határozni. Természetesen a teljes és részletes tárgyalása ennek a témakörnek meghaladná ezen dolgozat terjedelmét.

A Tejútrendszerben alkalmazott eljárásokat három fő részre lehet osztani: geometriai, fotometriai és egyéb módszerek.

1. Geometriai távolságmérési módszerek:

- trigonometrikus parallaxis,
- szekuláris parallaxis,
- statisztikus parallaxis.

2. Fotometriai távolságmérési módszerek:

   - spektroszkópiai parallaxis,
   - pulzáló változók periódus-fényesség relációja (Cefeidák (I. és II. populációsak), RR Lyrae-k, Mirák),
   - kettőscsillagok fotometriája és spektroszópiája.

3. Egyéb módszerek:

   - intersztelláris abszorpciós vonalak ekvivalens szélességének vizsgálata,
   - általánosan elosztott csillagközi por által okozott elszíneződés.

1.4. Nyílthalmazok távolsága

A közelebbi nyílthalmazok távolságát meg tudjuk határozni parallaxissal is, azonban a távolabbi halmazok esetén már más módszerek válnak szükségessé. Lehet például alkalmazni a konvergenspont módszerét (ami egy geometriai eljárás), illetve lehet alkalmazni a izokrón-illesztést is (ez egy fotometriai módszer).

1.4.1. A konvergenspont-módszer

Ha a nyílthalmaz csillagainak sajátmozgását megfigyeljük, mozgóhalmazról beszélünk; ekkor sajátmozgás alapján meg tudjuk különböztetni a halmaz csillagait a háttér és előtércsillagoktól. Ha a halmaz elég nagy, akkor a halmaz sajátmozgásának perspektivikus torzulását is látjuk, így a sajátmozgások nem párhuzamosak lesznek, hanem egy jól meghatározható irányba, a konvergenspont felé mutatnak. Belátható, hogy a konvergenspont megfigyelt iránya pont a halmaz közös sajátmozgásának térbeli iránya lesz.

1.4.2. Izokrón-illesztés

A csillagászati objektumok – például a nyílthalmazok – fizikai tulajdonságairól két fő módszerrel tudhatunk meg többet: fotometriával és spektroszkópiával. Természetesen legjobb, ha egyszerre mindkét módon tudunk vizsgálatokat folytatni, azonban ez nem mindig valósulhat meg.

Jelen esetben csak fotometriai vizsgálatok történtek. A halmazok tulajdonságaihoz a nyílthalmaz fizikai paraméterein át vezet az út. Ilyen meghatározandó adatok: kor, távolság, intersztelláris vörösödés, a köztünk és a halmaz között levő csillagközi anyag fényelnyelése, látszó- és valódi átmérő, csillagsűrűség stb. Ezen paraméterek nagy részét elméleti modellek, úgynevezett izokrónok segítségével lehet megállapítani. Ezek olyan csillagmodellek, amelyekben a különböző korú, de ugyanolyan tömegű csillagok helyzete látható a szín–fényesség diagramon egy folytonos vonallal összekötve. Ezt a vonalat kell minél pontosabbn ráilleszteni a halmaz csillagai által kijelölt fősorozatra.

A modelleket különböző kezdeti fémtartalmakat feltételezve számolják ki, tehát megfelelően kell kiválasztani azt, hogy melyikkel is dolgozunk. Ez fontos, mivel az izokrónok alakja erősen függ a fémességtől. Én a szoláris fémességű izokrónokat használtam ($Z = 0{,}019$). Természetesen a világon több kutatócsoport is foglalkozik az izokrónok modellezésével. Az izokrónokat a legújabb megfigyelési eredmények, valamint a legfrissebb elméleti csillagmodellek figyelembe vételével teszik egyre pontosabbá.

Természetesen ennek a módszernek is vannak hibaforrásai, amelyeket nem lehet figyelmen kívül hagyni:

1. A csillagközi abszorpció meghatározásának hibája, amely terheli ezt a fotometriai módszert. Fiatal halmaz esetén az abszorpció több magnitúdóval is változhat csillagról csillagra, mivel lehet, hogy a szülő molekulafelhő még nem oszlott el.

2. Az előbb említett fémességfüggés, amely az izokrónokat vízszintes irányban tolhatja el.

3. Az izokrónok abszolút fényessége a közeli halmazok távolságmérésén alapul. Ha ezen nyílthalmazok távolságának értékét pontosítják, akkor az izokrón-illesztéses módszeren alapuló távolságmeghatározás is változhat.

Mindezek ellenére, ez a módszer a legelterjedtebb a halmazok távolságának meghatározására, mivel ez az eljárás nagyjából 7000 pc-ig használható.

1.5. Az alkalmazott elméleti modellek

Az egyik olyan kutatócsoportot, amely foglalkozik izokrónok fejlesztésével az olaszországi Osservatorio Astronomico di Padova (OAPd)[2]-ban találhatjuk meg. Az itt készült izokrón-családot nevezik PADOVA-izokrónoknak. Ebbe a családba tartozik a Bertelli-féle (Bertelli és mtsai., 1994) és a Girardi-féle (Girardi és mtsai., 2004) izokrónok, melyeket jelen dolgozatban felhasználtam. Ez utóbbi több modellt vett alapul: külön vette figyelembe az alacsony és közepes tömegű csillagok fejlődését (Girardi és mtsai., 2000), valamint a nagy tömegű csillagok evolúciós útvonalát (Bertelli és mtsai., 1994; Girardi és mtsai., 1996).

[2] http://pd.astro.it

Egy másik, nagyobb rendszert alkotnak a GENEVA-izokrónok. Ezt szokás még *svájci rendszernek* is nevezni, mivel ezek a modelleket a Svájcban található Geneva Observatory[3]-ban dolgozzák ki. Ebben az intézetben külön fotometriai rendszert is megalkottak (Nicolet, 1996), amely átkalibrálható a széles körben elterjedt Johnson-Cousins fotometriai rendszerbe. Ezen a modell-családon belül is több, különböző típusú izokrónokat fejlesztenek ki. Vannak olyanok, amelyeket csak két fajta fémességre számolnak ki, de a hélium-gyakoriságot jobban figyelembe veszik (Schaller és mtsai., 1996), illetve olyanok is vannak, amelyeket széles kortartományba eső halmazokra tesztelnek (Meynet, 1993).

Vannak olyan esetek is, amikor a fennt említett modell-családoktól külön fejlesztenek ki izokrónokat. Ilyenek például a Kenyon & Hartmann-féle (Kenyon és Hartmann, 1995) elméleti evolúciós útvonalak, amelyeket szintén használni fogok jelen dolgozatban. Ezen kívül még egy izokrón-családot felhasználtam, amelyet Franciaországban fejlesztettek ki (Siess és mtsai., 1997), de az alapja a svájci rendszer.

Összefoglalva tehát, a dolgozatban összesen négy különböző modellt fogok használni arra, hogy egymástól függetlenül meghatározzam a nyílthalmazok különböző fizikai paramétereit. Ezeket és a fotometriai vizsgálatok egyéb eredményeit a 4. fejezetben fogom tárgyalni, illetve közölni.

[3]http://unige.ch/sciences/astro

2. Objektumok kiválasztása, műszerek

2.1. Az objektumok kiválasztása

A 4. fejezetben részletesen tárgyalt nyílthalmazok olyan objektumok, amelyekről igen kevés adat állt rendelkezésre az egyes szakirodalmakban (lásd pl. 4.3. fejezet). Van a 4. fejezetben részletezett objektumok között olyan is, amelyről eddig még nem született semmilyen adat és ez az első eset, hogy fizikai paraméterek lettek meghatározva (lásd pl. 4.5. fejezet).

Természetesen az is szerepett játszott ezen nyílthalmazok kiválasztásában, hogy az év nagyobb részében, illetve az észlelés idején (lásd 2.2. fejezet) megfelelő égi pozicíókban legyenek, azaz az északi féltekéről jól látszódjanak.

További kritérium volt, hogy az észeleléshez használt teleszkóp műszaki paraméterei (2.2. fejezet) megfelelőek legyenek ezen nyílthalmazok megfigyelésére és képi rögzítésére. A 1. táblázat tartalmazza a kiválasztott nyílthalmazok katalógusbeli jelölését (IC[4], NGC[5]), az ekvatoriális koordinátákat (rektaszcenzió (α_{2000}), deklináció (δ_{2000})), a galaktikus koordinátákat (hosszúság (l), szélesség (b)). A 1. táblázatban szereplő értékeket a SIMBAD[6] nevű adatbázisból vettem.

Katalógusbeli jelölés	α_{2000} [$^{h\ m\ s}$]	δ_{2000} [$^\circ\ '\ ''$]	l [°]	b [°]
IC 1369	21 12 06	47 44 00	89 34 48	–00 25 12
IC 1442	22 16 30	54 03 00	101 21 36	–02 12 00
NGC 7296	22 28 01	52 18 48	101 52 48	–04 36 00
NGC 136	00 31 30	61 32 00	120 33 36	–01 15 00
NGC 6846	19 56 28,8	32 21 16	68 42 00	+01 55 12
NGC 7429	22 55 54	59 59 00	108 57 00	+00 17 24
NGC 743	01 58 42	60 11 00	131 12 36	–01 36 00

1. táblázat. A vizsgált nyílthalmazok koordinátái a SIMBAD alapján

2.2. A használt műszerek

A nyílthalmazokról 2003. szeptemberében (szept. 21. és szept. 22) készültek felvételek a MTA KTM CSKI Piszkéstetői Obszervatóriumának 60/90/180 cm-es Schmidt-távcsövével. Az obszervatórium a Mátrában található 937 méterrel a tengerszint felett. A távcsőre Photometrics AT-200 CCD-kamera volt felszerelve, amelyben egy KAF 1600-as chip foglalt helyet. A CCD-kamera látómezeje $29' \times 18'$. Ez egy viszonylag nagy látómezőt jelent (nagyjából fél fok), ami nyílthalmazok vizsgálatánál nagyon előnyös, hiszen a legtöbb halmaz viszonylag nagy területen helyezkedik el az égbolton. A KAF 1600-as chipben 9 μm-es pixelek vannak, összesen 1536×1024, így a felbontás 1.13 $''$/pixel.

[4]Index Catalogue
[5]New General Catalogue
[6]http://www.simbad.u-strasbg.fr

3. Az adatfeldolgozási eljárás

3.1. Alapkorrekciók

3.1.1. A nullszint korrekció

Mivel a CCD-detektor sem tökéletes, így a nyers képeken el kell végezni bizonyos korrekciós lépéseket, ha használható képeket szeretnénk. Ezek ismertetése következik most.

A redukciós eljárásokat az *IRAF*[7] nevű programmal végeztem, amelyet a National Optical Astronomical Observatory-ban fejlesztenek.

A bias-korrekció tulajdonképpen egy alapkép korrekció. A bias a chip alapjel-szintjére jellemző érték. Ha egy képet kiolvasunk és rögtön utána készítünk egy nulla integrációs idejű felvételt és azt kiolvassuk, akkor azt tapasztaljuk, hogy egyes pixelek kis mértékű jellel rendelkeznek. Bias-korrekciónál érdemes több bias-képet készíteni és azokat átlagolni. A bias-kép átlagolásához használt taszkok: `noao.imred.ccdred.zerocombine`.

A bias-korrekciónál lényeges, hogy minden képből ki kell vonni az átlagolt bias-képet. A bias-korrekciót a `noao.imred.ccdred.ccdproc` taszkkal végeztem.

3.1.2. A sötétáram korrekció

Ha nem elég alacsony a kamera sötétárama (dark-szintje), akkor kell elvégezni a dark-korrekciót. A sötétáram oka, hogy a hőmozgás miatt a chipeket alkotó félvezetőkből akkor is kiléphetnek elektronok, ha a kamerát nem éri fény. Minél nagyobb a hőmérséklet, annál több elektron szabadulhat ki a rácsszerkezetből. Valójában a sötétáram a hőmérséklettel a következő függvény szerint változik (Buil, 1991):

$$S = A\sqrt{T^3}\exp(-V_g q_e/(2kT)), \tag{15}$$

ahol T a hőmérséklet Kelvinben, V_g a lyuk-feszültség, q_e az elektron elemi töltése, k a Boltzmann-állandó, A pedig egy konstans. Tehát minél „melegebb” a kamera, annál nagyobb lesz a sötétáram. A CCD-kamera megfelelő hűtésével a sötétáram lecsökkenthető.

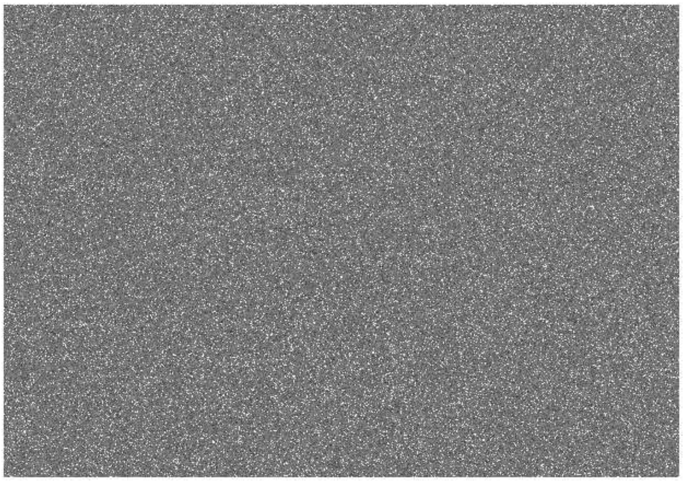
A sötétkép a fentiek miatt egy, a korrigálandó képpel azonos integrációs idővel és ugyanazon hőmérsékleten készített kép, azzal a különbséggel, hogy ez a kép megvilágítás nélkül készül. A dark-korrekció során a termikus hatásokból eredő jeleket pixelenként kivonjuk az objektumkép pixeleiből:

$$I'(x,y) = I(x,y) - \frac{\sum_{p=1}^{M} D_p(x,y)}{M} \tag{16}$$

Az (x,y)-ok a pixel-koordinátákat jelölik, I a nyers kép, D_p a sötétkép. Az átlagolásra azért van szükség, mert így javul a jel/zaj (S/N) arány.

[7] http://iraf.noao.edu

A piszkéstetői kamerának (amelyet egy kétfokozatú, vízhűtéses Peltier-elem hűt le) a sötétárama 0,009 elektron/pixel/s, T = –40°C-nál. Így ezt a korrekciót el kellett végezni, amit az IRAF-on belül a következő taszkkal tettem meg: `noao.imred.ccdred.darkcombine`.



5. ábra. Egy átlagolt dark-kép

Fontos: a dark-korrekciót szintén minden képre meg kell csinálni, tehát a flat-képekre is. A korrigálandó képekből való sötétkép-levonásnál ugyanazt a taszkot kell használni, mint a bias esetén is, azaz: `noao.imred.ccdred.ccdproc`.

3.1.3. A flat-korrekció

További hibaforrásként jelennek meg az optikai leképező rendszeren levő szennyeződések, a pixelek különböző érzékenysége és az optikai beállítás hibái. Az ezek által keletkező struktúrák zavaró tényezők, mivel nem a csillagászati objektum okozza és a pixelek intenzitását szintén befolyásolja. Ezen hamis struktúrák jól láthatóvá válnak, ha olyan felvételt készítünk (világosképet (flat-képet)), amely egy egyenletesen kivilágított területről készül.

Általában a távcsövek kupolájában el van helyezve a falon egy fehér ernyő, amelyre ráállítva a teleszkópot képeket készíthetünk (dome-flat). Az ernyő egyenletes kivilágítása azonban eléggé nehézkes, főleg a nagylátószögű távcsöveknél (pl. a Schmidt-távcsőnél), így a gyakorlatban az esti és reggeli szürkületi égboltról szoktak felvételeket készíteni (sky-flat). Az ilyen égbolt eléggé homogén (legalábbis a Naptól távol eső területeken) és ekkor még/már a csillagok is alig látszanak. Mivel a porszemektől és szennyeződésektől kialakuló struktúrák a fény hullámhosszától függően különböző alakúak lesznek és mindegyik szűrőn lehetnek koszok, ezért ha több szűrővel készítünk képeket, akkor a flat-képeknek is több szűrővel kell készülniük. Ha elkészülnek a flat-képek, akkor azokból is le kell vonni a dark-képet, azaz hasonlóan (16)-hoz:

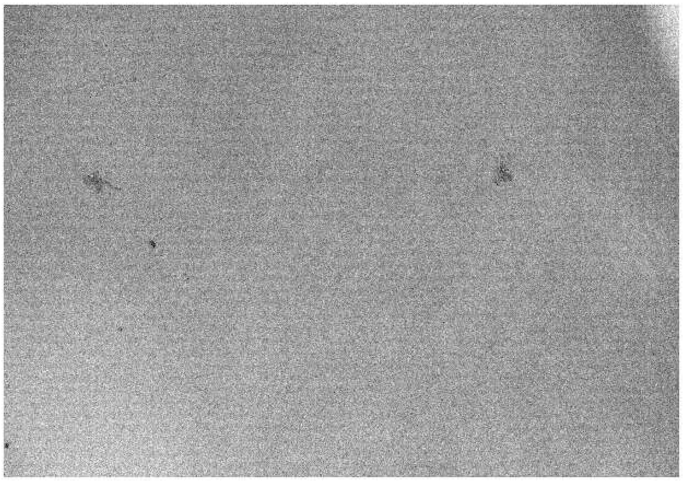
$$F'(x,y) = F(x,y) - \frac{\sum_{p=1}^{M} D_p(x,y)}{M} \tag{17}$$

A dark-korrekción átesett képet (F') 1-re kell normálni. Ez azt jelenti, hogy a pixelek átlagértékét 1-nek választjuk. A többi pixel fényességét ehhez arányítjuk és így azok 1 körüli értéket vesznek fel. Ezzel az 1-re normált flat-képpel kell leosztani a korrigálandó képeket:

$$I''(x,y) = \frac{I'(x,y)}{F'(x,y)} < F'(x,y) >, \tag{18}$$

ahol <F'(x,y)> a flat-kép számtani közepe.

A világosképeket is szűrőnként átlagolni kell úgy, hogy az azonos átlagszintre hozott flat-képek mediánját vesszük. Ezzel az esetlegesen képre került csillagok eltűnnek és javul az S/N arány is. Az ehhez szükséges lépések: `noao.imred.ccdred.flatcombine`.



6. ábra. Egy átlagolt flat-kép

Ezután a sötétképpel korrigált átlagolt flat-képpel le kell osztani a szintén dark-korrigált objektumképet. A normálást és a flat-korrekciót szintén a `ccdproc` nevű task segítségével lehet elvégezni: `noao.imred.ccdred.ccdproc`.

3.1.4. A kozmikus sugár korrekció

A kozmikus sugarak nagy energiájú részecskék, amelyek az égbolt egész területéről érkeznek és szinte akadálytalanul jutnak a detektorokba. Azokon a kamerákon, melyeken áthaladnak, sokszor több száz vagy ezer elektront is kiválthatnak. A kiolvasott képeken nagy kontraszttal emelkednek ki a kozmikus sugarak. A zajtól a nagy intenzitás különbözteti meg őket.

Hasonlóan az eddigiekhez, több csomagon át lehet eljutni a korrekciót végző taszkhoz: `noao.imred.crutil.cosmicrays`. Ezt a programot érdemes mindenképpen interaktívan futtatni. Figyelni kell arra, hogy ne legyen nagyon magas az alapszint, mert sok információ elveszhet.

Érdemes a korrekciót iteratív módon elvégezni, mert elsőre nem valószínű, hogy a lehető legtöbb kozmikus sugarat sikerült törölni. Vigyázni kell azonban arra, hogy az iterációs lépések száma ne legyen sok, mert az szintén információ vesztéssel jár (én kétszer végeztem el a képeimen a korrekciót). Befejezésül két kép: a 7. ábrán a nyers kép, mellette pedig az alapkorrekciókon (bias-, dark-, flat-korrekció és kozmikus sugár korrekció) átesett kép van.

7. ábra. Az NGC 136 egyik nyers R-szűrős, illetve alapkorrekciókon átesett képe

3.2. A képek összetolása

A távcsövek általában rendelkeznek órageppel, amelyek segítségével kompenzálható a Föld forgása, így az objektumot végig követi a távcső. Azonban a követés nem teljesen pontos, ezért a csillagok egy kicsit más pozícióban lesznek képről-képre.

Több módon is eljárhatunk a képek összetolásánál. Az egyik mód az, hogy ki kell választani egy referenciaképet, és ehhez a képhez toljuk hozzá a többi képet, így a csillagok minden képen ugyanazon a pixel-koordinátán lesznek. Ezt megtehetjük az `imalign` nevű taszk segítségével. A taskot bármelyik programcsomagból meghívhatjuk, de a pontos elérési útvonal: `images.immatch.imalign`.

Egy másik képösszetolási task az `imshift`. Ez szintén elérhető mindenhonnan az IRAF-on belül, de ennek is van pontos helye: `images.imgeom.imshift`. A kettő között a különbség, hogy az `imalign` a megadott referencia csillagok segítségével illeszti a legpontosabb x, y eltolás értékeket, majd ezen adatokkal csúsztatja el a képeket, míg az `imshift` csak a megadott értékkel tolja el a képeket. Egy további alternatíva a `geotran` és `geomap` használata, amellyel sok geometriai transzformációt lehet elvégezni.

3.3. Csillagkeresés (DAOFIND)

A csillagkeresést az IRAF-on belül a `daofind` nevű taszk segítségével lehet megtenni: `noao.digiphot.daophot.daofind`. Itt már több beállítandó adat van (pl. félértékszélesség, szórás). Ezeket fontos jól beállítani, mivel fotometriánál az itt beállított értékekkel kell dolgozni. A képek hátterét és a csillagok félértékszélességét meghatározhatjuk több módon is. Én úgy csináltam, hogy egy szkript segítségével beadtam az összes képet az `imexamine` nevű taszknak, melyet elérhetünk minden programból: `images.tv.imexamine`.

Azt, hogy mennyire állítottuk be jól az értékeket és így mennyi csillagot talált meg a program, a `tvmark` task segítségével tudjuk leellenőrizni. A `tvmark` is elérhető bárhonnan: `images.tv.tvmark`.

3.4. Fotometria

3.4.1. Az apertúra-fotometria (PHOT)

Apertúra-fotometriánál lényeges, hogy jól állítsuk be a bemenő paramétereket, mert az itt kapott adatok lesznek a PSF-fotometria kezdeti bemenő paraméterei. Itt a lényeg az, hogy az egyes csillagprofilokon belüli pixelek intenzitását tekintjük a csillag fényességének. Kényes kérdés az apertúra nagyságának helyes megválasztása. A cél az, hogy minél kisebb apertúraméret mellett a lehető legtöbb fényt kinyerjük. Ezt egy körgyűrű segítségével tesszük meg. Az apertúra összefüggésben van a csillag félértékszélességével is: minél nagyobb a félértékszélesség, annál nagyobbnak kell választani az apertúrát, és fordítva. Ezért jó, ha több csillag félértékszélességének átlagát vesszük.

Az apertúra-fotometria elérési útja az IRAF-ban: `noao.digiphot.apphot.phot`. A `phot` taszk megtalálható még a következő helyen is: `noao.digiphot.daophot.phot`.

Mivel a félértékszélesség, háttér és egyéb paraméterek képenként változnak, ezért minden egyes képre külön be kell ezeket állítani. Én ezt egy szkript segítségével tettem meg. A végeredményül létrejövő fájlokban rengeteg adat van, többek között a csillag apertúra-fotometriával meghatározott instrumentális fényessége. Azért instrumentális, mert ez mindig az adott eljárás során kapott egyedi, másokéval nem összeegyeztethető magnitúdó-érték. Azért van így, mert ez az érték függ az adott detektor spektrális érzékenységétől, a távcső spektrális áteresztésétől, a légköri viszonyoktól stb. Ha a vizsgált csillagmező sűrű, akkor ez az eljárás már nem jó, mivel az egyes csillagprofilok egymásba érhetnek és ilyenkor nem lehet megállapítani az apertúra méretét. Ekkor kell használni a PSF-fotometriát.

3.4.2. Csillagok kiválasztása a PSF-hez (PSTSELECT)

Ahhoz, hogy a PSF-fotometriát el tudjuk végezni az összes csillagra, ahhoz ki kell választani egy képen bizonyos csillagokat, amelyekre külön meg kell csinálni a PSF-fotometriát. Később ezek segítségével lehet elvégezni a többi képen levő összes csillagra az eljárást. A PSF-csillagok kiválasztására a `pstselect` nevű task alkalmas, melynek elérési útvonala: `noao.digiphot.daophot.pstselect`. Lényeges, hogy minél több csillagot válasszunk ki a kép különböző pontjairól (én 60 darabot választottam ki). A programot az első képre érdemes interaktívan futtatni, mivel így mi választhatjuk ki a csillagokat.

Ha sikerült az egyik képre a válogatás, akkor a többi képre is meg kell tenni. Figyelni kell azonban arra, hogy itt is képenként kell beállítani a megfelelő paramétereket. Itt is egy szkript segítségével oldottam meg a problémát. A program futásának eredményeképpen létrejön egy fájl, amely tartalmazza a PSF-csillagok listáját, amelyet majd a PSF-nél kell megadni, mint bemenő paramétert.

3.4.3. A PSF-fotometria (PSF)

A PSF jelentése: Point Spread Function, azaz pont-kiszélesedési függvény. Ez egy csillagra (pontosabban egy pontszerű objektumra) vonatkoztatott átviteli függvény. Ez légkörön kívüli esetben egy Airy-féle elhajlási korong, amelyet azonban a légköri turbulenciák torzítanak. Ezért a csillagokra illeszteni kell egy függvény forgatásával nyert felületet. A forgatott profil (Gauss, Lorentz, Moffat stb.) csupán az analitikus tagja a PSF-nek. A leképezési hibák miatt azonban ez a profil aszimmetrikusan, nem analitikus módon is torzul, és ennek a torzulásnak sokszor van helyfüggése is. A PSF-taszk az analitikus, empirikus és helyfüggő PSF-et és PSF-változást is illeszti. Én analitikus tagnak a Moffat-függvényt választottam, míg az empirikus részt másodrendben illesztettem. A PSF-taszk elérései útvonala az IRAF-on belül: `noao.digiphot.daophot.psf`. Érdemes először egy képre megcsinálni a fotometriát. Hasonlóan az eddigiekhez, minden képre át kell írni a megfelelő paramétereket. Ezt szintén egy szkripttel csináltam meg.

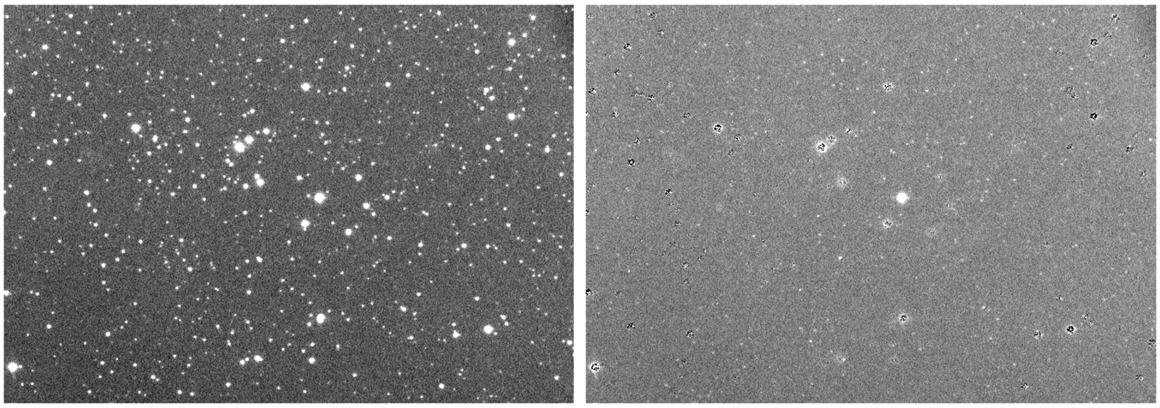
3.4.4. Az ALLSTAR és az adatok kinyerése (TXDUMP)

Az összes képre és az azokon található csillagokra az `allstar` nevű taszk segítségével lehet a kiszámolt PSF-eket megilleszteni: `noao.digiphot.daophot.allstar`. A program több iterációval számol és közben csoportosítja a csillagokat is. A kiszámolt magnitúdókat, az illesztés hibáját, az iterációs lépéseket stb. kiírja egy fájlba. Azokat a csillagokat, amelyekre nem tudott illeszteni és így nem lehetett meghatározni magnitúdó-értéket, kiválogatja egy másik fájlba. Az, hogy mennyire volt jó a beállítás, az most derül ki. Ugyanis a program létrehoz egy *.sub.1.fits kiterjesztésű fájlt, amely tulajdonképpen ugyanaz, mint az eredeti kép annyi különbséggel, hogy erről le vannak vonva az illesztett PSF-ek. Ha a kapott *subimage* közelítően homogén, azaz nincsenek rajta csillagok, akkor jól lettek megadva a bemenő paraméterek (8. ábra).

Az eddigiekben kapott adatfájlokból számunkra nem mindegyik adat kell. A halmazok szín–fényesség diagramjához szükséges adatokat a `txdump` nevű taszkkal nyerhetjük ki: `noao.digiphot.ptools.txdump`.

3.5. Extinkciós korrekció, standard transzformáció

Észrevehető derült éjszakákon, hogy a csillagok fénye egyre halványabb és vörösebb, ahogy haladunk a horizont felé. Mindkettő jelenségért a földi légkör tehető felelőssé. Plánparalel közelítésben a légköri fényelnyelés az $1/(\cos Z)$ mennyiséggel arányosan változna,



8. ábra. Az NGC 7429 egyik R-szűrős képe a PSF levonása előtt, és után

ahol Z a zenittávolság szöge. Az $1/(\cos\ Z)$-t $\sec\ Z$-nek szokás rövidíteni. Ennek értékét a következőképpen lehet meghatározni (Cooper és Walker, 1994):

$$\sec\ Z = \frac{1}{(\sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos h)} \tag{19}$$

A (19)-ben φ a megfigyelési hely földrajzi szélessége, δ a csillag deklinációja, h pedig az óraszög. Az elnyelés tényleges értéke függ az obszervatórium tengerszint feletti magasságától és az légkör pillanatnyi állapotától is. A plánparalel közelítést elhagyva a pontosabb értéket Bemporad számolta ki:

$$X = \sec\ z - 0{,}0018167(\sec\ z - 1) - 0{,}002875(\sec\ z - 1)^2 - 0{,}0008083(\sec\ z - 1)^3 \tag{20}$$

A (20)-ban z a látszó, nem pedig a valódi zenittávolság. Elsőrendű közelítésben az extinkciós korrekciók alakja (Henden és Kaitchuk, 1982):

$$v_0 = v - k'_v X \tag{21}$$

$$(b-v)_0 = (b-v) - k'_{bv} X \tag{22}$$

$$(v-r)_0 = (v-r) - k'_{vr} X \tag{23}$$

$$(v-i)_0 = (v-i) - k'_{vi} X, \tag{24}$$

ahol X a levegőtömeg, a k'-k az extinkciós együtthatók, míg az index nélküli b,v,r,i mennyiségek az instrumentális magnitúdók. Az egyenletek bal oldalán levő 0-s indexű tagok az extinkcióra korrigált értékek. Ezek azt mutatják meg, hogy milyen fényes lenne a csillag, ha nem lenne légkör. Ezek az egyenletek valójában tartalmaznak k''-s másodrendű tagokat is, azonban ezek értéke nagyon kicsi, így elég az elsőrendűeket figyelembe venni. Ahhoz, hogy mások méréseivel is össze lehessen egyeztetni a saját méréseinket, az szükséges, hogy egy nemzetközi standard rendszerbe átszámoljuk a kapott instrumentális magnitúdókat. E rendszernek az alappontjai ismert fényességű csillagok, ezeket nevezik *standard csillagok*nak. A standard rendszerbe való átszámoláshoz alkalmazott egyenletek:

$$V = v_0 + \varepsilon_{BV}(B-V) + \xi_V \tag{25}$$

$$(B-V) = \mu(b-v)_0 + \xi_{BV} \tag{26}$$

$$(V-R) = \nu(v-r)_0 + \xi_{VR} \tag{27}$$

$$(V-I) = \eta(v-i)_0 + \xi_{VI} \tag{28}$$

Az ismert fényességű csillagok adatainak segítségével meghatározhatóak az ún. távcsőkonstansok (ε_{VR}, μ, ν, η), majd ezek segítségével a halmaz összes ismeretlen fényességű csillagára megkaphatjuk az ő standard értékeiket (B,V,R,I).

Én a távcsőkonstansokat és extinkciós együtthatókat mindkét estére vonatkozóan egyenes-illesztéssel határoztam meg.

A (21) egyenlet átrendezésével a következő írható:

$$v = v_0 + k'_v X \tag{29}$$

Ezt az egyenletet minden szűrőre és standard csillagra felírtam, végül a hat standard csillagra kapott együtthatókat átlagoltam. Miután megkaptam a 0-s tagokat szűrőnként, képeztem a standard transzformációs egyenleteket, melyek segítségével meg lehet kapni a távcsőkonstansokat. A (22)–(24)-es egyenletek esetén a 0-s indexű színindexek függvényében kell ábrázolni a standard színindexeket. A (21)-es egyenletet átrendezve kapjuk:

$$V - v_0 = \varepsilon_{BV}(B-V) + \xi_V \tag{30}$$

A két különböző éjszakára kapott távcsőkonstansokat átlagoltam és így egy fix meredekségű egyenest illesztettem a pontokra, ezzel is pontosítva a zéruspontokat, amelyek éjszakáról-éjszakára változnak. A standard csillagokat a *Landolt-katalógusból* [8] vettem . A szerző több katalógust is összeállított (Landolt, 1983; Landolt, 1992). Az általam használt standard csillagok a $SA-114$-es mezőben foglaltak helyet (Landolt, 1973). A csillagok irodalmi adatait, illetve az általam apertúra-fotometriával számolt, extinkcióra korrigált instrumentális magnitúdó értékeket (0-s tagok) a 2. és a 3. táblázat tartalmazza.

A 4. táblázat tartalmazza a szeptember 21-ére vonatkozó átlagolt extinkciós együtthatókat, illetve a meghatározott távcsőkonstansokat a zéruspontokkal, míg a 5. táblázat a szeptember 22-ére érvényeseket.

A két éjszakára meghatározott távcsőkonstansok átlagai és az azok segítségével meghatározott zéruspontok az 6. táblázatban találhatóak meg.

[8] http://www.cfht.hawaii.edu/ObsInfo/Standards/Landolt

Csillag száma	V	$(B-V)$	$(V-R)$	$(V-I)$	v_0	$(b-v)_0$	$(v-r)_0$	$(v-i)_0$
548	$11\overset{\mathrm{m}}{,}60$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}362$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}738$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}387$	$16\overset{\mathrm{m}}{,}720$	$2\overset{\mathrm{m}}{,}265$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}820$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}087$
654	$11\overset{\mathrm{m}}{,}83$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}656$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}368$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}711$	$17\overset{\mathrm{m}}{,}011$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}596$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}480$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}433$
656	$12\overset{\mathrm{m}}{,}64$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}965$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}547$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}051$	$17\overset{\mathrm{m}}{,}782$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}891$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}640$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}771$
670	$11\overset{\mathrm{m}}{,}10$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}206$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}645$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}208$	$16\overset{\mathrm{m}}{,}233$	$2\overset{\mathrm{m}}{,}118$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}737$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}923$
750	$11\overset{\mathrm{m}}{,}92$	$-0\overset{\mathrm{m}}{,}041$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}027$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}011$	$17\overset{\mathrm{m}}{,}126$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}937$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}139$	$-0\overset{\mathrm{m}}{,}224$

2. táblázat. A standard csillagok adatai 2003. 09. 21-én

Csillag száma	V	$(B-V)$	$(V-R)$	$(V-I)$	v_0	$(b-v)_0$	$(v-r)_0$	$(v-i)_0$
548	$11\overset{\mathrm{m}}{,}60$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}362$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}738$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}387$	$16\overset{\mathrm{m}}{,}891$	$2\overset{\mathrm{m}}{,}243$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}821$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}165$
654	$11\overset{\mathrm{m}}{,}83$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}656$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}368$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}711$	$17\overset{\mathrm{m}}{,}181$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}583$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}476$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}518$
656	$12\overset{\mathrm{m}}{,}64$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}965$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}547$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}051$	$17\overset{\mathrm{m}}{,}953$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}876$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}647$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}844$
670	$11\overset{\mathrm{m}}{,}10$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}206$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}645$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}208$	$16\overset{\mathrm{m}}{,}403$	$2\overset{\mathrm{m}}{,}088$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}739$	$1\overset{\mathrm{m}}{,}008$
750	$11\overset{\mathrm{m}}{,}92$	$-0\overset{\mathrm{m}}{,}041$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}027$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}011$	$17\overset{\mathrm{m}}{,}279$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}931$	$0\overset{\mathrm{m}}{,}147$	$-0\overset{\mathrm{m}}{,}147$

3. táblázat. A standard csillagok adatai 2003. 09. 22-én

Ext. együtthatók ($\pm$ hiba)	Táv. konst. ($\pm$ hiba)	Zéruspontok ($\pm$ hiba)
$\overline{k_b} = 0{,}1622 \pm 0{,}0560$	$\nu = 1{,}044 \pm 0{,}013$	$\xi_{vr} = 0{,}249 \pm 0{,}005$
$\overline{k_i} = 0{,}0776 \pm 0{,}0902$	$\eta = 1{,}045 \pm 0{,}006$	$\xi_{vi} = 0{,}123 \pm 0{,}008$
$\overline{k_r} = 0{,}1264 \pm 0{,}0232$	$\mu = 1{,}056 \pm 0{,}013$	$\xi_{bv} = -1{,}030 \pm 0{,}001$
$\overline{k_v} = 0{,}1372 \pm 0{,}0220$	$\varepsilon_{bv} = 0{,}063 \pm 0{,}008$	$\xi_v = -5{,}209 \pm 0{,}008$

4. táblázat. A meghatározott együtthatók és konstansok 2003. 09. 21-én

Ext. együtthatók ($\pm$ hiba)	Táv. konst. ($\pm$ hiba)	Zéruspontok ($\pm$ hiba)
$\overline{k_b} = 0{,}076 \pm 0{,}005$	$\nu = 1{,}051 \pm 0{,}008$	$\xi_{vr} = -0{,}900 \pm 0{,}005$
$\overline{k_i} = 0{,}020 \pm 0{,}002$	$\eta = 1{,}044 \pm 0{,}007$	$\xi_{vi} = 0{,}166 \pm 0{,}006$
$\overline{k_r} = 0{,}028 \pm 0{,}002$	$\mu = 1{,}072 \pm 0{,}006$	$\xi_{bv} = -1{,}040 \pm 0{,}005$
$\overline{k_v} = 0{,}041 \pm 0{,}003$	$\varepsilon_{bv} = 0{,}050 \pm 0{,}011$	$\xi_v = -5{,}365 \pm 0{,}011$

5. táblázat. A meghatározott együtthatók és konstansok 2003. 09. 22-én

Táv. konst. ($\pm$ hiba)	Zéruspontok ($\pm$ hiba)
$\nu = 1{,}0475 \pm 0{,}0105$	$\xi_{vr} = -0{,}128 \pm 0{,}002$
$\eta = 1{,}0445 \pm 0{,}0065$	$\xi_{vi} = 0{,}166 \pm 0{,}003$
$\mu = 1{,}064 \pm 0{,}0095$	$\xi_{bv} = -1{,}026 \pm 0{,}003$
$\varepsilon_{bv} = 0{,}0565 \pm 0{,}0095$	$\xi_v = -5{,}370 \pm 0{,}005$

6. táblázat. Az átlagolt távcsőkonstansok és zéruspontok

Az egyenes-illesztéseket a Függelék A.2. fejezetében mutatom be.

Az egyik végső cél a halmazok szín–fényesség diagramjának felvétele, ezért a halmazok csillagainak standard fényességét ki kell számolni. A jobb határfényesség eléréséhez a különböző színszűrős képeket összeadtam, így végeredményül lett halmazonként négy darab kép, szűrőnként egy-egy. Ezt az `imsum` taszkkal hajtottam végre: `images.imutil.imsum`. Mindkét halmazban kiválasztottam pár csillagot, melyeknek nem változott a fényessége és meghatároztam ezen csillagok instrumentális és standard fényességét, apertúra-fotometriával. Vettem ezen értékek átlagát, majd a differenciális extinkciós, és standard transzformációs egyenletekkel megkaptam a többi csillag standard magnitúdóit. Az alkalmazott egyenletek:

$$\Delta V = \Delta v + \varepsilon_{BV}\Delta(B-V) \tag{31}$$
$$\Delta(B-V) = \mu\Delta(b-v) \tag{32}$$
$$\Delta(V-R) = \nu\Delta(v-r) \tag{33}$$
$$\Delta(V-I) = \eta\Delta(v-i) \tag{34}$$

3.6. Asztrometria

Ahhoz, hogy a méréseink összehasonlíthatóak legyenek mások eredményeivel, nem csak a fotometriai rendszert kell standardizálni, hanem a koordináta-rendszert is. Mivel a mérések során csak az adott műszerre jellemző CCD-képek pixel-kooridánátiban ismeretesek a csillagok pozíciói, ezért azokat át kell transzformálni valamilyen ismert koordináta-rendszerbe.

Ezt hivatott elősegíteni a `WCStools` programcsomag (Douglas, 1997) része, az `imwcs` nevű program. Ennek segítségével megkapjuk az adott objektumok égi koordinátáit és ezzel összevethetővé válnak az adatok, illetve a csillagoknak az éggömbön való elhelyezkedése is ismert lesz, valamint a későbbi azonosításnál is lesz fontos.

Több lehetőség is van arra, hogy a végrehajtsuk ezt a feladatot. Én úgy jártam el, hogy az US Naval Observatory (USNO) honlapjáról[9] letöltöttem a halmaz környezetében található csillagok aktuális koordinátáit és V fényességét. A `WCStools` programcsomag fejlesztésénél is az USNO-katalógust és a HST[10] GSC[11]-t vették alapul (Monet, 1996). Kiválasztottam 200 darab csillagot (nem túl fényes és nem túl halványakat ($\approx 11^{\mathrm{m}} - 13^{\mathrm{m}}$ közöttieket)), melyekből egy – például `halmaz.tbl` nevű – fájlt csináltam. Ennek segítségével megkaptam a látómezőben található csillagok rektaszcenzióját és deklinációját. Mindezekhez kellett egy kép a halmazról, egy koordináta-lista, amelyben a csillagok pozíciói szerepelnek pixelkoordinátákban és természetesen a tab-fájl. Ezenkívül ismerni kell az adott kamera felbontását is, ami jelen esetben 1.13 $''$/pixel. A parancs, amellyel kinyertem a koordinátákat:

```
imwcs -vd valami.coo.1 -q its -c valami.tbl -p 1.13 -vwi rs valami.fit
```

Az `-vd` kapcsolóval állítjuk be, hogy a DAOFIND-féle output fájlt (`valami.coo.1`) használja majd a keresésre. A `-q` kapcsolóval az iterációt, a pixelben mért toleranciát tudjuk

[9]http//usno.nofs.navy.mi/data/fchpix
[10]Hubble Space Telescope
[11]Guide Star Catalogue

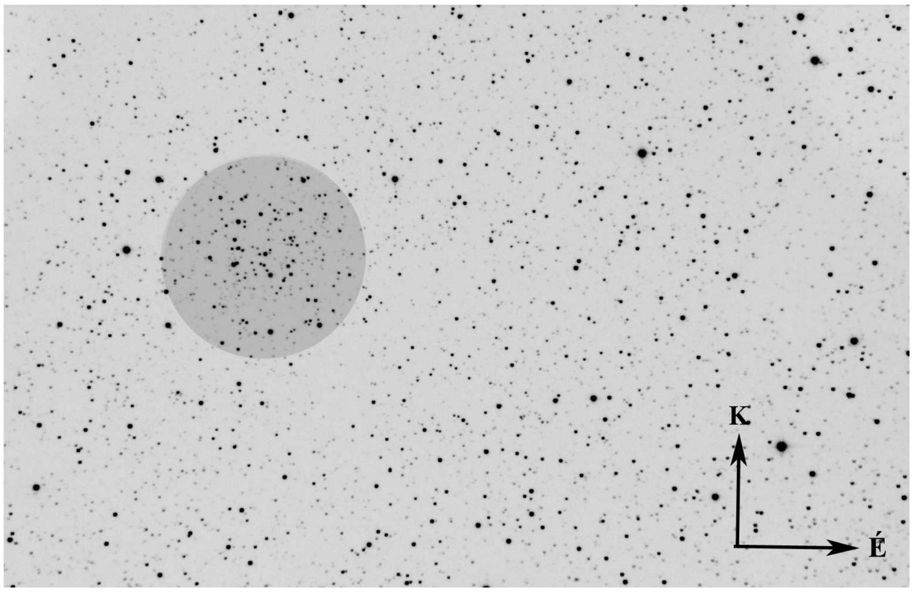
beállítani. A `-c` kapcsoló azt adja meg, hogy milyen katalógust vegyen referenciának (itt a `valami.tbl`). Utána a felbontást kell megadni ívmásodperc/pixel-ben, amelyre a `-p` kapcsoló szolgál (alapértelmezésben nulla). Az utolsó kapcsolókkal (`-vwi`) írhatóvá tehetjük a beolvasott kép fejlécét (alapértelmezésben csak olvasható). Ez azért is jó, mert az asztrometriai transzformáció lemezkonstansait az `imwcs` szabványos formában beírja a FITS-kép fejlécébe, így a képen található objektumok későbbi asztrometriája megfelelő programokkal nagy mértékben leegyszerűsödik. Ezeken kívül figyelembe veszi, ha forgatást is kell alkalmazni.

Természetesen még rengeteg kapcsoló van, ezekről az `imwcs` dokumentációjából tudhatunk meg többet (ha telepítve van a program).

4. Eredmények

4.1. Az IC 1369

4.1.1. Az eddigi mérések



9. ábra. Az IC 1369 képe; a sötétebb terület jelöli a halmazt

A nyílthalmaz a Cygnus (Hattyú) csillagképben található. Égi koordinátái az FK5 [12] rendszerben: $\alpha_{2000} = 21^{\mathrm{h}}12^{\mathrm{m}}{,}1$ és $\delta_{2000} = 47^{\circ}44'$. Galaktikus koordinátái: $l = 89^{\circ}{,}58, b = -0^{\circ}{,}42$. A halmazról a szakirodalomban viszonylag sok adat található (lásd 7. táblázat), de ezek alapján elég nagy szórással lehet csak megbecsülni a halmaz távolságát. A halmazzal kapcsolatos első publikációban (Trumpler, 1930) a nyílthalmaz távolágára 3,9 kpc-et kaptak, majd egy évre rá ez az érték szinte a duplájára nőtt (Collinder, 1931). Ezután egy kb. 20 éves szünet következett; ekkor azonban az elsőnek meghatározott távolságértéknek csupán a felét kapták (Barchatowa, 1950), majd az érték még jobban lecsökkent (Dibaj, 1958).

Hassan (1970) egy viszonylag csillagszegény halmazként definiálta. Ő UBV fotometriai rendszert használt, 183 darab $16^{\mathrm{m}}{,}45$-nál fényesebb csillag segítségével.

Hassan a halmaz távolságmodulusára $12^{\mathrm{m}}{,}66$-ot kapott, a színexcesszusok pedig: $E(B-V) = 0^{\mathrm{m}}{,}52 \pm 0^{\mathrm{m}}{,}04$; $E(U-B) = 0^{\mathrm{m}}{,}38 \pm 0^{\mathrm{m}}{,}05$. A csillagközi abszorpció értéke: $A_V = 1^{\mathrm{m}}{,}56 \pm 0^{\mathrm{m}}{,}16$. Az abszorpció és a színexcesszus közötti kapcsolatot a következőképpen vette figyelembe: $A_V = 3{,}0 \cdot E(B-V)$, így a halmaz távolságára 1660 parszeket kapott.

Vizsgálatai alapján Hassan úgy találta, hogy a halmazban 57 darab csillag fősorozati, és van 13 darab olyan csillag, amely viszonylag vörös. A szín–fényesség diagramra egy

[12] Fifth Fundamental Catalogue, (1988)

$\log t = 9{,}1$ korú izokrónt illesztett, mellyel a csillaghalmaz kora 1,2 milliárd évnek adódik, tehát igen öreg.

A 80-as évek elején igen „népszerű" volt a halmaz, ezt jelzi az is, hogy ekkor három publikáció is megjelent. Janes és Adler (1982) már *UBV* és *RGU* színrendszert használtak. A két rendszer színindexei között a következő összefüggés áll fenn (Purgathofer, 1964): $(B-V) = 0{,}88 \cdot (G-R) - 0{,}18$.

Az általuk meghatározott színexcesszus és távolságmodulus: $E(B-V) = 0^{\mathrm{m}}\!\!,5$; $m-M = 11^{\mathrm{m}}\!\!,10$. Egy évre rá *UBV* rendszert használva meghatározták az előbb említett adatokat (Sagar, 1983), figyelembe véve a következő összefüggést (Hiltner és Johnson, 1958): $E(U-B) = 0{,}72 \cdot E(B-V) + 0{,}05 \cdot E(B-V)^2$. A halmazt szintén igen öregnek számolták, mivel egy $\log t = 9{,}079$ korú izokrónt illesztettek. A távolságmodulus és a színexcesszus: $E(B-V) = 0^{\mathrm{m}}\!\!,52 \pm 0^{\mathrm{m}}\!\!,04$; $m-M = 12^{\mathrm{m}}\!\!,66 \pm 0^{\mathrm{m}}\!\!,4$.

A következő mérést rádiótartományban végezték (Leisawitz és mtsai., 1989). Ekkor a CO molekula $J = 1 \rightarrow 0$ átmenethez tartozó vonalát vizsgálták. A halmaz korára igen keveset kaptak, ha figyelembe vesszük az eddigi adatokat: $t = 4 \cdot 10^6$ év, míg az abszorpció: $A_V = 1^{\mathrm{m}}\!\!,53$.

Nagyjából 15 évig nem történt új mérés az IC 1369-cel kapcsolatosan. Jelen dolgozat előtti utolsó publikáció 6 éve jelent meg (Bica és Dutra, 2000). Ők 103 olyan nyílthalmazt vizsgáltak meg, amelyek 700 millió évnél nem fiatalabbak.

Idő [év]	Távolság [pc]	$m-M$ [$^{\mathrm{m}}$]	$E(B-V)$ [$^{\mathrm{m}}$]	Kor [év]
1930	3900	-	-	-
1931	7700	-	-	-
1950	1570	-	-	-
1958	1500	-	-	-
1973	1660	12,66	$0{,}52 \pm 0{,}04$	$1{,}2 \cdot 10^9$
1982	-	11,10	0,5	-
1983	-	$12{,}66 \pm 0{,}4$	$0{,}52 \pm 0{,}04$	$1{,}2 \cdot 10^9$
1984	-	-	-	$4 \cdot 10^6$
2000	-	-	0,6	$1{,}45 \cdot 10^9$

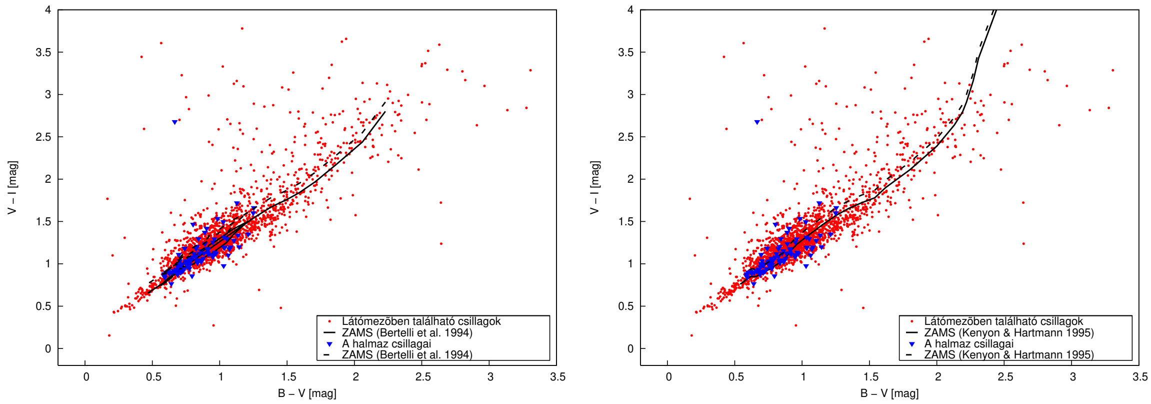
7. táblázat. Az IC 1369 fontosabb, irodalomban fellelhető paraméterei

4.1.2. Méréseim

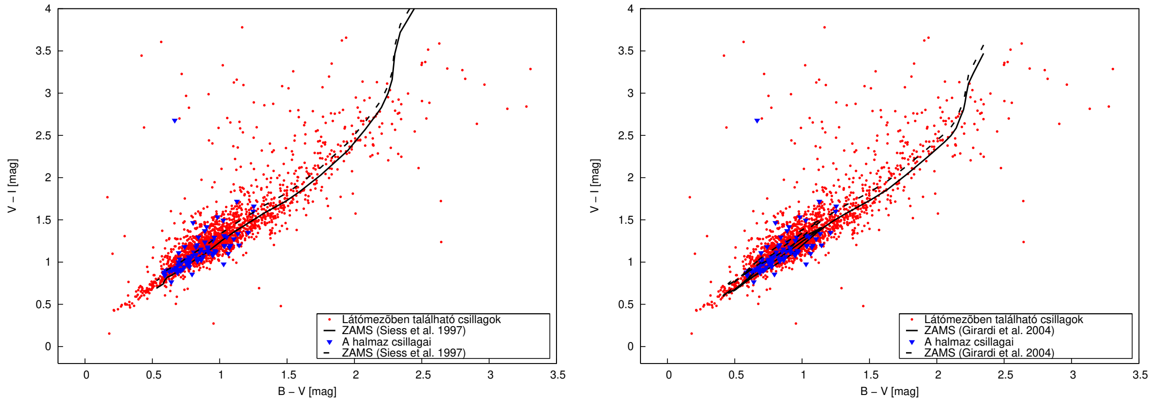
Először a csillagok vetületi sűrűségének segítségével meghatároztam a halmaz középpontjának koordinátáit. A sűrűségeloszlásról az IRAF-ban az `imsurfit` taszkkal tudhatunk meg többet: `images.imfit.imsurfit`. Ekkor egy adott függvényt (Legendre, Chebyshev, spline3) illeszt a beadott FITS-kép pixeleinek intenzítására. Én Chebyshev függvényt alkalmaztam tizedik rendig illesztve. Az illesztés rendje függ természetesen attól, hogy milyen sűrű is a csillagmező és, hogy milyen részletes sűrűség-térképet akarunk kapni. A kapott képen a legnagyobb intenzitás az $x = 450, y = 570$ pixel-koordinátákra esett, amely az $\alpha_{2000} = 21^{\mathrm{h}}14^{\mathrm{m}}55^{\mathrm{s}}$ és $\delta_{2000} = 47°58'23''$ égi koordinátáknak felel meg.

A halmaz látszó átmérőjét szintén a csillagok vetületi sűrűségéből kaptam meg. Ehhez a halmaz meghatározott középpontjától kifelé haladva megvizsgáltam a csillagsűrűség csökkenésének menetét. 120 pixel széles körapertúrában megszámoltam a csillagokat, majd a területtel lenormálva megkaptam a vetületi csillag-koncentrációt. A módszerrel kvantitívan is megbecsülhető a látszó átmérő, amire $4{,}52 \pm 0{,}3$ ívpercet kaptam, míg a csillagsűrűségre $\sim 5{,}38 \pm 0{,}01$ csillag/négyzetívperc adódott. A csillagok felületi sűrűségeloszlását a később meghatározott távolságok segítségével lehetett meghatározni. A sűrűség-adatok, amelyek a táblázatokban láthatóak (pl. 8. és 9. táblázatok, valamint a 6. fejezetben található 22. és 23. táblázatokban) a szín–szín és szín–fényesség diagramokon kék háromszöggel jelölt csillagok alapján készültek, mivel feltehetőleg ezek nagyobb valószínűséggel halmaztagok.

A halmaz távolságára és korára izokrón-illesztéssel tettem becslést. Ehhez először megbecsültem a vörösödés mértékét, $E(B-V)$-t. Ábrázoltam a halmaz szín–szín diagramját, majd erre illesztettem egy izokrónt, két különböző vörösödési meredekséggel. A 10. és 11. ábrán a folytonos vonal jelöli a (Bessell és Brett, 1988)-féle kapcsolatot a két színexcesszus között: $E(V-I) = 1{,}25 \cdot E(B-V)$; míg a szaggatott vonal a (Schlegel és mtsai., 2001)-féle összefüggést mutatja: $E(V-I) = 1{,}375 \cdot E(B-V)$. A kék háromszögek jelzik a a halmazt és annak közvetlen környezetét. A szín–szín diagramokon mindegyik modell viszonylag jól illeszkedik a nyílthalmaz csillagaira.

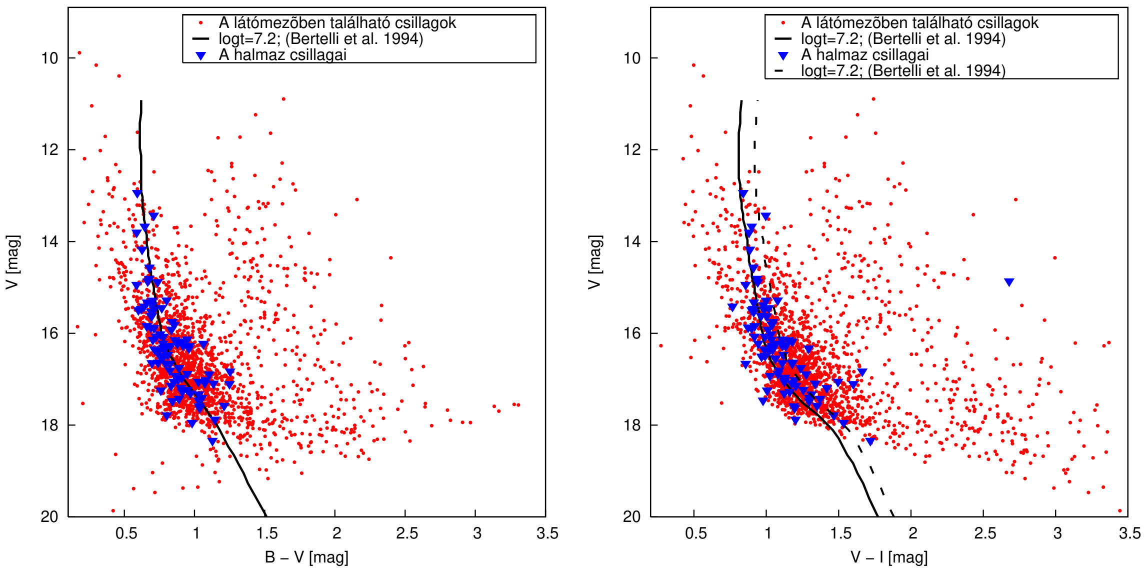


10. ábra. Az IC 1369 szín–szín diagramja I.



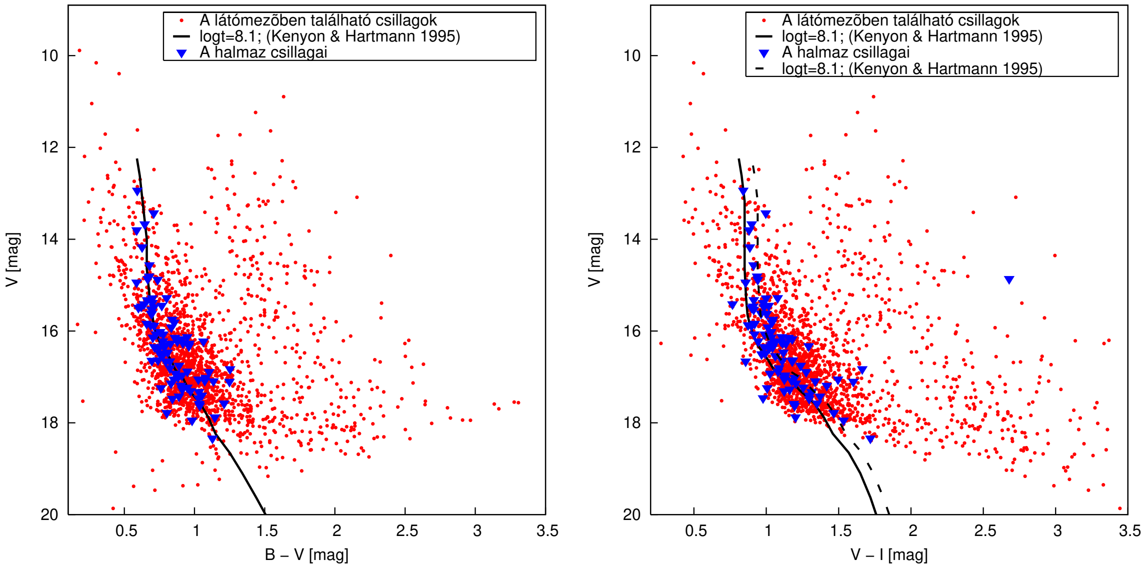
11. ábra. Az IC 1369 szín–szín diagramja II.

A nyílthalmaz szín–fényesség diagramjára több, különböző korú izokrónt illesztettem egy modellen belül is, így ezen izokrónok medián-átlagát ábrázoltam. A 12. és 15. ábrák mutatják a $(B-V)$-s és $(V-I)$-s CMD-ket a különböző modellekkel; míg a 16. és 19. ábrák azt mutatják, hogy egy bizonyos modell adataival illesztve az azonos korú, de más modellekből származó izokrónok mennyire térnek el egymástól. A $(V-I)$-s CMD-ken a szaggatott vonal a Schlegel-féle vörösödési meredekséggel eltolt izokrónt mutatja.

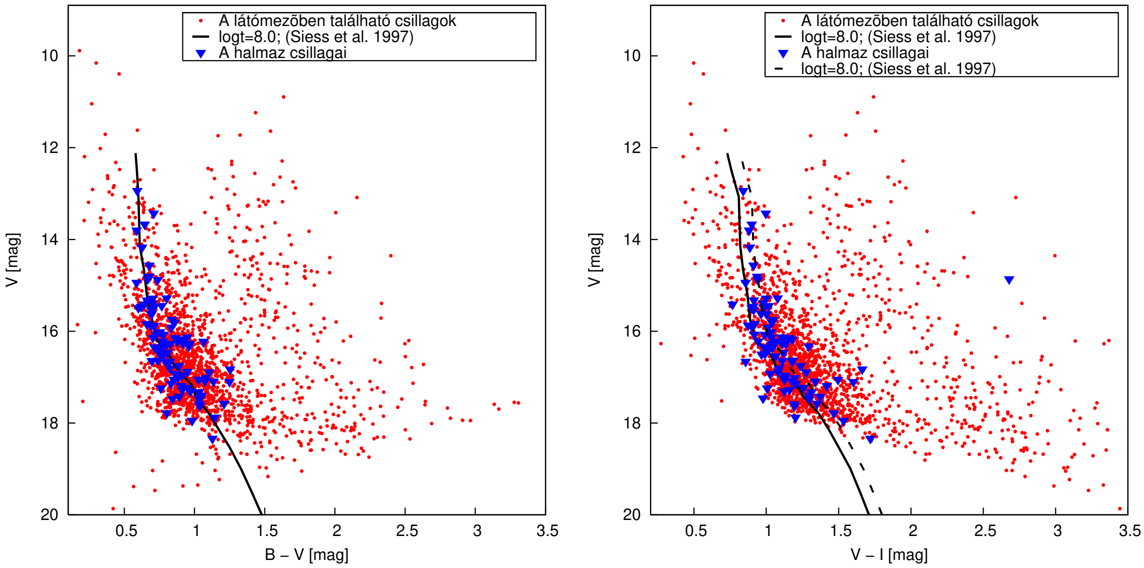


12. ábra. Az IC 1369 szín–fényesség diagramja Ia.

A halmazra illesztett izokrón segítségével meghatározható a távolságmodulus, így a csillagközi abszorpció ismeretében meghatározható a nyílthalmaz távolsága. Az abszorpció és a színexcesszus közötti kapcsolatot (Bessell és Brett, 1988) alapján vettem figyelembe: $A_V = 3{,}12 \cdot E(B-V)$. Ha ismert egy objektum távolsága és a látszó szögátmérő, akkor abból a valódi átmérőt is megbecsülhetjük.

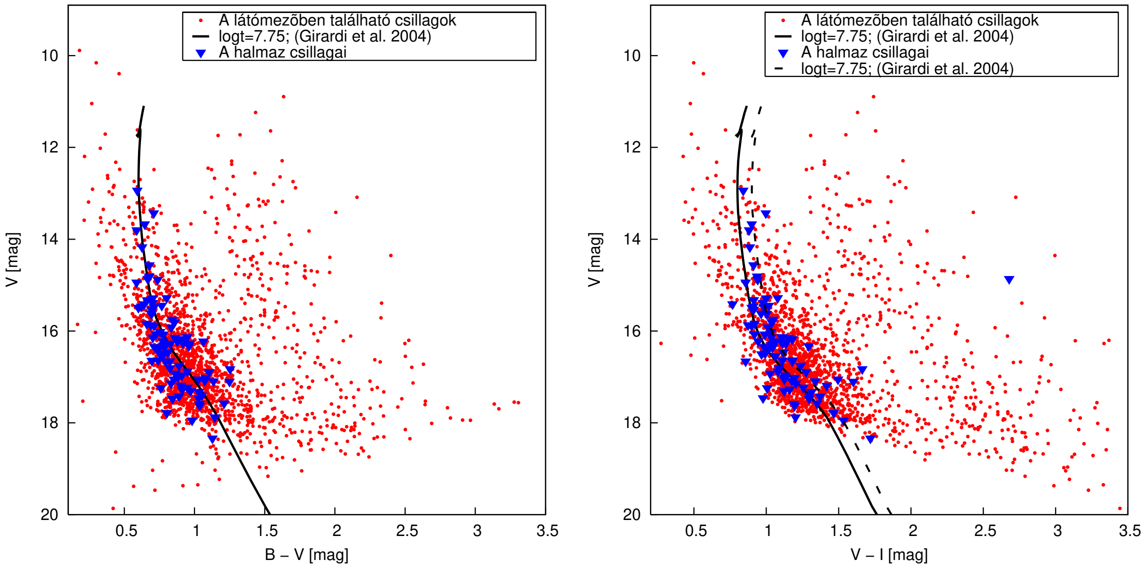


13. ábra. Az IC 1369 szín–fényesség diagramja Ib.



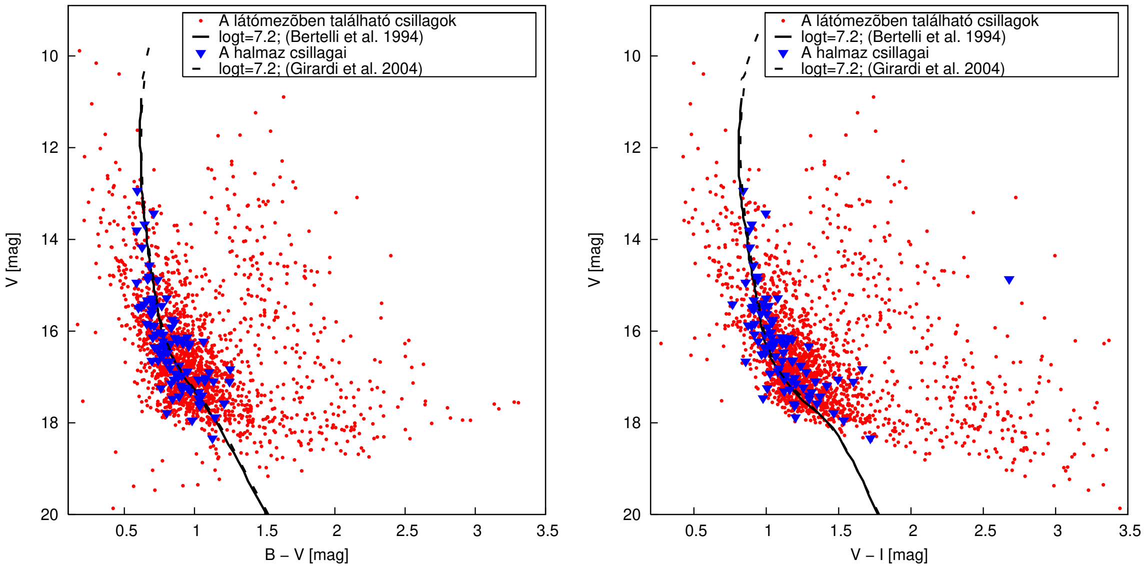
14. ábra. Az IC 1369 szín–fényesség diagramja Ic.

A Bertelli-féle medián-izokrón (ezután BemI) kora $\log t = 7{,}2$, így a halmaz $\sim$ 16 millió éves; a Kenyon & Hartmann-féle medián-izokrón (ezután K&HmI) kora $\log t = 8{,}1$, tehát a nyílthalmaz $\sim$ 126 millió éves; a Siess-féle medián-izokrón (ezután SimI) kora $\log t = 8{,}0$, így az IC 1369 $\sim$ 100 millió éves; és végül a Girardi-féle medián-izokrón (ezután GimI) kora $\log t = 7{,}75$, azaz a halmaz $\sim$ 56 millió éves.

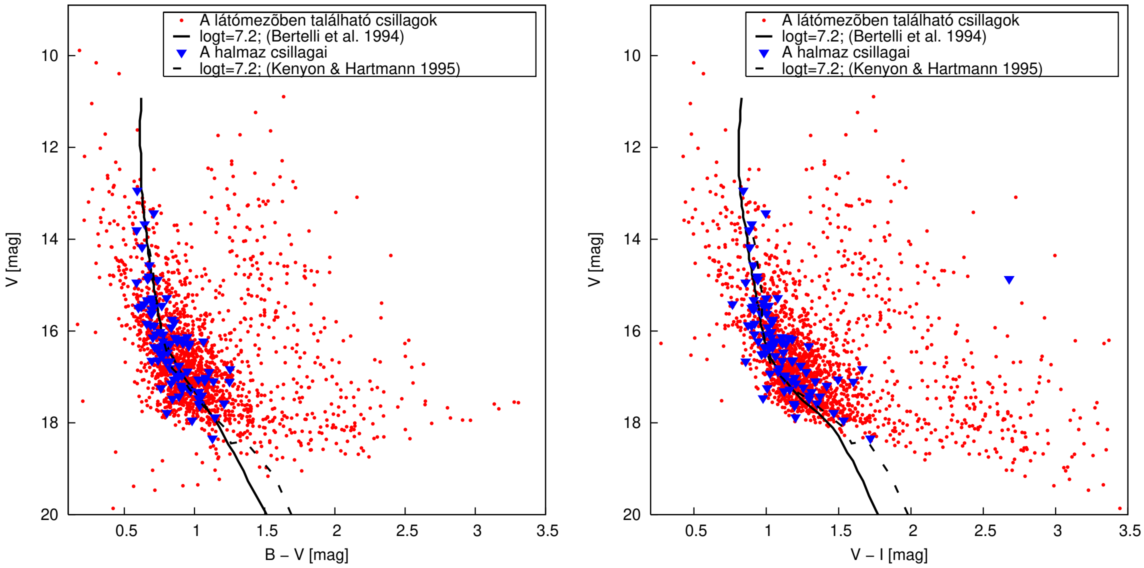


15. ábra. Az IC 1369 szín–fényesség diagramja Id.

A 17. és a 18. ábrákon az látható, hogy az ugyanolyan korú elméleti modellek (leginkább a K&HmI, és a SimI) mennyire eltérnek a halványabb csillagok esetén ($\sim 17^{\mathrm{m}}\!\!.8$-nál van az eltérési pont (ezután EP)).

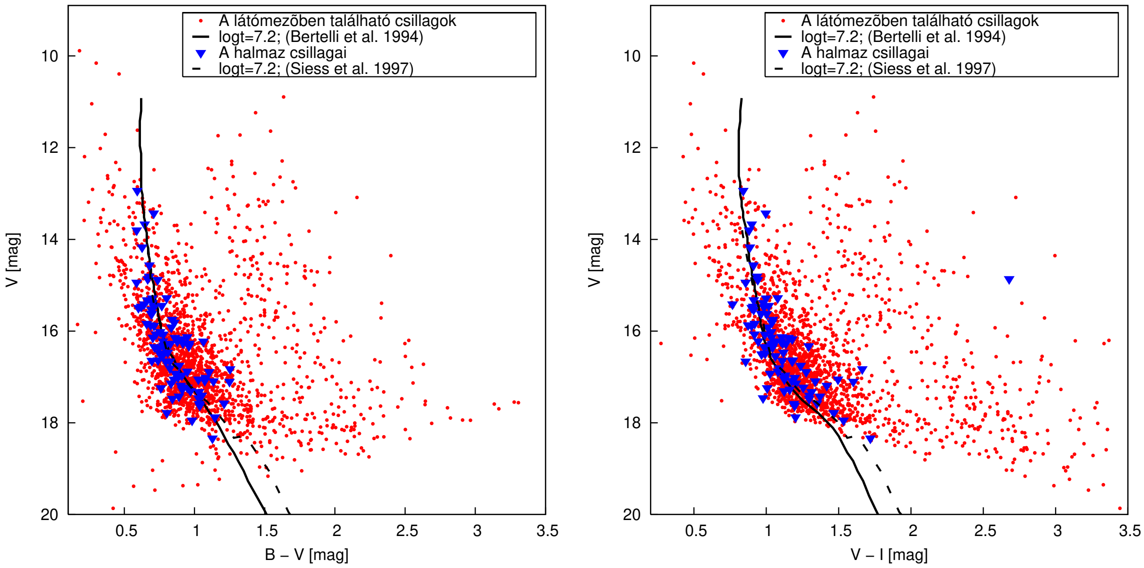


16. ábra. Az IC 1369 szín–fényesség diagramja IIa.

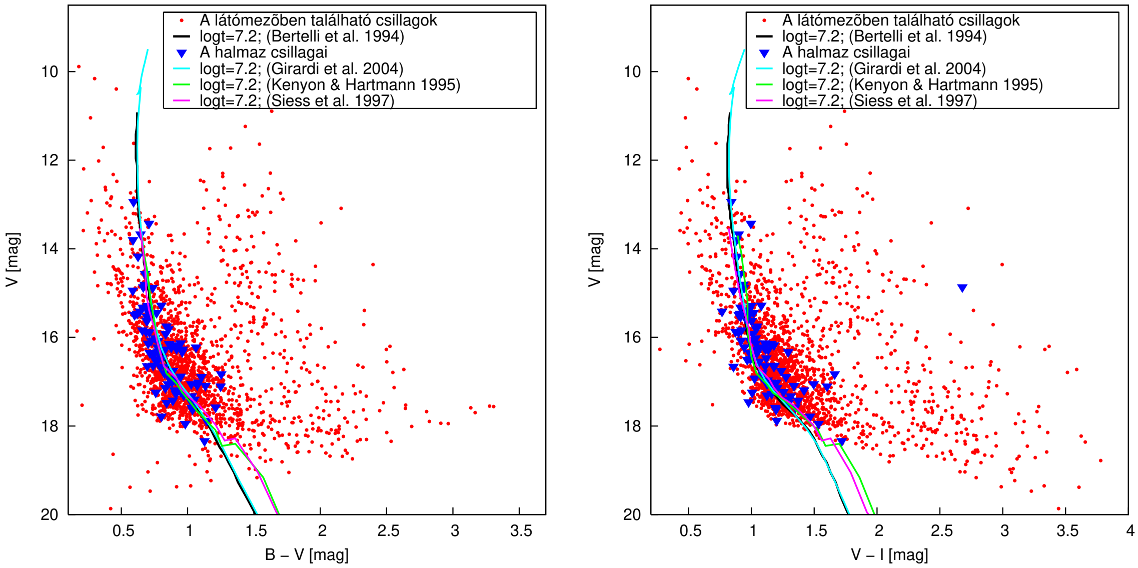


17. ábra. Az IC 1369 szín–fényesség diagramja IIb.

Az egyes modellek által kapott fontosabb adatokat a 8. táblázat tartalmazza, míg a 9. táblázat a modellekből számolt adatok átlagát mutatja. Az egyes sorokban levő mennyiségek: $E(B-V)$ és $E(V-I)$ a színexcesszusok; A_V a csillagközi abszorpció; $m-M$ a távolságmodulus; $\log t$ az illesztett izokrón kora; d_{val} a nyílthalmaz lineáris mérete; ρ_f pedig a halmaz felületi sűrűsége. A további táblázatok esetén ugyanezek a jelölések találhatóak meg, így ezeket ott nem részletezem.



18. ábra. Az IC 1369 szín–fényesség diagramja IIc.



19. ábra. Az IC 1369 szín–fényesség diagramja IId.

Modell $\longrightarrow$	Bertelli et al.	Kenyon & Hartmann	Siess et al.	Girardi et al.
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}85 \pm 0{,}02$	$0{,}75 \pm 0{,}02$	$0{,}75 \pm 0{,}02$	$0{,}77 \pm 0{,}02$
$E(V-I)$ [^{m}]	$1{,}06 \pm 0{,}02$	$0{,}94 \pm 0{,}02$	$0{,}94 \pm 0{,}02$	$0{,}96 \pm 0{,}02$
A_V [^{m}]	$2{,}652 \pm 0{,}062$	$2{,}34 \pm 0{,}06$	$2{,}34 \pm 0{,}06$	$2{,}402 \pm 0{,}062$
$m-M$ [^{m}]	$15{,}1 \pm 0{,}2$	$14{,}7 \pm 0{,}2$	$14{,}7 \pm 0{,}2$	$14{,}6 \pm 0{,}2$
Távolság [pc]	3087 ± 203	2965 ± 197	2965 ± 197	2752 ± 175
log t	$7{,}2 \pm 0{,}5$	$8{,}1 \pm 0{,}4$	$8{,}0 \pm 0{,}4$	$7{,}75 \pm 0{,}5$
Kor [10^6 év]	$15{,}8^{+34{,}3}_{-10{,}8}$	$125{,}8^{+190{,}2}_{-75{,}8}$	$100^{+151}_{-60{,}2}$	$56{,}2^{+121{,}6}_{-38{,}4}$
d_{val} [pc]	$4{,}06 \pm 0{,}76$	$3{,}9 \pm 0{,}26$	$3{,}9 \pm 0{,}26$	$3{,}62 \pm 0{,}22$
ρ_f [$*/\mathrm{pc}^2$]	$6{,}65 \pm 0{,}78$	$7{,}2 \pm 0{,}9$	$7{,}2 \pm 0{,}9$	$8{,}37 \pm 0{,}94$

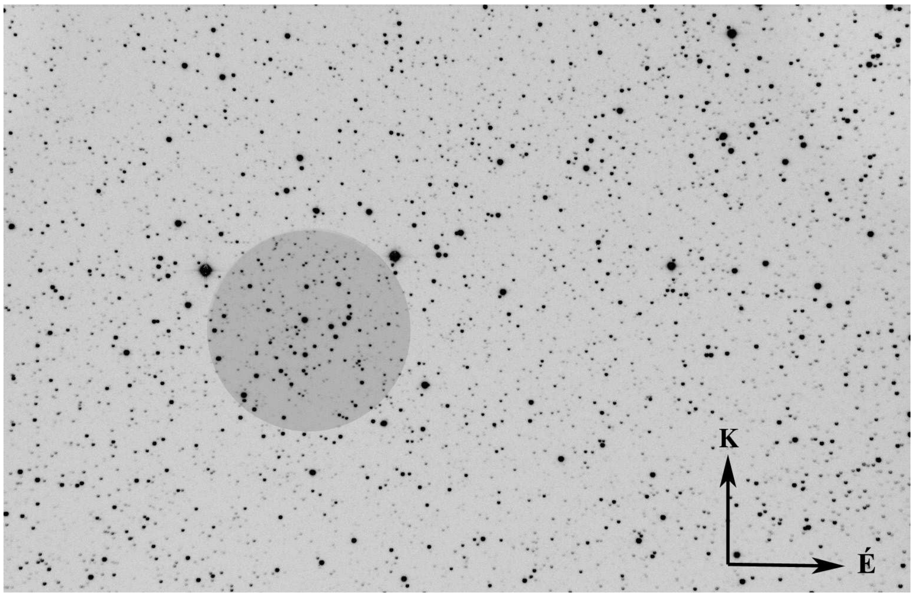
8. táblázat. Az IC 1369 fontosabb meghatározott adatai

Paraméterek	Átlagértékek
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}78 \pm 0{,}048$
$E(V-I)$ [^{m}]	$0{,}975 \pm 0{,}057$
A_V [^{m}]	$2{,}433 \pm 0{,}149$
$m-M$ [^{m}]	$14{,}775 \pm 0{,}222$
Távolság [pc]	$2942 \pm 139{,}5$
log t	$7{,}76 \pm 0{,}4$
Kor [10^6 év]	$57{,}5^{+57{,}3}_{-34{,}6}$
d_{val} [pc]	$3{,}87 \pm 0{,}18$
ρ_f [$*/\mathrm{pc}^2$]	$7{,}35 \pm 0{,}73$

9. táblázat. Az IC 1369 esetén meghatározott fontosabb adatok átlaga

4.2. Az IC 1442

4.2.1. Az eddigi mérések



20. ábra. Az IC 1442 képe; a sötétebb terület jelöli a halmazt

A nyílthalmaz a Lacerta (Gyík) és a Cepheus csillagkép határán található. Égi koordinátái az FK5 rendszerben: $\alpha_{2000} = 22^{\mathrm{h}}16\overset{\mathrm{m}}{,}5$ és $\delta_{2000} = 54°03'$. Galaktikus koordinátái: $l = 101\overset{\circ}{,}36, b = -2\overset{\circ}{,}20$. A halmazról a szakirodalomban nem sok adat található. Az első publikációban (Yilmaz, 1970) *RGU*-rendszert használtak és a nyílthalmaz távolágára 1810 pc-et kaptak. A távolságmodulus $12\overset{\mathrm{m}}{,}9$-nek adódott, az abszorpció $1\overset{\mathrm{m}}{,}61$-nek *G*-szűrőben, míg a színexcesszusok értéke: $E(G-R) = 0\overset{\mathrm{m}}{,}6$; $E(U-G) = 0\overset{\mathrm{m}}{,}42$.

A következő publikációban (Janes és Adler, 1982) már *UBV* és *RGU* fotometriai rendszert használtak. Az általuk meghatározott színexcesszus és távolságmodulus: $E(B-V) = 0\overset{\mathrm{m}}{,}53$; $m-M = 12\overset{\mathrm{m}}{,}90$.

A következő mérést rádiótartományban végezték (Leisawitz, 1990). Ekkor – hasonlóan az előző halmazhoz – a CO molekula $J = 1 \rightarrow 0$ átmenethez tartozó vonalat vizsgálták. A halmaz korára $t = 500 \cdot 10^6$ évet kaptak, míg az abszorpcióra $A_V = 1\overset{\mathrm{m}}{,}64$-et.

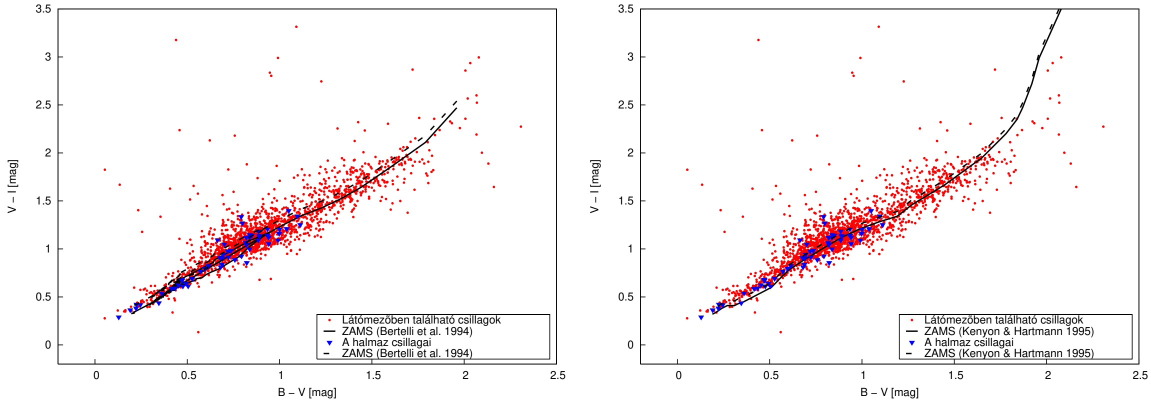
4.2.2. Méréseim

A halmaz középpontjának koordinátáit és a sűrűségeloszlásokat teljesen hasonló módszerrel határoztam meg, mint az előző halmaz esetén. A legnagyobb intenzitás az $x = 510, y = 435$ pixel-koordinátákra esett, amely az $\alpha_{2000} = 22^{h}16^{m}30^{s}$ és $\delta_{2000} = 53°54'22''$ égi koordinátáknak felel meg.

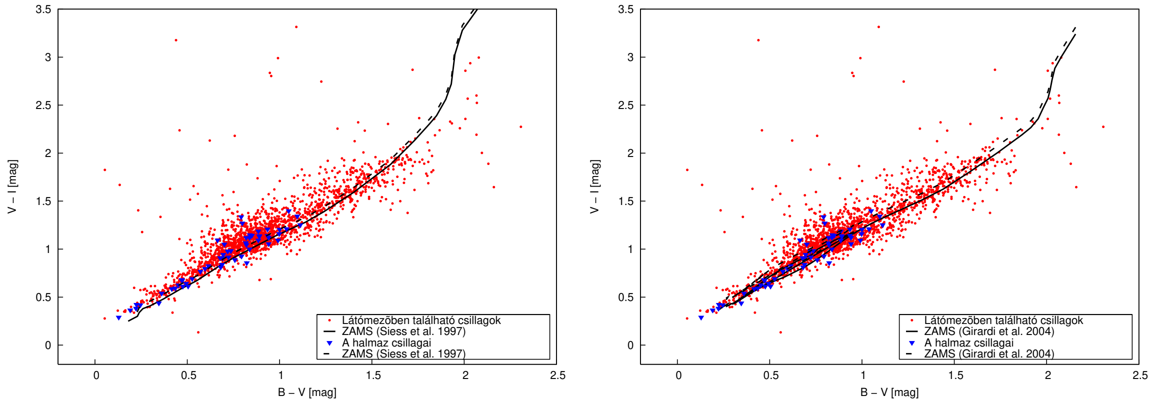
Itt is 120 pixel széles körapertúrával számoltam; ezzel a látszó átmérőre $4{,}52 \pm 0{,}32$ ívpercet; míg a csillagsűrűségre $\sim 3{,}5 \pm 0{,}1$ csillag/négyzetívpercet kaptam.

Jelen halmaz, illetve a következő halmazok további paramétereit (kor, vörösödés, stb.) szintén az IC 1369-nél (4.1.2. fejezet) ismertetett módszerekkel határotam meg, így ezeket nem részletezem.

A nyílthalmaz szín–szín diagramját mutatja a 21. és 22. ábra. Az ábrák alapján elmondható, hogy mindegyik modell jól illeszkedik a szín–szín diagramra, bár a Siess-féle izokrón illeszkedése a legrosszabb (22. ábra bal panel).



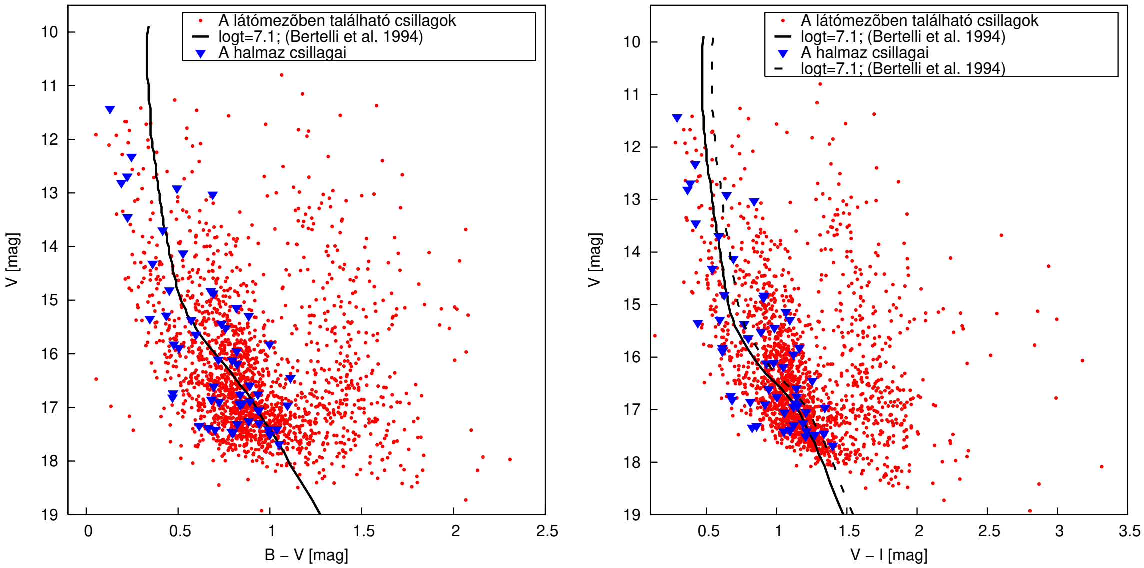
21. ábra. Az IC 1442 szín–szín diagramja I.



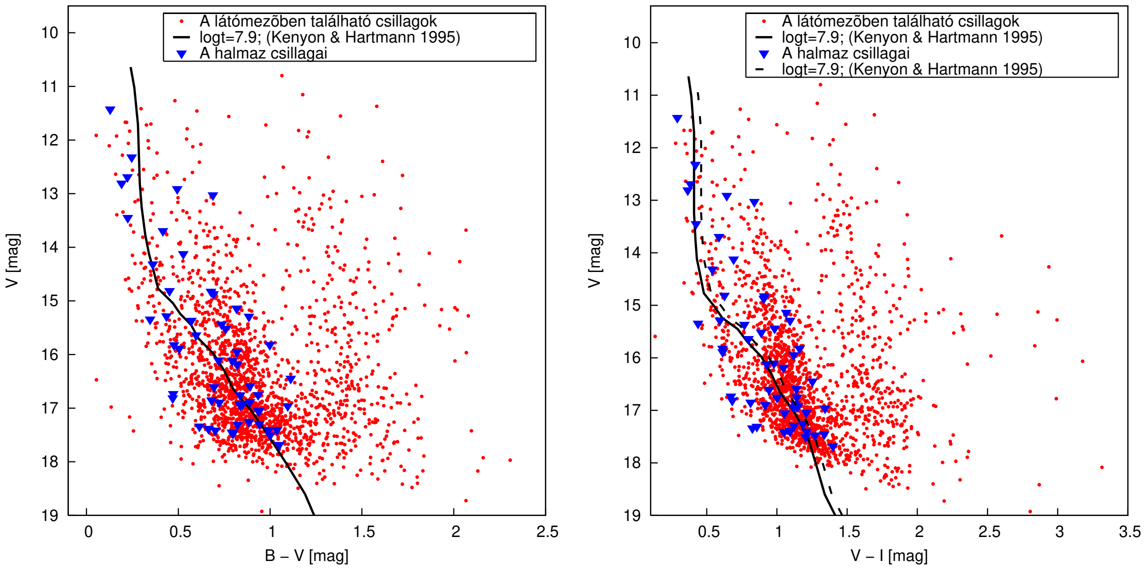
22. ábra. Az IC 1442 szín–szín diagramja II.

A kék háromszögek jelzik a halmazt és annak közvetlen környezetét. A 23. és 26. ábrák mutatják a $(B-V)$-s és $(V-I)$-s CMD-ket a különböző modellekkel, míg a 27. és 30.

ábrák azt mutatják, hogy egy bizonyos modell adataival illesztve az azonos korú, de más modellekből származó izokrónok mennyire térnek el egymástól.



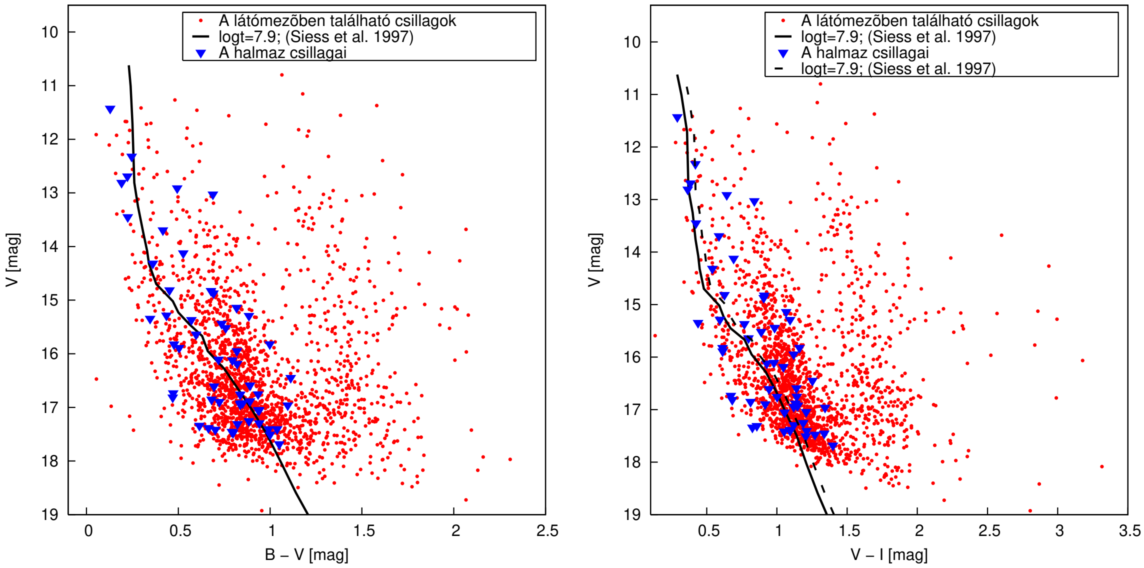
23. ábra. Az IC 1442 szín–fényesség diagramja Ia.



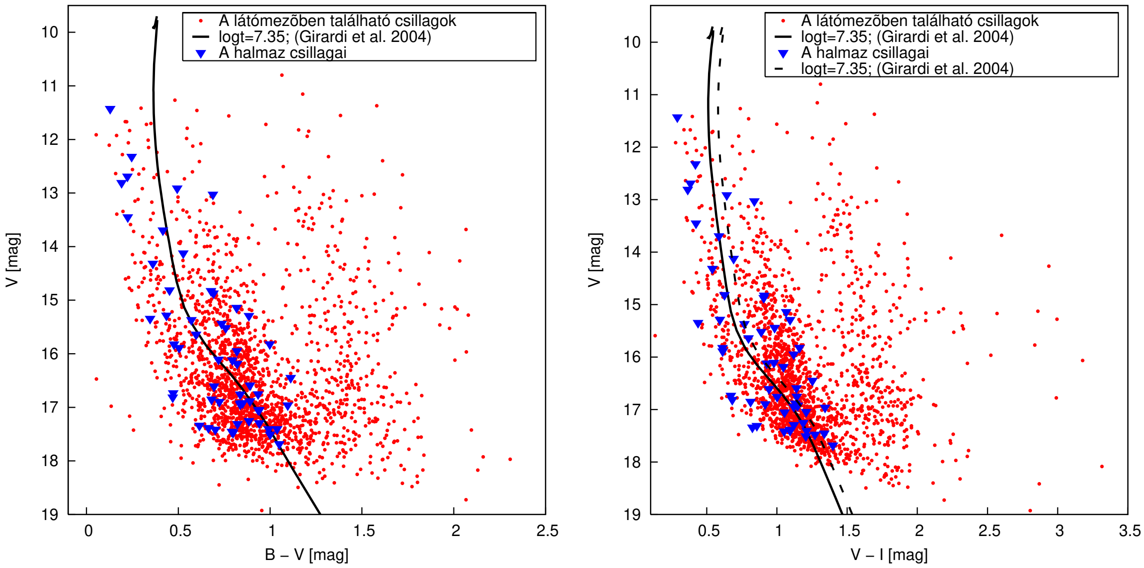
24. ábra. Az IC 1442 szín–fényesség diagramja Ib.

Mivel a halmaz nehezen szeparálható az előtér- és háttércsillagoktól, ezért itt nagyobb szórású a nyílthalmazt jelképező kék háromszögek eloszlása. Az izokrónok közül leginkább a SemI és a K&HmI illeszkedik legjobban a halmaz CMD-jére, míg a BemI és a GimI a fényesebb csillagok esetén már nem mutat olyan szép eredményt.

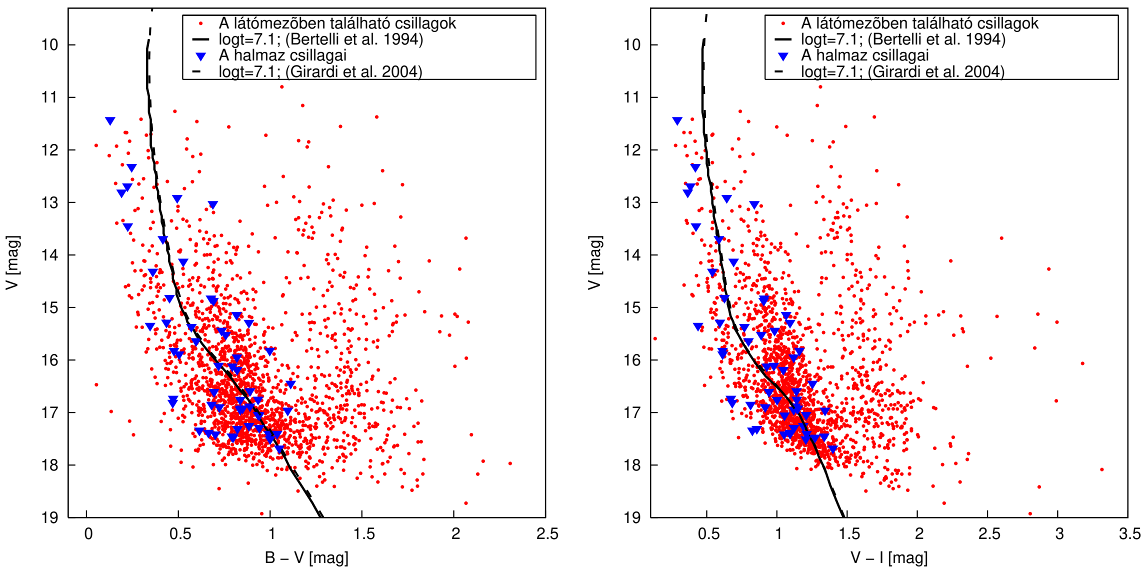
Hasonlóan az IC 1369-hez, itt is különböző korú izokrónok illeszkedtek jól a szín–fényesség diagramra. A modellek kora: BemI $\longrightarrow \log t = 7{,}1$; K&HmI $\longrightarrow \log t = 7{,}2$; SemI $\longrightarrow \log t = 7{,}2$, és GimI $\longrightarrow \log t = 7{,}35$. Ezekkel tehát a halmaz rendre $\sim 12{,}5 \cdot 10^6$, $\sim 16 \cdot 10^6$, $\sim 16 \cdot 10^6$, és $\sim 22{,}4 \cdot 10^6$ éves.



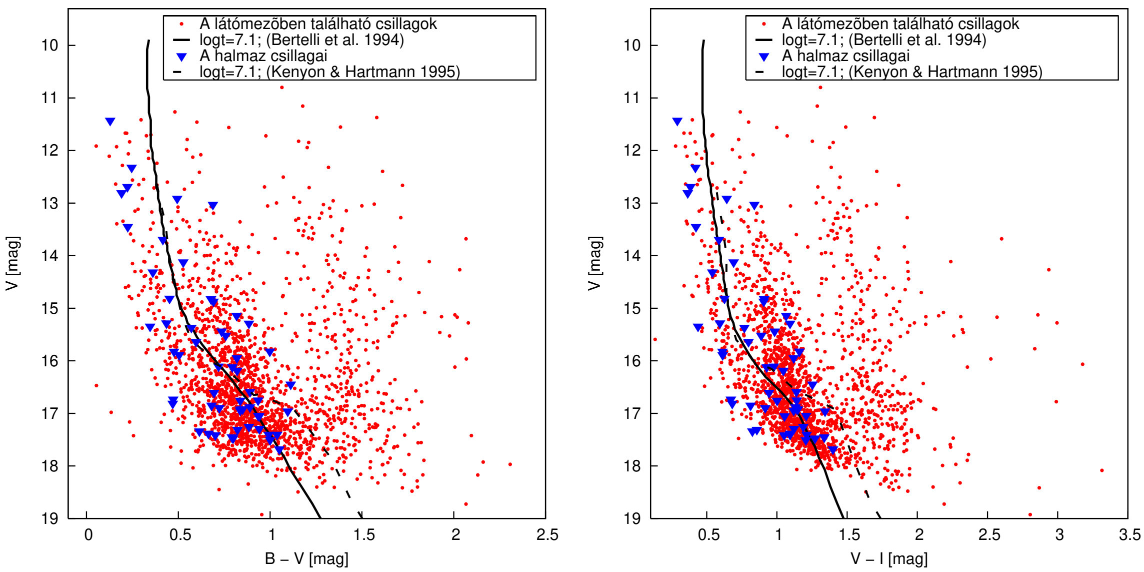
25. ábra. Az IC 1442 szín–fényesség diagramja Ic.



26. ábra. Az IC 1442 szín–fényesség diagramja Id.

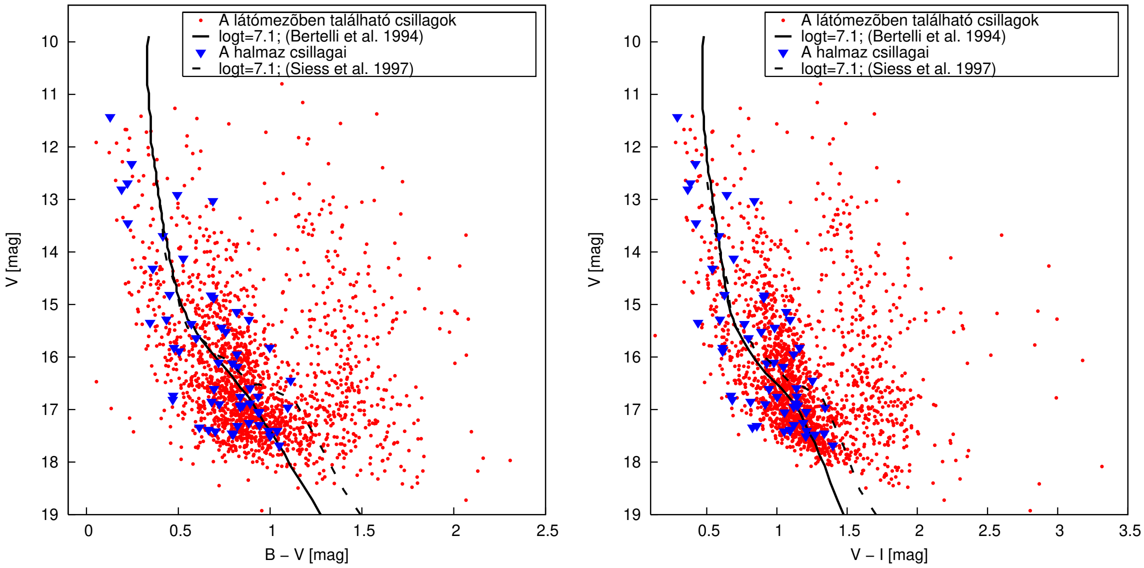


27. ábra. Az IC 1442 szín–fényesség diagramja IIa.

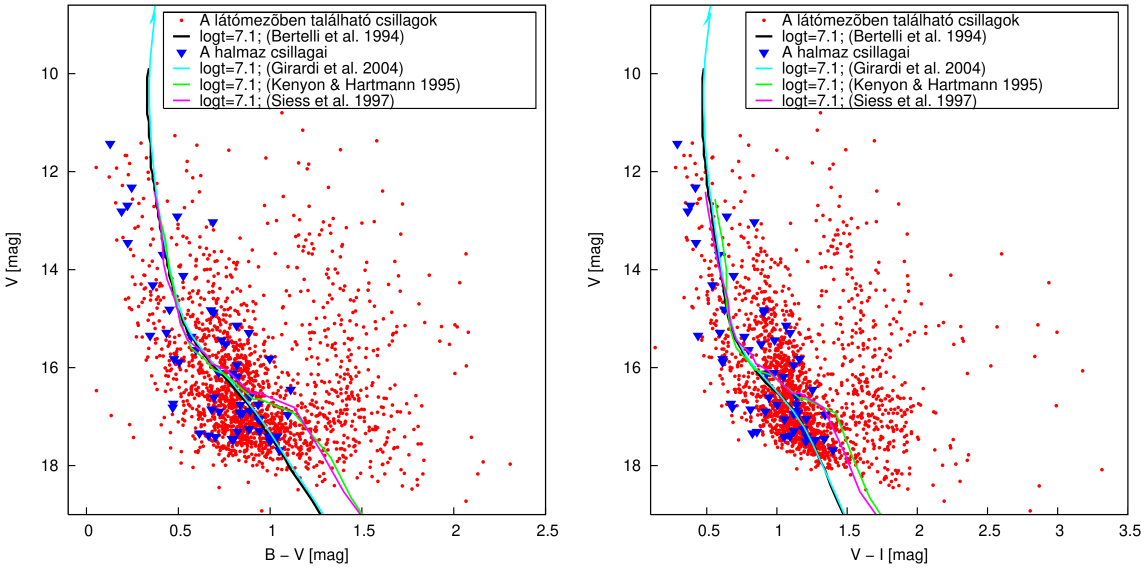


28. ábra. Az IC 1442 szín–fényesség diagramja IIb.

A 28. és a 29. ábrán látható, hogy az előző halmazhoz hasonlóan, a SemI és a K&HmI az amelyik a halványabb csillagoknál jelentősen eltér a másik kettő izokróntól. Itt azonban ez az eltérés már $\sim 16^{\rm m} - 16^{\rm m}\!\!.5$-nál jelentkezik, míg az IC 1369-nél mindez $\sim 17^{\rm m}\!\!.8$-nál következett be.



29. ábra. Az IC 1442 szín–fényesség diagramja IIc.



30. ábra. Az IC 1442 szín–fényesség diagramja IId.

Az egyes modellek által kapott fontosabb adatokat a 10. táblázat tartalmazza, míg az IC 1369-hez hasonlóan a 11. táblázat az átlagolt értékeket mutatja.

Modell $\longrightarrow$	Bertelli et al.	Kenyon & Hartmann	Siess et al.	Girardi et al.
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}58 \pm 0{,}02$	$0{,}4 \pm 0{,}02$	$0{,}4 \pm 0{,}02$	$0{,}58 \pm 0{,}02$
$E(V-I)$ [^{m}]	$0{,}73 \pm 0{,}02$	$0{,}5 \pm 0{,}02$	$0{,}5 \pm 0{,}02$	$0{,}73 \pm 0{,}02$
A_V [^{m}]	$1{,}81 \pm 0{,}06$	$1{,}248 \pm 0{,}062$	$1{,}248 \pm 0{,}062$	$1{,}81 \pm 0{,}06$
$m-M$ [^{m}]	$13{,}9 \pm 0{,}2$	$13{,}1 \pm 0{,}2$	$13{,}2 \pm 0{,}2$	$14 \pm 0{,}2$
Távolság [pc]	2618 ± 174	2346 ± 154	2457 ± 161	2742 ± 182
log t	$7{,}1 \pm 0{,}4$	$7{,}9 \pm 0{,}6$	$7{,}9 \pm 0{,}6$	$7{,}35 \pm 0{,}7$
Kor [10^6 év]	$12{,}6^{+19}_{-7{,}6}$	$79{,}4^{+236{,}6}_{-59{,}4}$	$79{,}4^{+236{,}6}_{-59{,}4}$	$22{,}4^{+89{,}8}_{-17{,}9}$
d_{val} [pc]	$3{,}44 \pm 0{,}24$	$3{,}08 \pm 0{,}2$	$3{,}22 \pm 0{,}22$	$3{,}6 \pm 0{,}24$
ρ_f [$*/pc^2$]	$6{,}03 \pm 0{,}76$	$7{,}52 \pm 0{,}89$	$6{,}88 \pm 0{,}85$	$5{,}51 \pm 0{,}67$

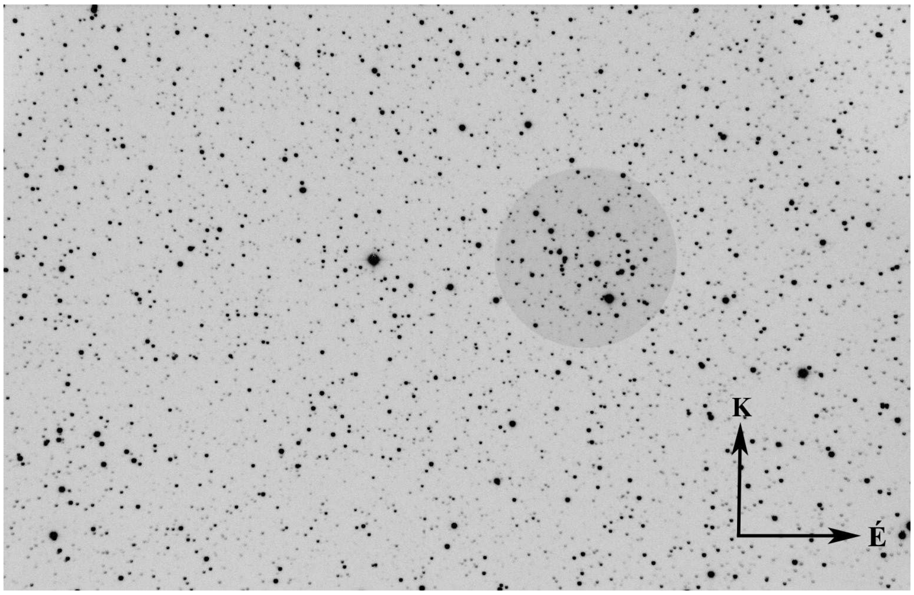
10. táblázat. Az IC 1442 fontosabb meghatározott adatai

Paraméterek	Átlagértékek
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}49 \pm 0{,}104$
$E(V-I)$ [^{m}]	$0{,}615 \pm 0{,}133$
A_V [^{m}]	$1{,}529 \pm 0{,}324$
$m-M$ [^{m}]	$13{,}55 \pm 0{,}465$
Távolság [pc]	2541 ± 175
log t	$7{,}56 \pm 0{,}4$
Kor [10^6 év]	$36{,}3^{+54{,}9}_{-21{,}8}$
d_{val} [pc]	$3{,}33 \pm 0{,}23$
ρ_f [$*/pc^2$]	$6{,}48 \pm 0{,}89$

11. táblázat. Az IC 1442 esetén meghatározott fontosabb adatok átlaga

4.3. Az NGC 7296

4.3.1. Az eddigi mérések



31. ábra. Az NGC 7296 képe; a sötétebb terület jelöli a halmazt

A nyílthalmaz a Lacerta (Gyík) csillagképben található. Égi koordinátái az FK5 rendszerben: $\alpha_{2000} = 22^{\mathrm{h}}28^{\mathrm{m}}\!\!.01^{\mathrm{s}}$ és $\delta_{2000} = 52°18'48''$. Galaktikus koordinátái: $l = 101\overset{\circ}{.}88, b = -4\overset{\circ}{.}60$.

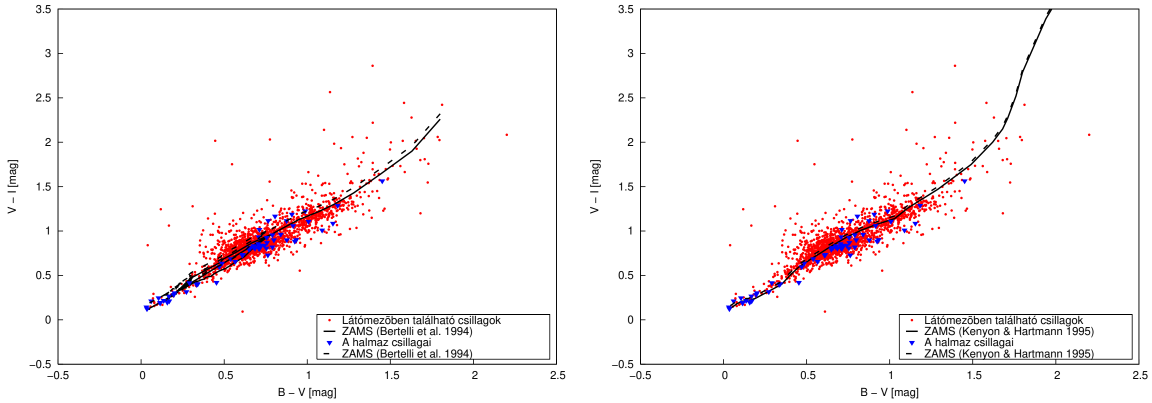
A halmazról tavaly jelent meg egy publikáció (Netopil és mtsai., 2005). Egy közepesen gazdag nyílthalmazként definiálják, amelynek viszonylag jól meghatározott fősorozata van. Nagyjából 140 darab csillag lehet a fősorozaton, vagy annak közelében. A szín–fényesség diagramra egy $\log t = 8{,}0 \pm 0{,}1$ korú izokrónt illesztettek, így a halmaz korát $\sim 100 \cdot 10^6$ évnek becsülték. A távolságmodulusra $12\overset{\mathrm{m}}{,}8 \pm 0{,}2$-t kaptak, a színexcesszus értékére $E(B-V) = 0\overset{\mathrm{m}}{,}15 \pm 0\overset{\mathrm{m}}{,}02$-t, a távolságra pedig 2930 ± 350 parszeket. Az abszorpció és színexcesszus közötti összefüggés, amelyet használtak: $A_V = 3{,}1 \cdot E(B-V)$.

4.3.2. Méréseim

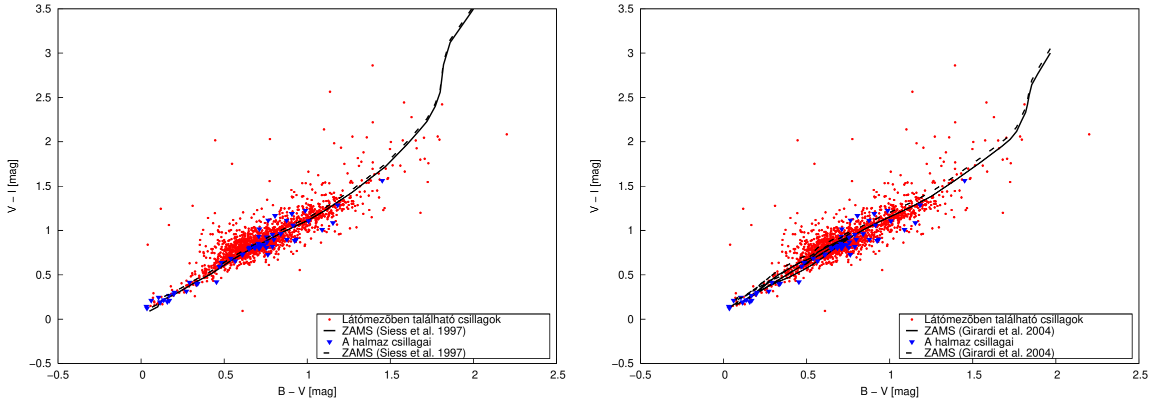
A halmaz középpontjának koordinátái az intenzitás alapján az $x = 1000, y = 570$ pixel-koordinátákra estek, amely az $\alpha_{2000} = 22^{\mathrm{h}}29^{\mathrm{m}}27^{\mathrm{s}}$ és $\delta_{2000} = 52^\circ 18' 13''$ égi koordinátáknak felel meg.

Ennél a halmaznál 110 pixel széles körapertúrát vettem; ezzel a látszó átmérőre $4{,}14 \pm 0{,}28$ ívpercet kaptam, míg a csillagsűrűségre $\sim 4{,}39 \pm 0{,}02$ csillag/négyzetívperc adódott.

A nyílthalmaz szín–szín diagramját a 32. és 33. ábrák mutatják amelyeken látható, hogy mind a négy modell nagyon szépen illeszkedik az NGC 7296 CMD-jére.

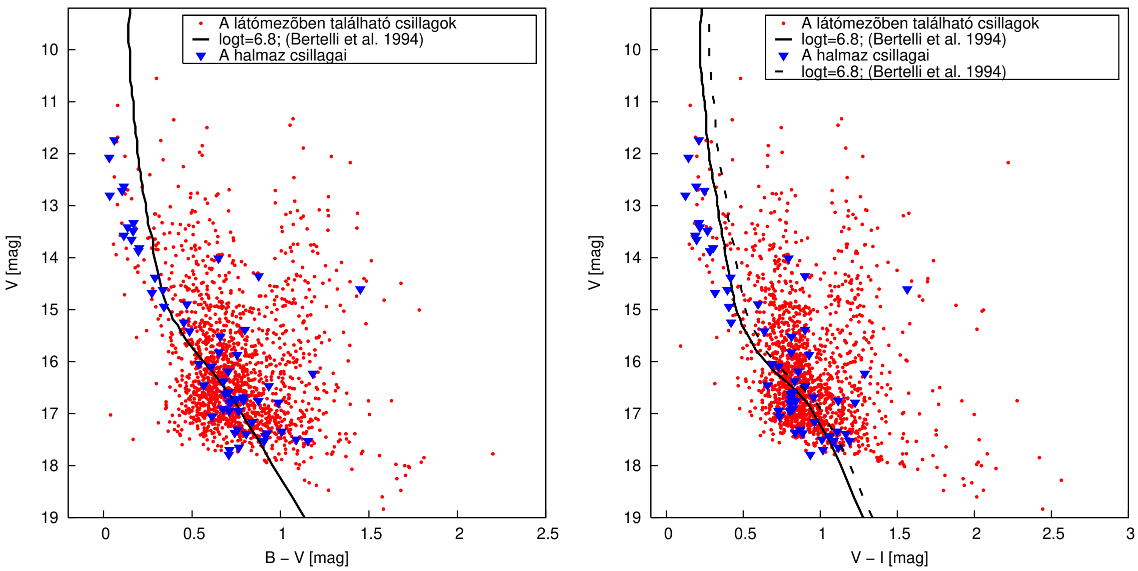


32. ábra. Az NGC 7296 szín–szín diagramja I.

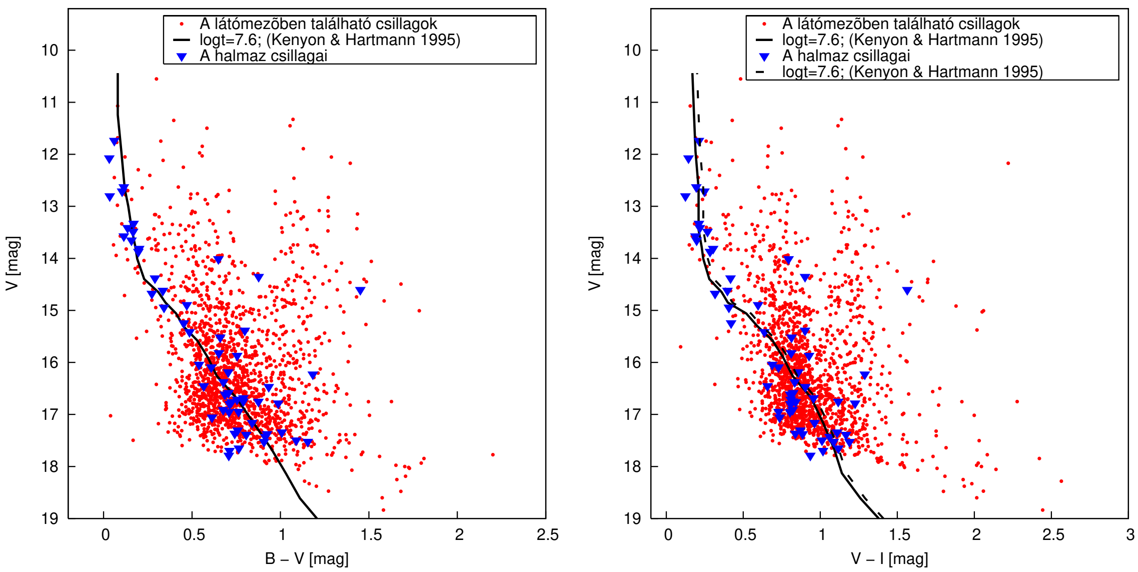


33. ábra. Az NGC 7296 szín–szín diagramja II.

A kék háromszögek – hasonlóan az eddigi nyílthalmazokhoz – jelzik a halmazt és annak közvetlen környezetét. A 34. és 37. ábrák mutatják a $(B-V)$-s és $(V-I)$-s CMD-ket a különböző modellekkel, míg a 38. és 41. ábrák azt mutatják, hogy egy bizonyos modell adataival illesztve az azonos korú, de más modellekből származó izokrónok mennyire térnek el egymástól.

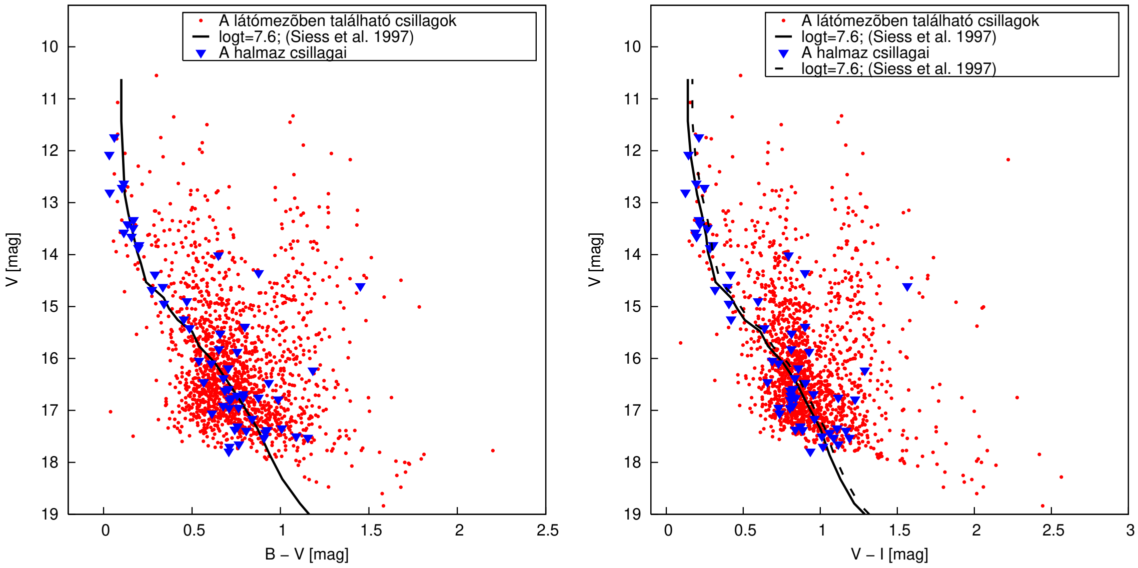


34. ábra. Az NGC 7296 szín–fényesség diagramja Ia.

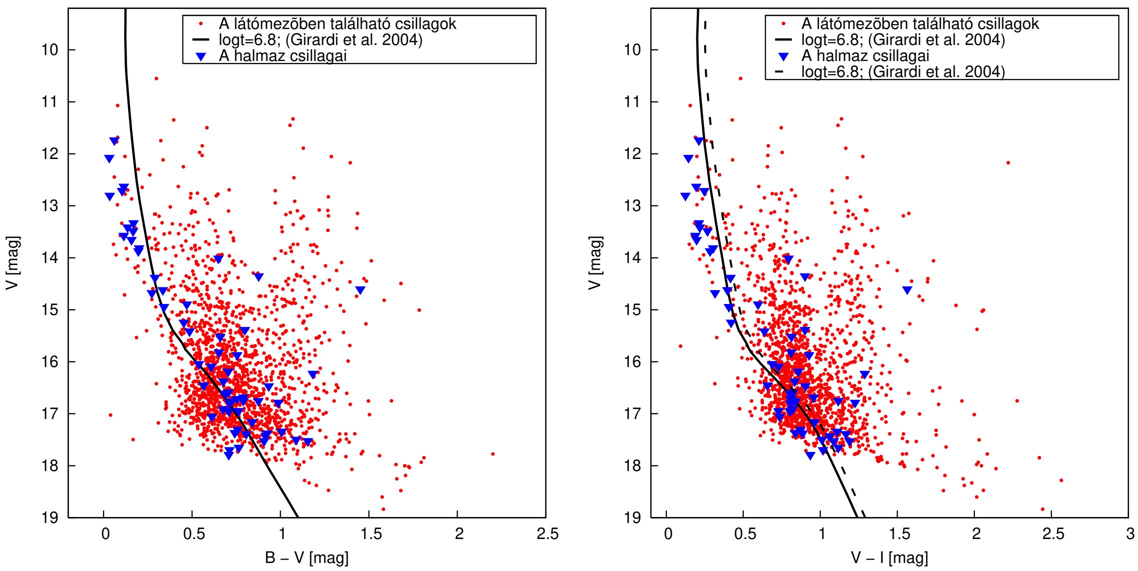


35. ábra. Az NGC 7296 szín–fényesség diagramja Ib.

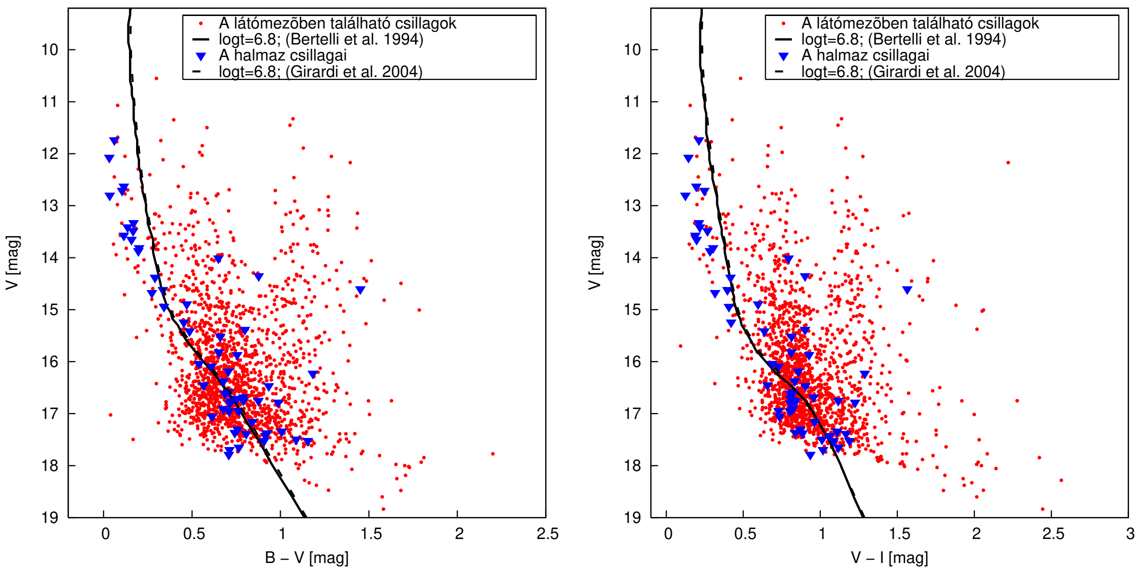
A 35. és 36. ábrákon látható, hogy a nyílthalmazra legjobban a SemI és a K&HmI illeszkedik. A másik kettő modellel (BemI és GimI) nem lehetett olyan korú izokrónt illeszteni, amely jól követte volna az ábrákon látható kék ($B-V \approx 0^{\mathrm{m}}\!\!.01 - 0^{\mathrm{m}}\!\!.25$) és viszonylag fényes ($\sim 11^{\mathrm{m}}\!\!.8 - 14^{\mathrm{m}}\!\!.1$) csillagok útvonalát. Az illesztett izokrónok kora: BemI $\longrightarrow \log t = 6{,}8$; K&HmI $\longrightarrow \log t = 7{,}6$; SemI $\longrightarrow \log t = 7{,}6$; és GimI $\longrightarrow \log t = 6{,}8$, így a halmaz rendre $\sim 6{,}3 \cdot 10^6$, $\sim 40 \cdot 10^6$, $\sim 40 \cdot 10^6$, és $\sim 6{,}3 \cdot 10^6$ éves.



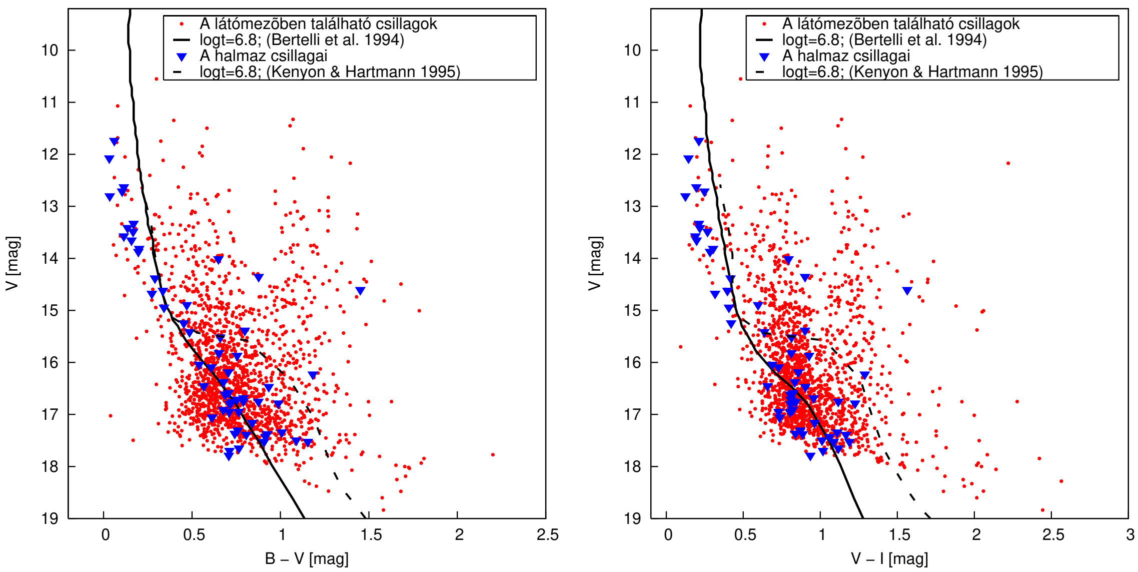
36. ábra. Az NGC 7296 szín–fényesség diagramja Ic.



37. ábra. Az NGC 7296 szín–fényesség diagramja Id.

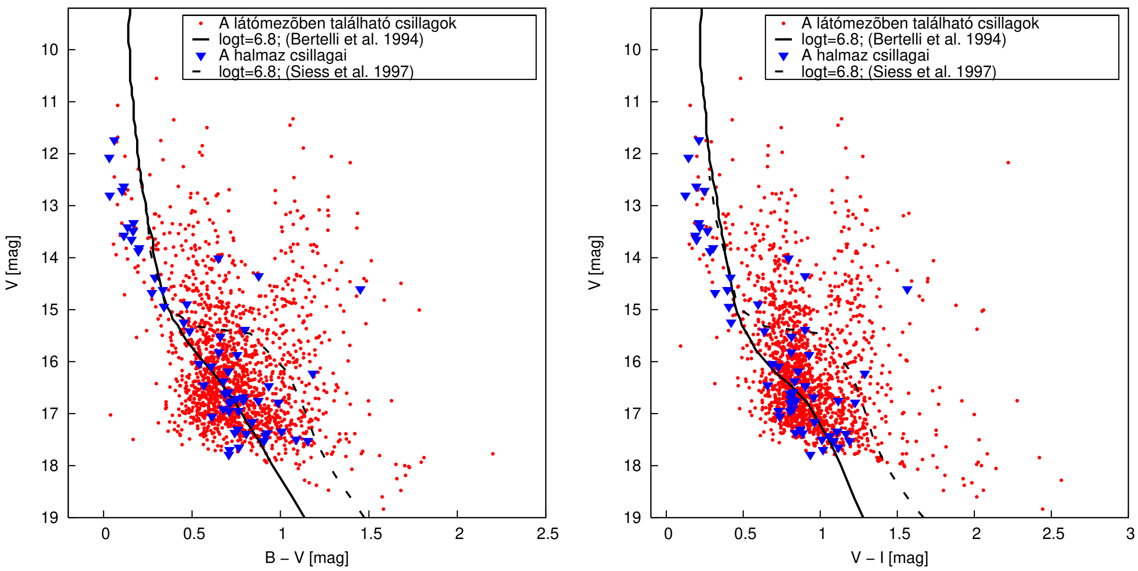


38. ábra. Az NGC 7296 szín–fényesség diagramja IIa.

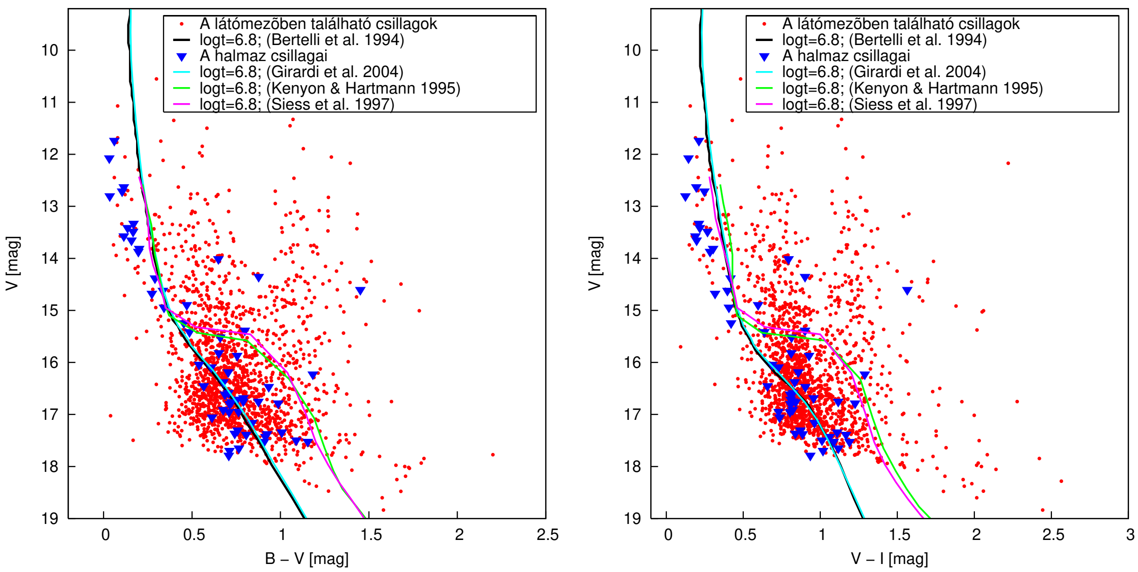


39. ábra. Az NGC 7296 szín–fényesség diagramja IIb.

Csakúgy, mint az eddigi esetekben, most is jelentősen eltérnek a halványabb csillagok esetére az elméleti modellek, mint azt a 39. és 40. ábra mutatja. Jelen esetben is a SemI és a K&HmI térnek el a BemI-től és GimI-től. Az eltérés megjelenése ennél a halmaznál $\sim 15\overset{\mathrm{m}}{.}1$-nél jelentkezik, amely érték még nagyobb, mint az ezt megelőző esetekben.



40. ábra. Az NGC 7296 szín–fényesség diagramja IIc.



41. ábra. Az NGC 7296 szín–fényesség diagramja IId.

Az egyes modellek által kapott fontosabb adatokat a 12. táblázat tartalmazza, az átlagolt értékeket pedig a 13. táblázat.

Modell $\longrightarrow$	Bertelli et al.	Kenyon & Hartmann	Siess et al.	Girardi et al.
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}42 \pm 0{,}02$	$0{,}24 \pm 0{,}02$	$0{,}27 \pm 0{,}02$	$0{,}39 \pm 0{,}02$
$E(V-I)$ [^{m}]	$0{,}52 \pm 0{,}02$	$0{,}3 \pm 0{,}02$	$0{,}34 \pm 0{,}02$	$0{,}49 \pm 0{,}02$
A_V [^{m}]	$1{,}310 \pm 0{,}063$	$0{,}749 \pm 0{,}062$	$0{,}842 \pm 0{,}063$	$1{,}217 \pm 0{,}062$
$m-M$ [^{m}]	$13{,}8 \pm 0{,}2$	$12{,}7 \pm 0{,}2$	$13 \pm 0{,}2$	$13{,}9 \pm 0{,}2$
Távolság [pc]	3148 ± 205	2456 ± 161	2701 ± 176	3440 ± 226
log t	$6{,}8 \pm 0{,}1$	$7{,}6 \pm 0{,}4$	$7{,}6 \pm 0{,}35$	$6{,}8 \pm 0{,}15$
Kor [10^6 év]	$6{,}3^{+1{,}6}_{-1{,}3}$	$39{,}8^{+60{,}2}_{-24}$	$39{,}8^{+60{,}2}_{-24}$	$6{,}3^{+1{,}6}_{-1{,}3}$
d_{val} [pc]	$3{,}79 \pm 0{,}25$	$2{,}96 \pm 0{,}19$	$3{,}25 \pm 0{,}21$	$4{,}14 \pm 0{,}27$
ρ_f [$*/pc^2$]	$5{,}23 \pm 0{,}62$	$8{,}58 \pm 1{,}01$	$7{,}12 \pm 0{,}84$	$4{,}39 \pm 0{,}53$

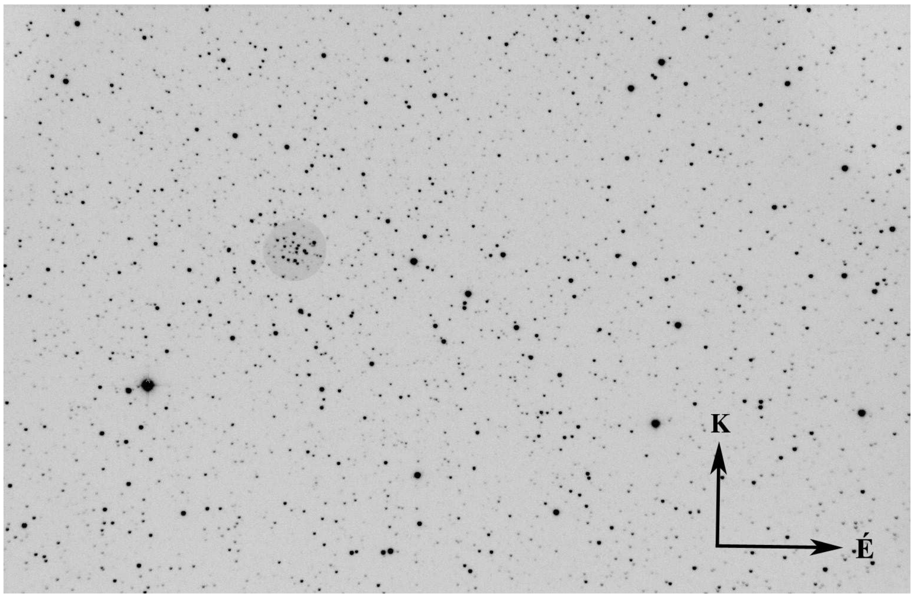
12. táblázat. Az NGC 7296 fontosabb meghatározott adatai

Paraméterek	Átlagértékek
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}33 \pm 0{,}088$
$E(V-I)$ [^{m}]	$0{,}412 \pm 0{,}109$
A_V [^{m}]	$1{,}029 \pm 0{,}275$
$m-M$ [^{m}]	$13{,}35 \pm 0{,}592$
Távolság [pc]	2936 ± 442
log t	$7{,}2 \pm 0{,}5$
Kor [10^6 év]	$15{,}8^{+34{,}2}_{-10{,}8}$
d_{val} [pc]	$3{,}53 \pm 0{,}53$
ρ_f [$*/pc^2$]	$6{,}33 \pm 1{,}89$

13. táblázat. Az NGC 7296 esetén meghatározott fontosabb adatok átlaga

4.4. Az NGC 136

4.4.1. Az eddigi mérések



42. ábra. Az NGC 136 képe; a sötétebb terület jelöli a halmazt

A nyílthalmaz a Cassiopeia csillagképben található. Égi koordinátái az FK5 rendszerben: $\alpha_{2000} = 00^{\mathrm{h}}31^{\mathrm{m}}\!\!,30^{\mathrm{s}}$ és $\delta_{2000} = 61^{\circ}32'$. Galaktikus koordinátái: $l = 120\overset{\circ}{,}56, b = -1\overset{\circ}{,}25$. Erről a halmazról sincs túl sok adat a szakirodalomban. Az első publikációban UBV fotometriai rendszert alkalmaztak (Hardorp, 1960). A távolságmodulusra $13\overset{\mathrm{m}}{,}2 \pm 0{,}4$-t kaptak, a színexcesszus értékére $E(B-V) = 0\overset{\mathrm{m}}{,}65$-t, a távolságra pedig 4400 ± 800 parszeket.

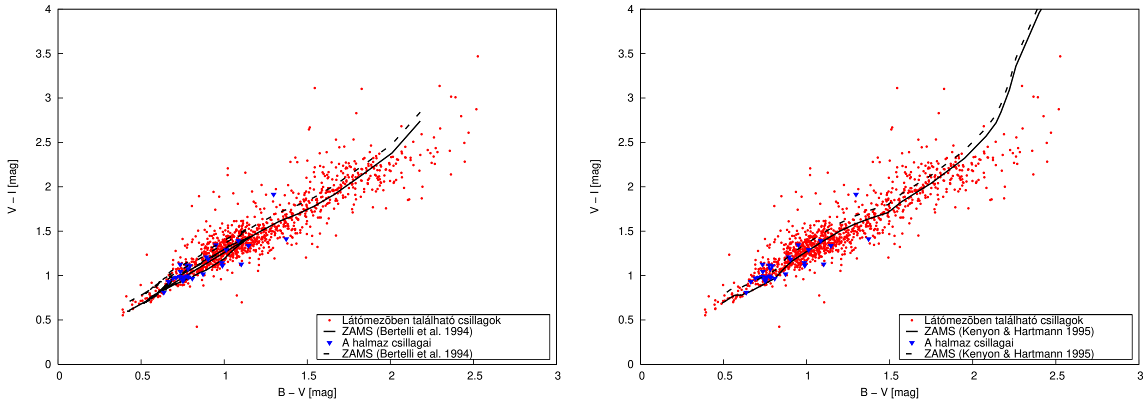
Az első publikáció után csaknem 20 évvel következett a második, amelyben a halmaz távolságmodulusára $14\overset{\mathrm{m}}{,}85$-ot kaptak, a színexcesszusra pedig $E(B-V) = 0\overset{\mathrm{m}}{,}56$-ot (Janes és Adler, 1982). Ezután nem jelent meg olyan publikáció, amelyben új információ lett volna.

4.4.2. Méréseim

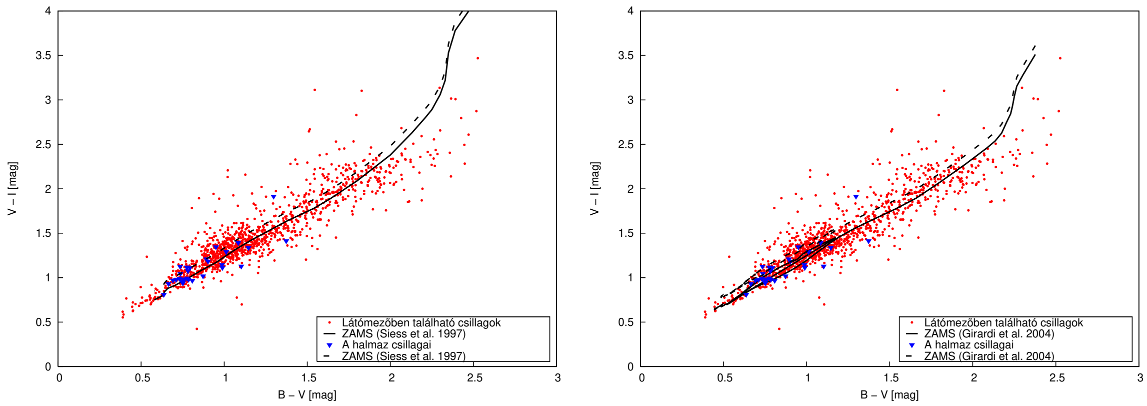
A halmaz középpontja az intenzitás alapján az $x = 490, y = 590$ pixel-koordinátákra estek, amely az $\alpha_{2000} = 00^{h}32^{m}12^{s}$ és $\delta_{2000} = 61^{\circ}33'16''$ égi koordinátáknak felel meg.

Ennél a halmaznál 100 pixel széles körapertúrát vettem, ezzel a látszó átmérőre $3{,}76 \pm 0{,}24$ ívpercet kaptam, míg a csillagsűrűségre $\sim 2{,}61 \pm 0{,}01$ csillag/négyzetívperc adódott.

A nyílthalmaz szín–szín diagramját a 43. és 44. ábra mutatja. Az izokrónok viszonylag jól illeszkednek, kivéve a jobb felső panelen látható Kenyon & Hartmann által kidolgozott elméleti modell esetén. Látható, hogy a Bessell & Brett-féle vörösödési meredekséggel – $E(V-I) = 1{,}25 \cdot E(B-V)$ – nem olyan jó az illeszkedés, mint a Schlegel-féle – $E(V-I) = 1{,}375 \cdot E(B-V)$ – vörösödési meredekséggel számolva (szaggatott vonal).

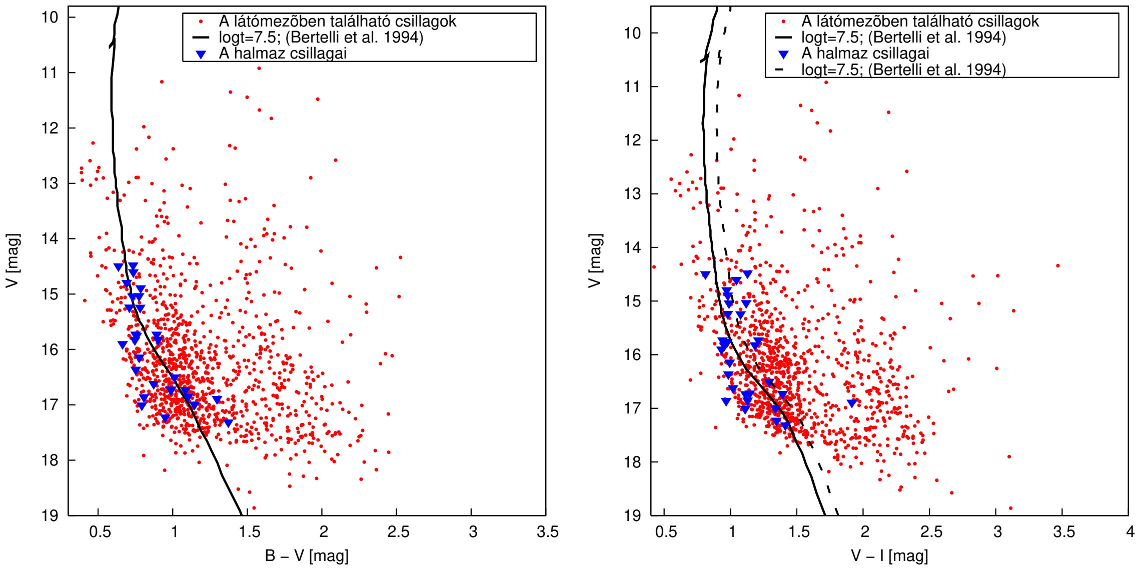


43. ábra. Az NGC 136 szín–szín diagramja I.

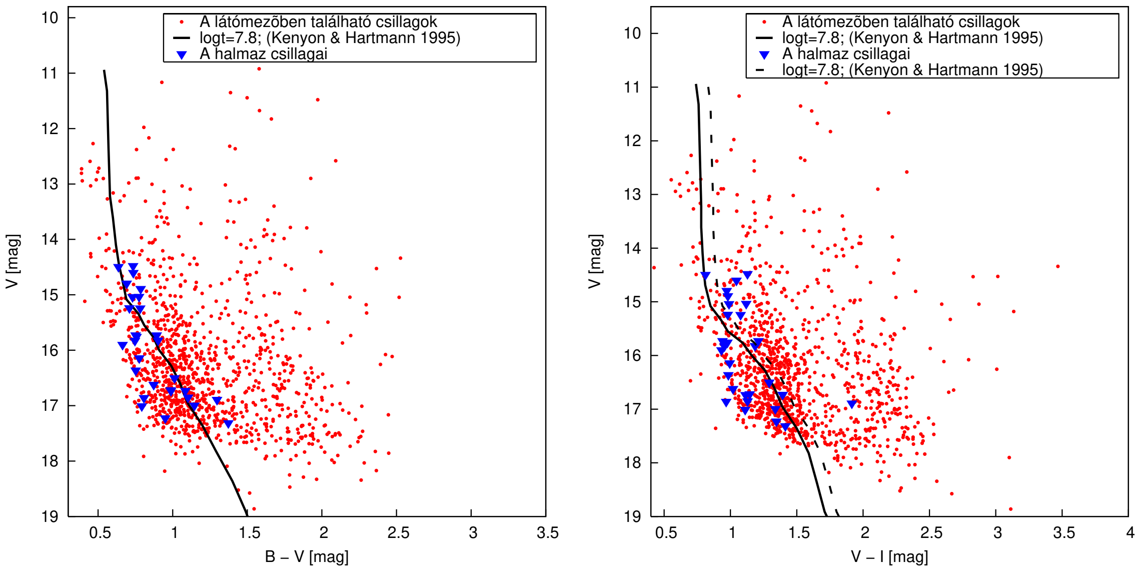


44. ábra. Az NGC 136 szín–szín diagramja II.

A kék háromszögek jelzik a halmazt és annak közvetlen környezetét. A 45. és 48. ábrák mutatják a $(B-V)$-s és $(V-I)$-s CMD-ket a különböző modellekkel; míg a 49. és 52. ábrák azt mutatják, hogy egy bizonyos modell adataival illesztve az azonos korú, de más modellekből származó izokrónok mennyire térnek el egymástól.



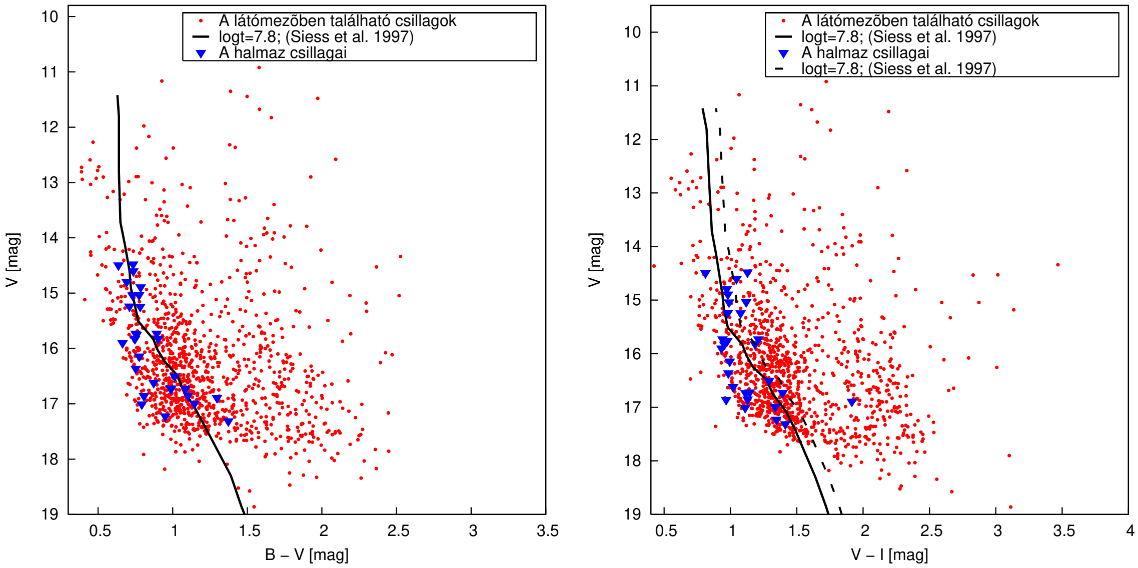
45. ábra. Az NGC 136 szín–fényesség diagramja Ia.



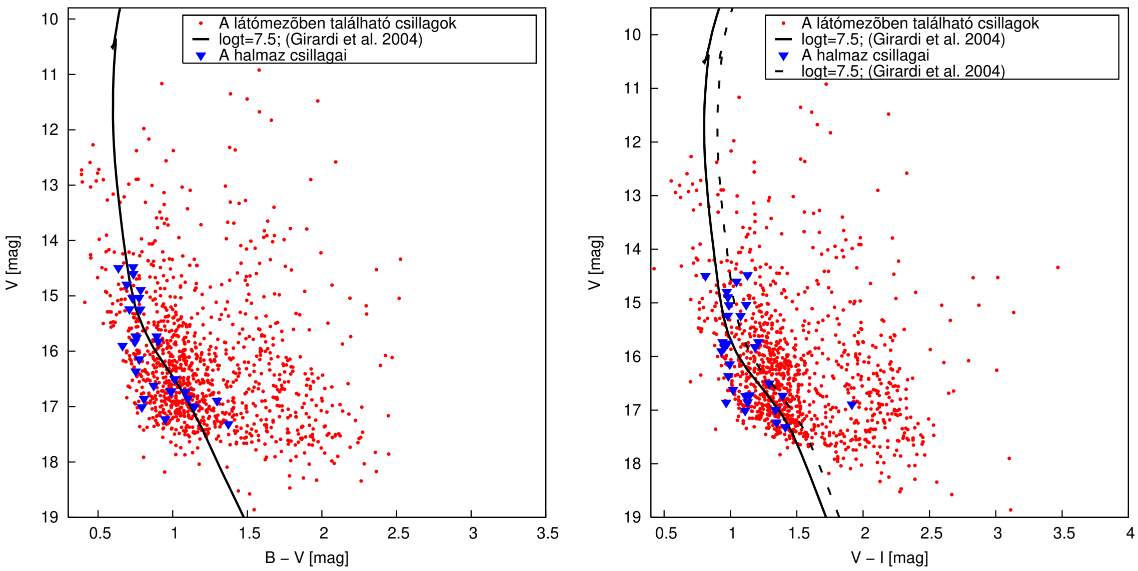
46. ábra. Az NGC 136 szín–fényesség diagramja Ib.

A 45. és 48. ábrákon látszik, hogy mindegyik modell jól illeszkedik a nyílthalmaz CMD-jére. Az ábrázolt irokrónok kora sem ölel át annyira nagy intervallumot, mint például az NGC 7296-nál. Az NGC 136 esetén a modellek kora: BemI $\longrightarrow \log t = 7{,}5$; K&HmI $\longrightarrow \log t = 7{,}8$; SimI $\longrightarrow \log t = 7{,}8$; és GimI $\longrightarrow \log t = 7{,}5$. Ezen értékekkel a halmaz rendre $\sim 31{,}5 \cdot 10^6$, $\sim 63 \cdot 10^6$, $\sim 63 \cdot 10^6$, valamint $\sim 31{,}5 \cdot 10^6$ éves.

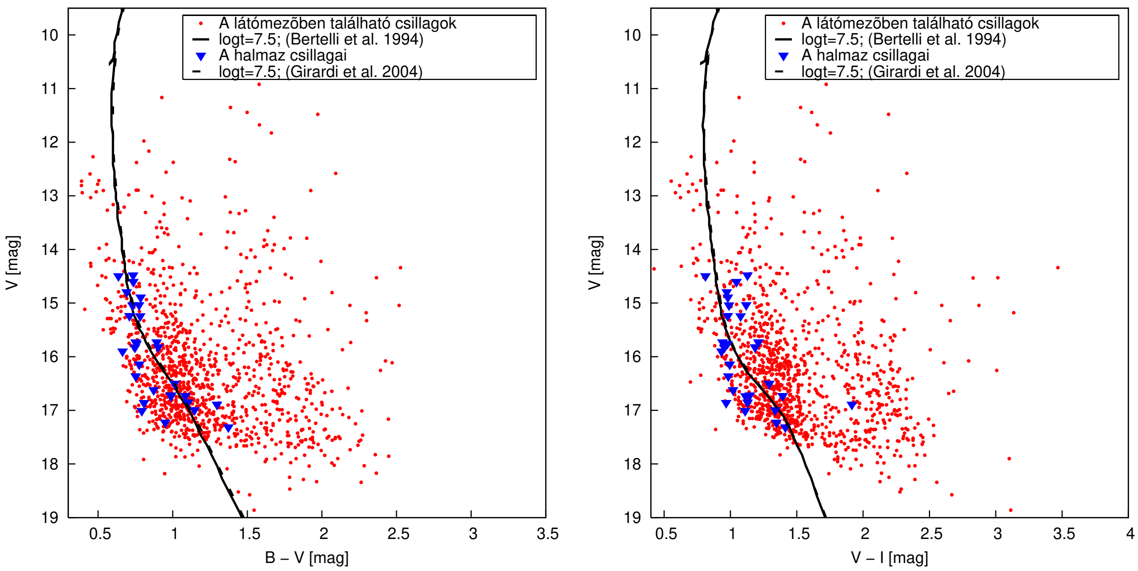
Az is észrevehető a 45. és a 48. ábrákon, hogy a $(V-I)$-s szín–fényesség diagramokon, a Schlegel-féle vörösödési meredekséggel eltolt izokrónok szebben illeszkednek, annak ellenére, hogy a szín–szín diagram alapján ez csak a Kenyon & Hartmann-féle modell esetén lenne várható.



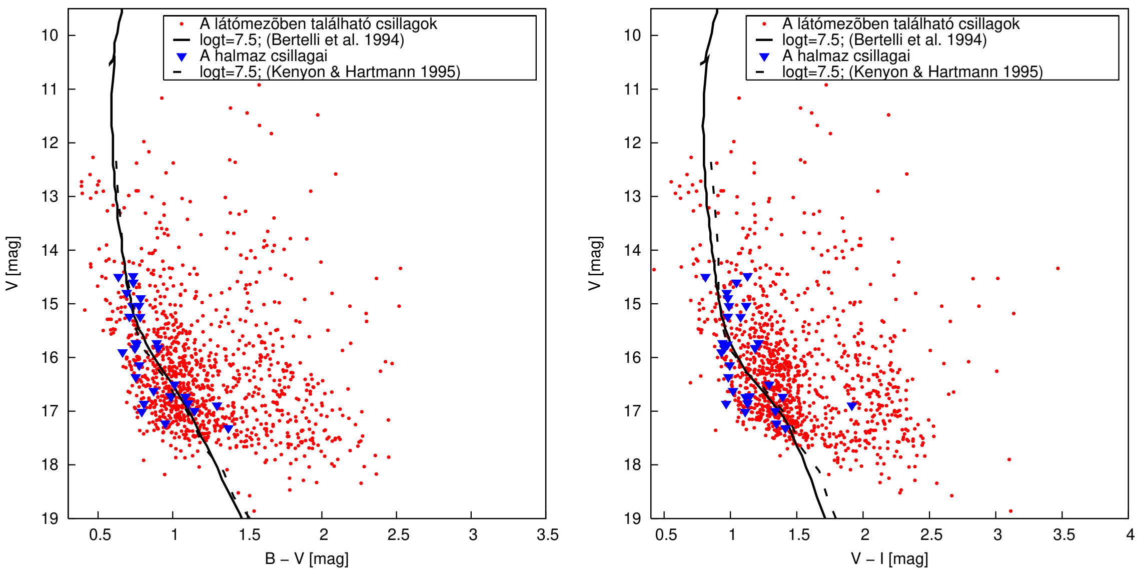
47. ábra. Az NGC 136 szín–fényesség diagramja Ic.



48. ábra. Az NGC 136 szín–fényesség diagramja Id.

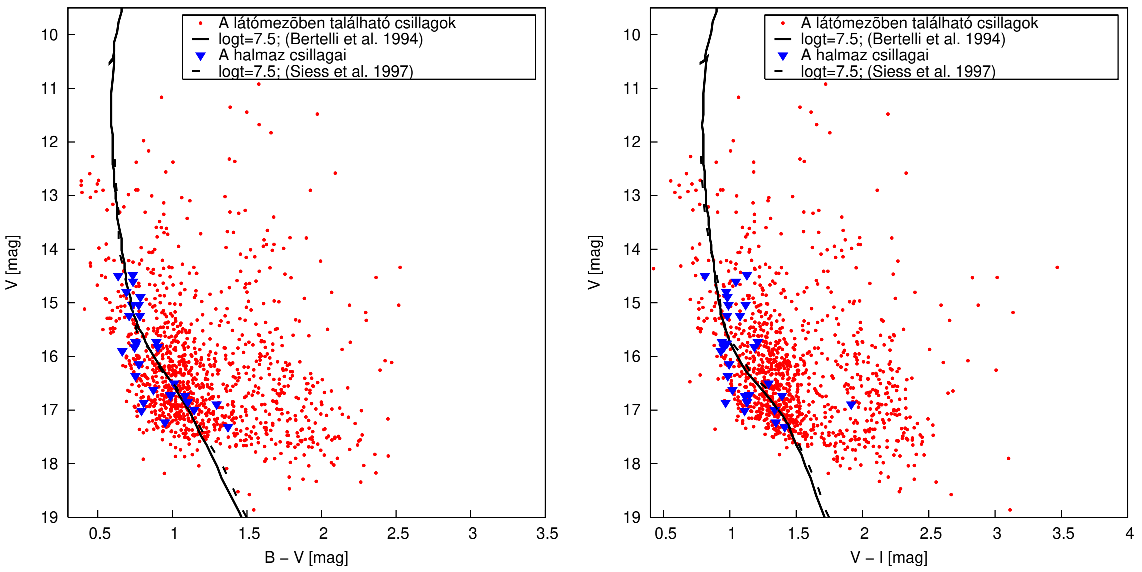


49. ábra. Az NGC 136 szín–fényesség diagramja IIa.

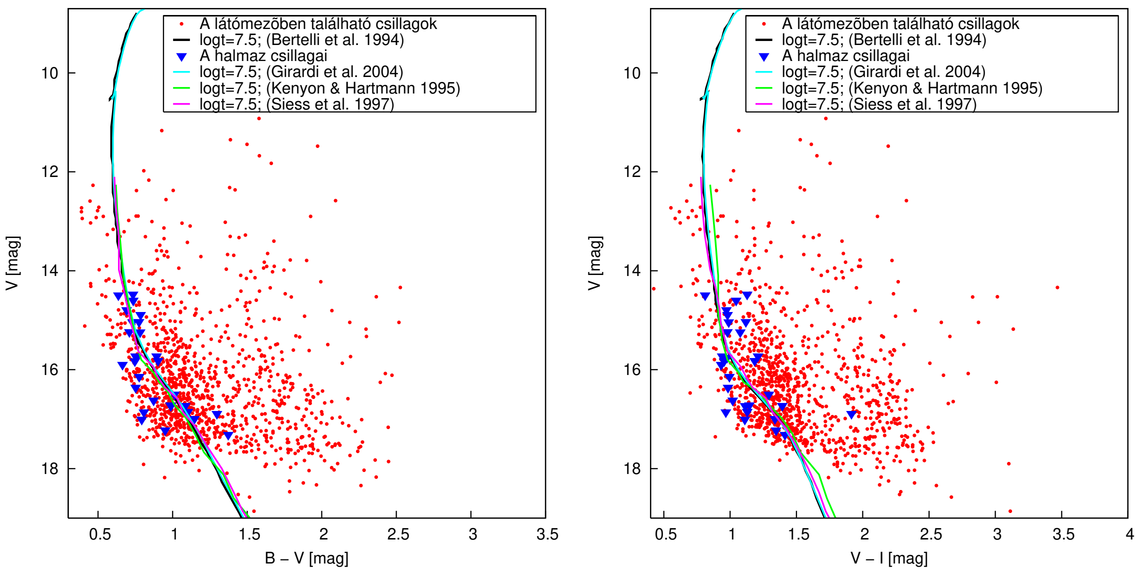


50. ábra. Az NGC 136 szín–fényesség diagramja IIb.

A 50. és a 51. ábrákon látható, hogy itt az EP már nem jelenik meg olyan markánsan; sőt szinte nem is észrevehető. Leginkább a K&HmI $(V-I)$-s (50. ábra jobb panele) CMD-n érhető tetten az eset; ott az EP $\sim 17\overset{\mathrm{m}}{.}5$-nál jelentkezik. Még a SemI-nél is fellelhető az EP – hasonló magnitúdónál –, de az eltérés nem számottevő.



51. ábra. Az NGC 136 szín–fényesség diagramja IIc.



52. ábra. Az NGC 136 szín–fényesség diagramja IId.

Az egyes modellek által kapott fontosabb adatokat a 14. táblázat, az átlagolt adatokat pedig a 15. táblázat tartalmazza.

Modell $\longrightarrow$	Bertelli et al.	Kenyon & Hartmann	Siess et al.	Girardi et al.
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}8 \pm 0{,}02$	$0{,}7 \pm 0{,}02$	$0{,}8 \pm 0{,}02$	$0{,}8 \pm 0{,}02$
$E(V-I)$ [^{m}]	$1 \pm 0{,}02$	$0{,}87 \pm 0{,}02$	$1 \pm 0{,}02$	$1 \pm 0{,}02$
A_V [^{m}]	$2{,}496 \pm 0{,}062$	$2{,}184 \pm 0{,}062$	$2{,}496 \pm 0{,}062$	$2{,}496 \pm 0{,}062$
$m-M$ [^{m}]	$14{,}1 \pm 0{,}2$	$13{,}4 \pm 0{,}2$	$14 \pm 0{,}2$	$14{,}1 \pm 0{,}2$
Távolság [pc]	2093 ± 137	1751 ± 114	1999 ± 131	2093 ± 137
log t	$7{,}5 \pm 0{,}85$	$7{,}8 \pm 0{,}6$	$7{,}8 \pm 0{,}5$	$7{,}5 \pm 0{,}85$
Kor [10^6 év]	$31{,}6^{+192{,}3}_{-27{,}1}$	$63^{+188{,}2}_{-47{,}2}$	$63^{+136{,}5}_{-43}$	$31{,}6^{+192{,}3}_{-27{,}1}$
d_{val} [pc]	$2{,}29 \pm 0{,}15$	$1{,}91 \pm 0{,}13$	$2{,}19 \pm 0{,}14$	$2{,}29 \pm 0{,}15$
ρ_f [$*/pc^2$]	$7{,}04 \pm 0{,}83$	$10{,}14 \pm 1{,}27$	$7{,}71 \pm 0{,}9$	$7{,}04 \pm 0{,}83$

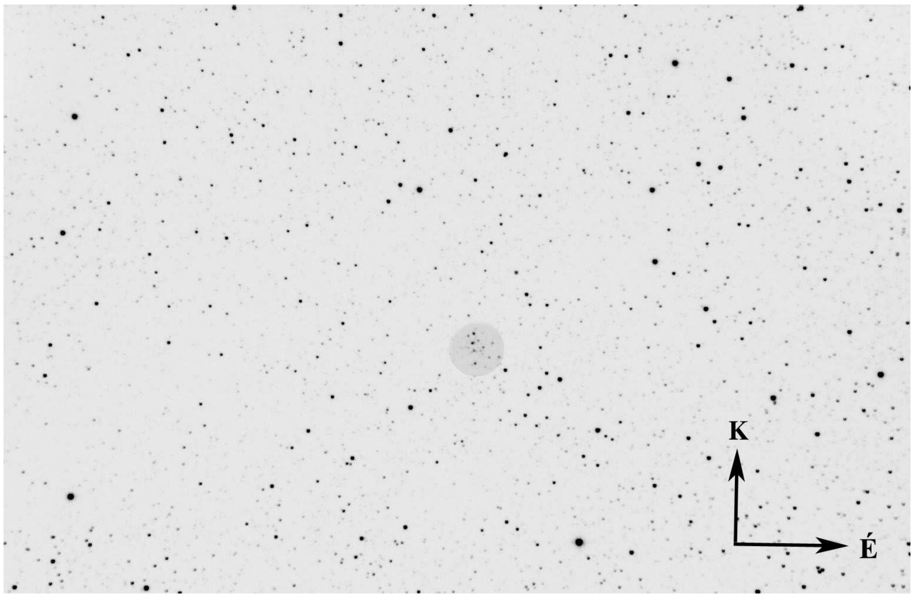
14. táblázat. Az NGC 136 fontosabb meghatározott adatai

Paraméterek	Átlagértékek
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}775 \pm 0{,}05$
$E(V-I)$ [^{m}]	$0{,}967 \pm 0{,}065$
A_V [^{m}]	$2{,}418 \pm 0{,}156$
$m-M$ [^{m}]	$13{,}9 \pm 0{,}34$
Távolság [pc]	$1984 \pm 161{,}5$
log t	$7{,}65 \pm 0{,}2$
Kor [10^6 év]	$44{,}7^{+26{,}1}_{-16{,}5}$
d_{val} [pc]	$2{,}17 \pm 0{,}18$
ρ_f [$*/pc^2$]	$7{,}98 \pm 1{,}47$

15. táblázat. Az NGC 136 esetén meghatározott fontosabb adatok átlaga

4.5. Az NGC 6846

4.5.1. Az eddigi mérések



53. ábra. Az NGC 6846 képe; a sötétebb terület jelöli a halmazt

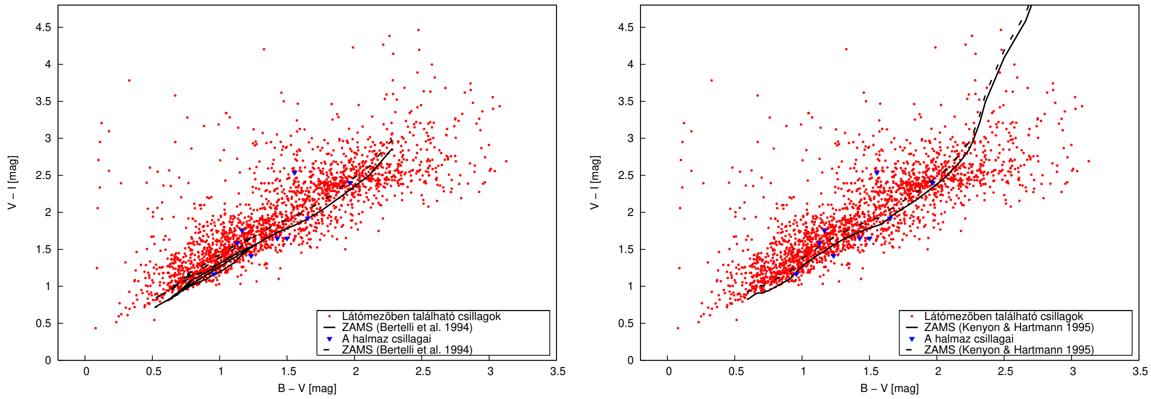
A nyílthalmaz a Cygnus (Hattyú) csillagképben található. Égi koordinátái az FK5 rendszerben: $\alpha_{2000} = 19^{\mathrm{h}}56\overset{\mathrm{m}}{.}28\overset{''}{.}8$ és $\delta_{2000} = 32^\circ21'16''$. Galaktikus koordinátái: $l = 68\overset{\circ}{.}7, b = -1\overset{\circ}{.}92$. Ezzel a halmazzal csak egy publikáció foglalkozik, az is a XX. század első negyedében (Pease, 1920). Gyakorlatilag nem is ír a halmaz paramétereiről, csak annyit fogalmaz meg, hogy a Tejútrendszer sűrű régiójában helyezkedik el.

4.5.2. Méréseim

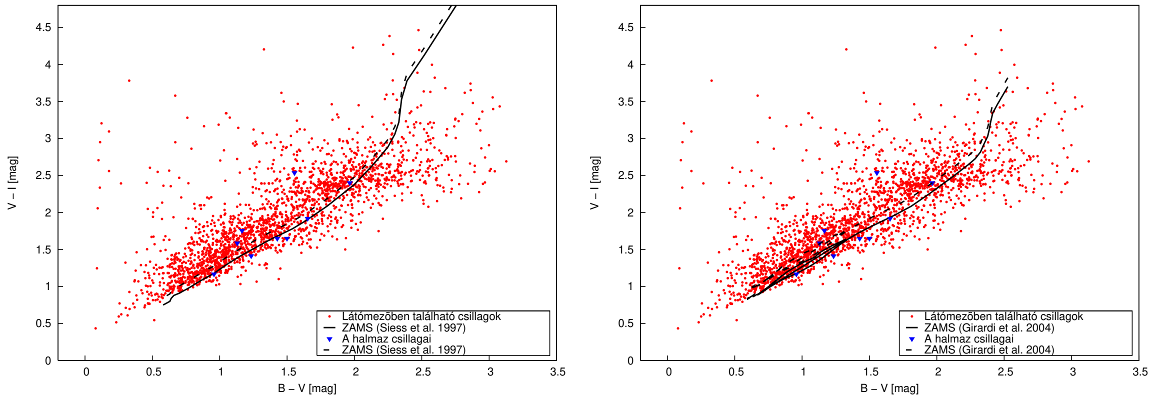
A halmaz középpontjának koordinátái az intenzitás alapján az $x = 797, y = 426$ pixelkoordinátákra estek, amely az $\alpha_{2000} = 19^{\mathrm{h}}58^{\mathrm{m}}05^{\mathrm{s}}$ és $\delta_{2000} = 32°21'53''$ égi koordinátáknak felel meg.

A halmaz kompaktsága miatt 50 pixel széles körapertúrát vettem, így a látszó átmérőre $1{,}88 \pm 0{,}13$ ívpercet, míg a csillagsűrűségre $\sim 3{,}24 \pm 0{,}01$ csillag/négyzetívpercet kaptam.

A nyílthalmaz szín–szín diagramját az 54. és 55. ábra mutatja. Mivel kevés a jól fotometrálható csillag a halmazban (túl halvány) és a környezet pedig elég sűrű, ezért a kicsit nagyobb szórású szín–szín diagramra nehezebb volt jól illeszteni a modelleket. Látható is, hogy szinte mindegy – jelen esetben –, melyik vörösödési meredekséggel illesztjük az izokrónokat. Azonban ez nem minden esetben lehetséges; elég, ha az eddigi esetekre gondolunk.

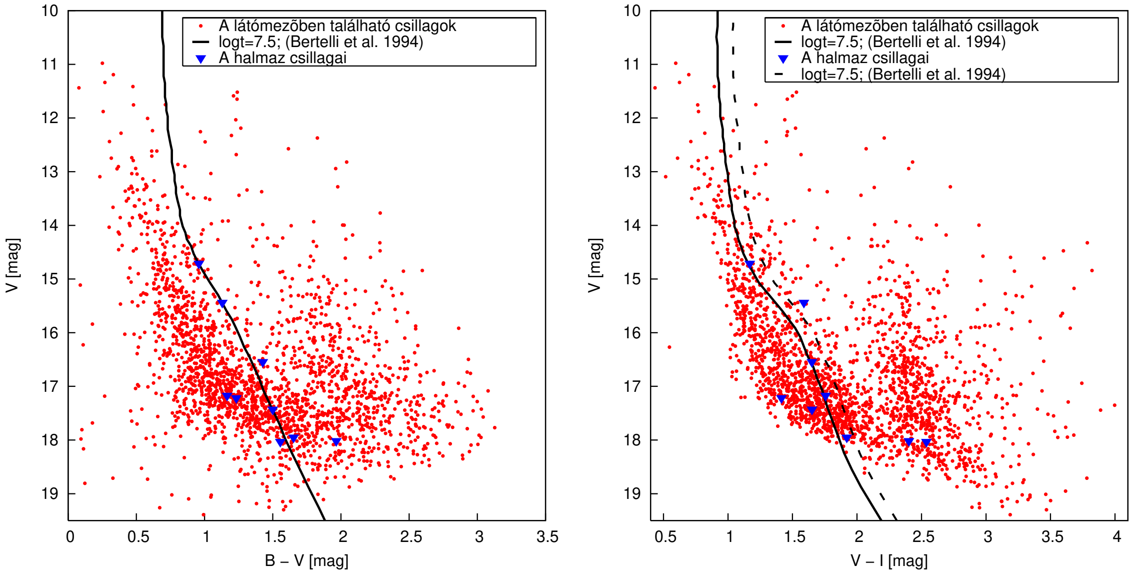


54. ábra. Az NGC 6846 szín–szín diagramja I.

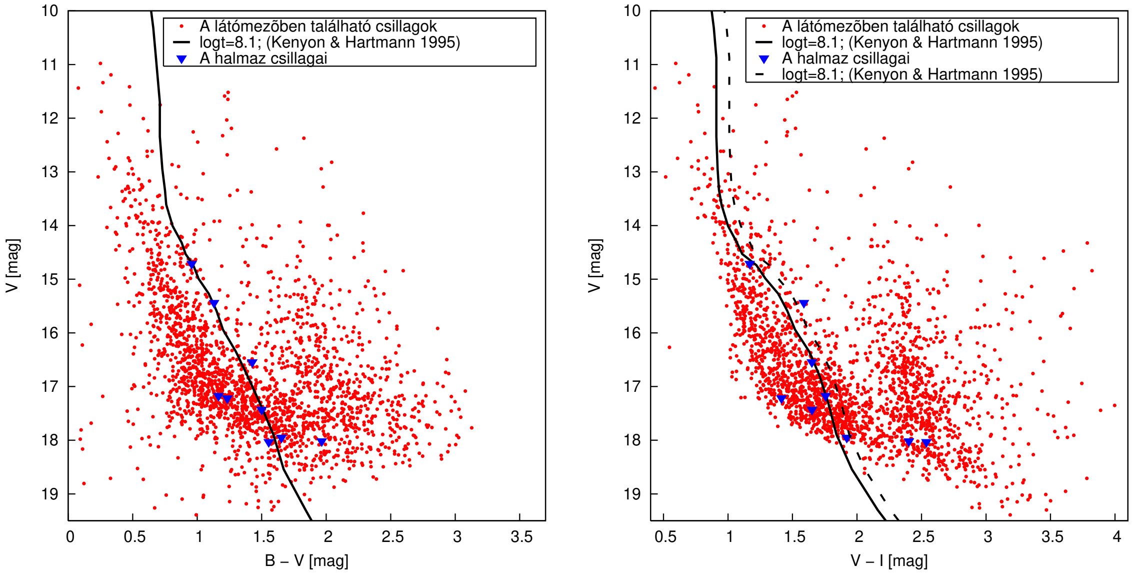


55. ábra. Az NGC 6846 szín–szín diagramja II.

A kék háromszögek jelzik a halmazt és annak közvetlen környezetét. Az 56. és 59. ábrák mutatják a $(B-V)$-s és $(V-I)$-s CMD-ket a különböző modellekkel, míg az 60. és 63. ábrák azt mutatják, hogy egy bizonyos modell adataival illesztve az azonos korú, de más modellekből származó izokrónok mennyire térnek el egymástól.

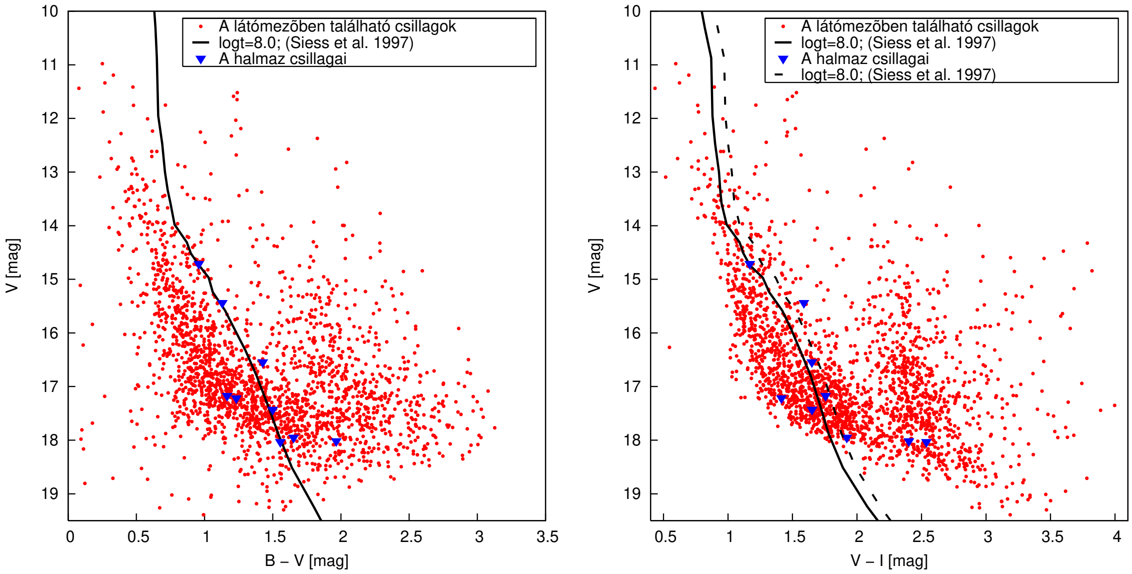


56. ábra. Az NGC 6846 szín–fényesség diagramja Ia.

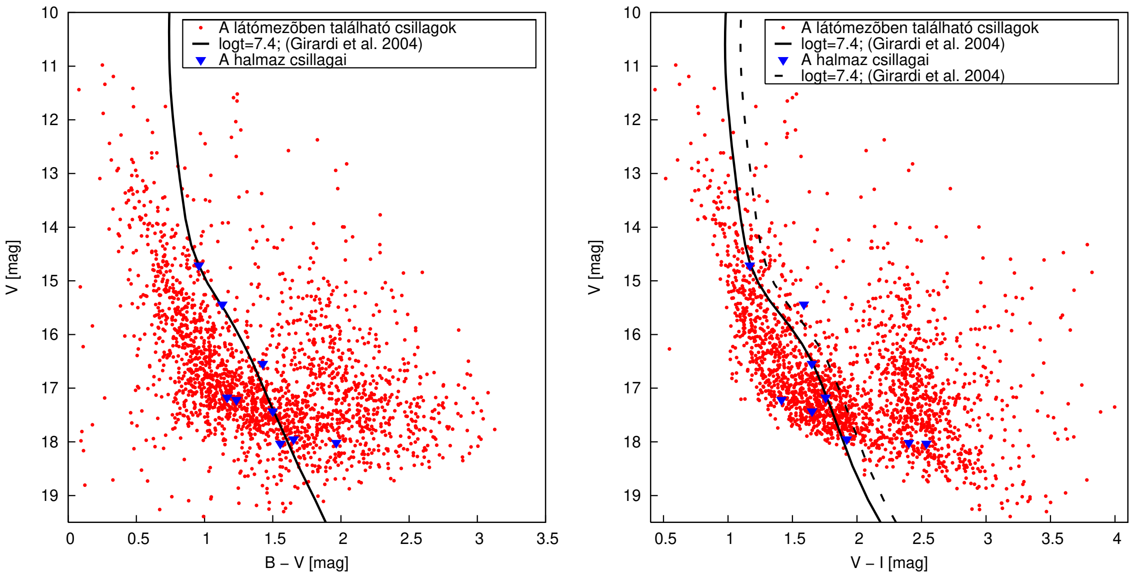


57. ábra. Az NGC 6846 szín–fényesség diagramja Ib.

Az 56. és a 59. ábrákon több dolog is látszik. Az első az, hogy gyakorlatilag mindegyik modell jól illeszkedik a nyílthalmaz CMD-jére. A másik, hogy a $(V-I)$-s CMD-k esetén nem illeszkednek ugyanolyan jól a Schlegel-féle vörösödési meredekséggel eltolt izokrónok (szaggatott vonal), mint a Bessell & Brett-félék (folytonos vonal). Ez a szín–szín diagramra gondolva – ahol szinte mindegy volt, hogy melyik törvénnyel lettek illesztve a modellek – meglepő lehet. Azonban az is igaz, hogy nincsen nagy eltérés a két fajta vörösödési törvénnyel illesztett izokrónok pozíciója között. Talán a legfontosabb, hogy a halmaz jól láthatóan elkülönül a környező csillagok által kirajzolódó főágától, és attól kissé jobbra helyezkedik el, azaz a nyílthalmaz határozottan vörösebb, mint a látómezőben levő többi csillag. Ez esetleg utalhat arra, hogy a halmaz irányában több a csillagközi anyag, így az onnan érkező fény halványabb és vörösebb.

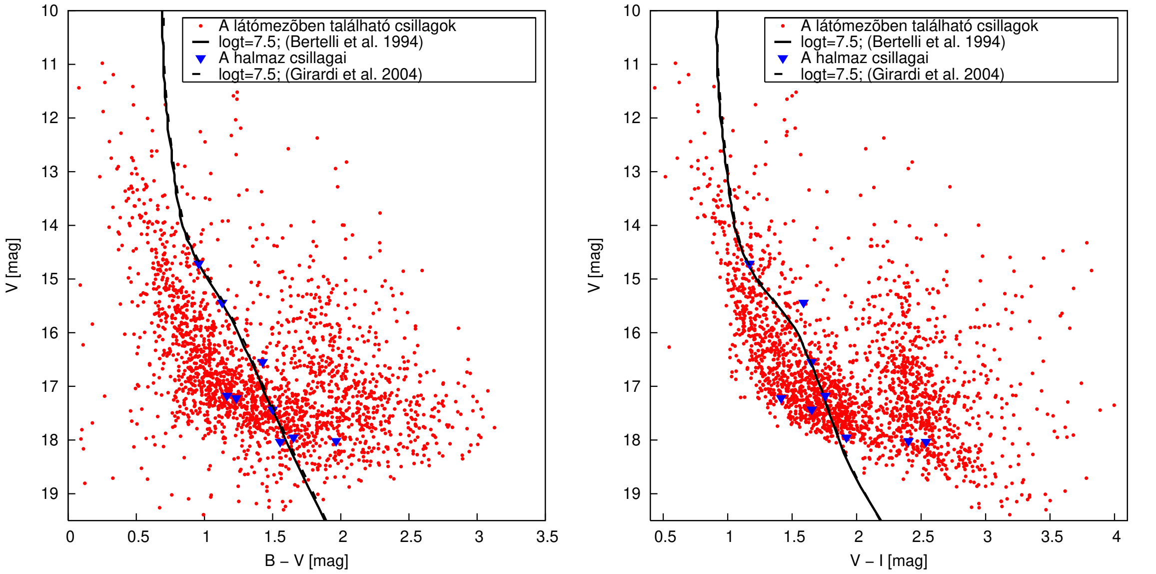


58. ábra. Az NGC 6846 szín–fényesség diagramja Ic.

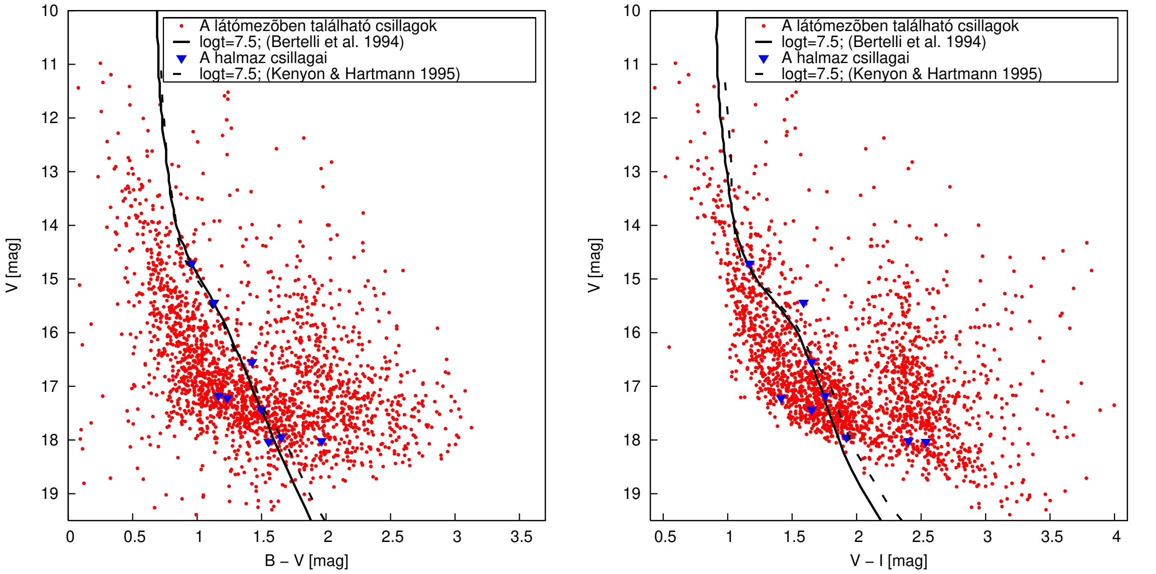


59. ábra. Az NGC 6846 szín–fényesség diagramja Id.

Az illesztett izokrónok kora: BemI $\longrightarrow \log t = 7{,}5$; K&HmI $\longrightarrow \log t = 8{,}1$; SemI $\longrightarrow \log t = 8{,}0$, és GimI $\longrightarrow \log t = 7{,}4$, így a nyílthalmaz rendre $\sim 31{,}5 \cdot 10^6$, $\sim 126 \cdot 10^6$, $100 \cdot 10^6$ és $\sim 25 \cdot 10^6$ éves.

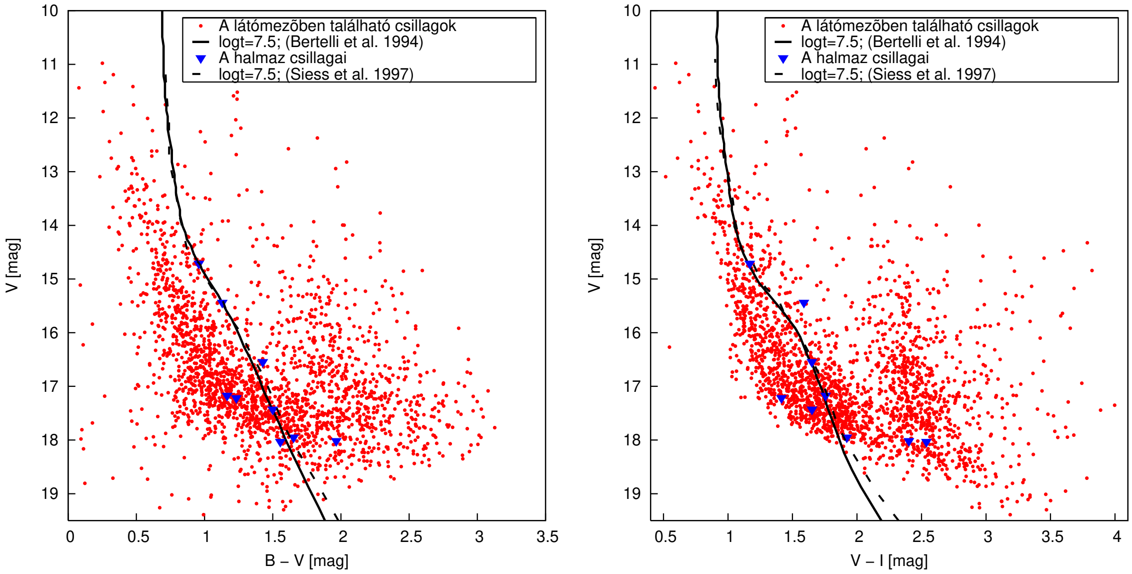


60. ábra. Az NGC 6846 szín–fényesség diagramja IIa.

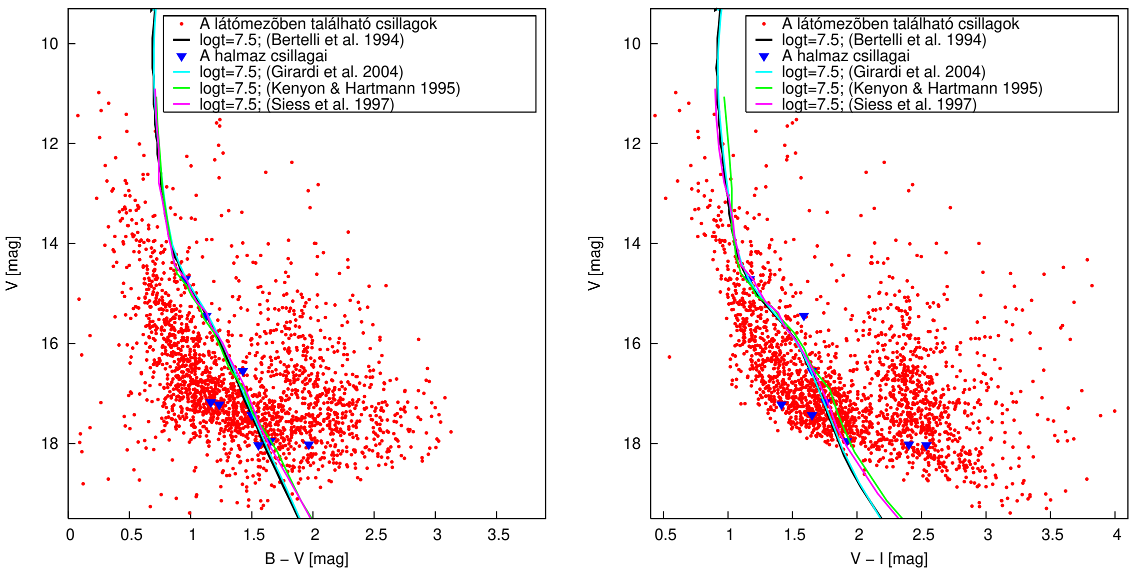


61. ábra. Az NGC 6846 szín–fényesség diagramja IIb.

A 61. és a 62. ábrákon újra jobban láthatóvá vált az EP, főleg a $(V-I)$-s CMD-éknél. Itt az EP nagyjából $\sim 16^{m}.5$-nál (K&HmI) és $\sim 17^{m}.5$-nál (SimI) jelentkezik.



62. ábra. Az NGC 6846 szín–fényesség diagramja IIc.



63. ábra. Az NGC 6846 szín–fényesség diagramja IId.

Az egyes modellek által kapott fontosabb adatokat a 16. táblázat tartalmazza. Az átlagolt értékek a 17. táblázatban vannak.

Modell $\longrightarrow$	Bertelli et al.	Kenyon & Hartmann	Siess et al.	Girardi et al.
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}9 \pm 0{,}02$	$0{,}8 \pm 0{,}02$	$0{,}8 \pm 0{,}02$	$0{,}95 \pm 0{,}02$
$E(V-I)$ [^{m}]	$1{,}12 \pm 0{,}02$	$1 \pm 0{,}02$	$1 \pm 0{,}02$	$1{,}19 \pm 0{,}02$
A_V [^{m}]	$2{,}808 \pm 0{,}062$	$2{,}496 \pm 0{,}062$	$2{,}496 \pm 0{,}062$	$2{,}964 \pm 0{,}062$
$m-M$ [^{m}]	$12{,}9 \pm 0{,}2$	$12{,}4 \pm 0{,}2$	$12{,}5 \pm 0{,}2$	$13{,}2 \pm 0{,}2$
Távolság [pc]	1043 ± 69	957 ± 62	1002 ± 66	1115 ± 73
log t	$7{,}5 \pm 0{,}7$	$8{,}1 \pm 0{,}5$	$8{,}0 \pm 0{,}6$	$7{,}4 \pm 0{,}75$
Kor [10^6 év]	$31{,}6^{+126{,}9}_{-25{,}3}$	$125{,}9^{+272{,}1}_{-100{,}8}$	$100^{+298}_{-74{,}9}$	$25{,}1^{+116{,}1}_{-20{,}6}$
d_{val} [pc]	$0{,}57 \pm 0{,}04$	$0{,}52 \pm 0{,}04$	$0{,}55 \pm 0{,}03$	$0{,}61 \pm 0{,}04$
ρ_f [$*/pc^2$]	36 ± 5	43 ± 7	$37{,}5 \pm 2{,}9$	31 ± 4

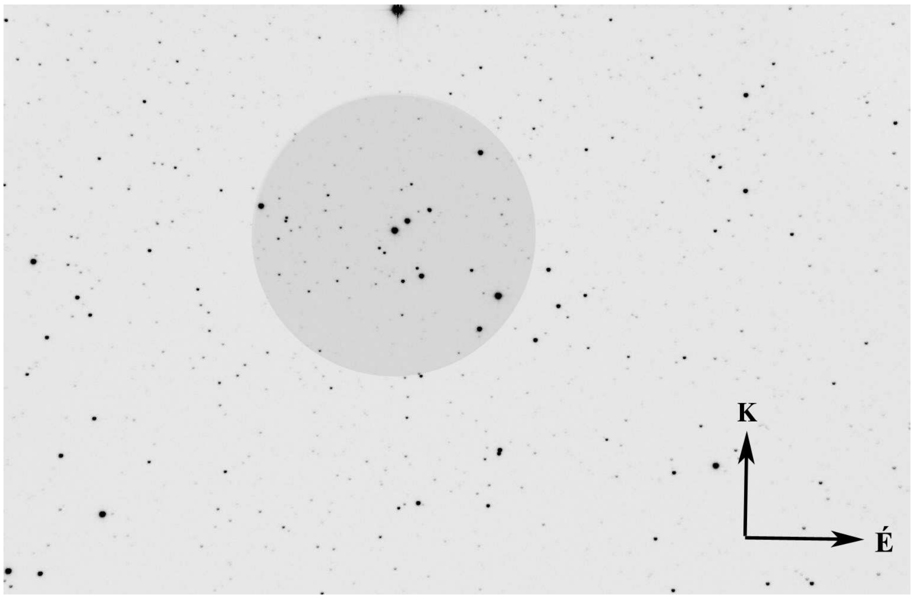
16. táblázat. Az NGC 6846 fontosabb meghatározott adatai

Paraméterek	Átlagértékek
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}862 \pm 0{,}075$
$E(V-I)$ [^{m}]	$1{,}077 \pm 0{,}094$
A_V [^{m}]	$2{,}691 \pm 0{,}234$
$m-M$ [^{m}]	$12{,}75 \pm 0{,}37$
Távolság [pc]	$1029 \pm 67{,}3$
log t	$7{,}75 \pm 0{,}35$
Kor [10^6 év]	$56{,}2^{+69{,}7}_{-31{,}1}$
d_{val} [pc]	$0{,}56 \pm 0{,}04$
ρ_f [$*/pc^2$]	$36{,}9 \pm 4{,}94$

17. táblázat. Az NGC 6846 esetén meghatározott fontosabb adatok átlaga

4.6. Az NGC 7429

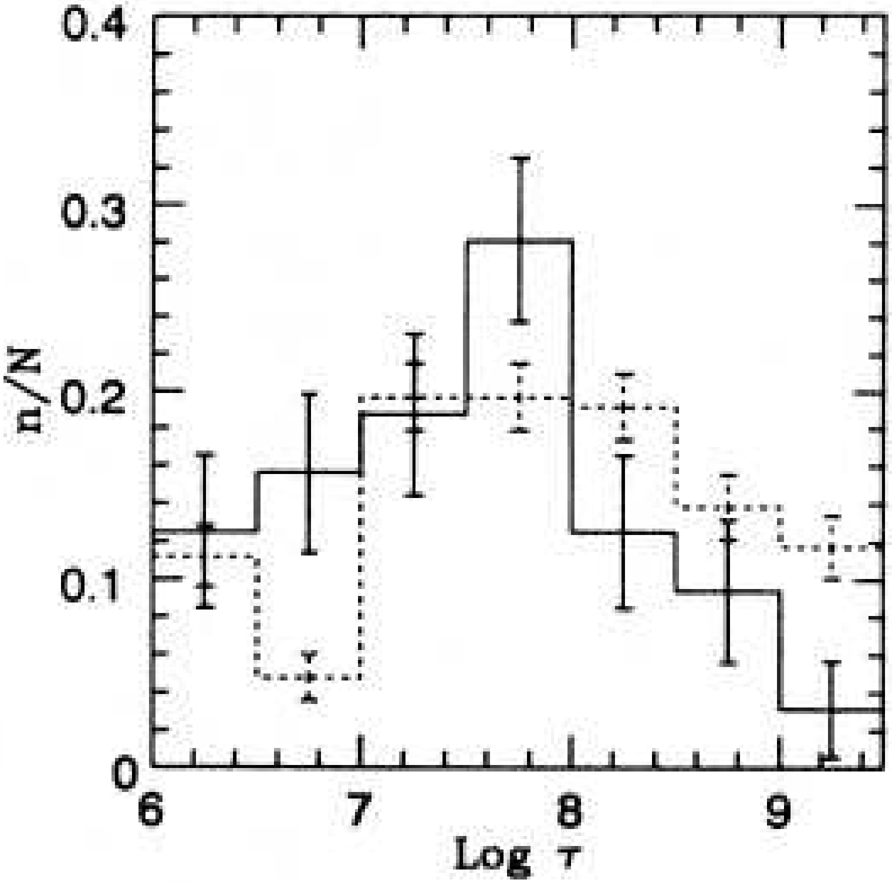
4.6.1. Az eddigi mérések



64. ábra. Az NGC 7429 képe; a sötétebb terület jelöli a halmazt

A nyílthalmaz a Cepheus csillagképben található. Égi koordinátái az FK5 rendszerben: $\alpha_{2000} = 22^{\mathrm{h}}55\overset{\mathrm{m}}{.}9$ és $\delta_{2000} = 59°59'$. Galaktikus koordinátái: $l = 108\overset{\circ}{.}95, b = +0\overset{\circ}{.}29$. Ezzel a halmazzal is csak egy publikáció foglalkozik (Subramaniam és mtsai., 1995), akik lehetséges kettős halmazként írják le az NGC 7429-et a térbeli elhelyezkedés és szeparáció alapján. Csupán egy listát tartalmazó táblázatban jelzik a halmaz egyes paramétereit (galaktikus koordináták, távolság), amelyek alapja a Lyngå-katalógus (Lyngå, 1987). Bizonyos halmazok esetén más adatok (kor és radiális sebesség-adatok (Mermilliod, 1994)) is fel vannak tüntetve. A halmaz távolsága a táblázatban 1920 parszek. A publikáció szerzői kimutatták, hogy minél öregebbek a halmazok, annál kevesebb kettős halmaz található a Galaxisban (65. ábra).

A folytonos vonal mutatja a kettős, míg a szaggatott vonal jelképezi a magányos halmazokat.



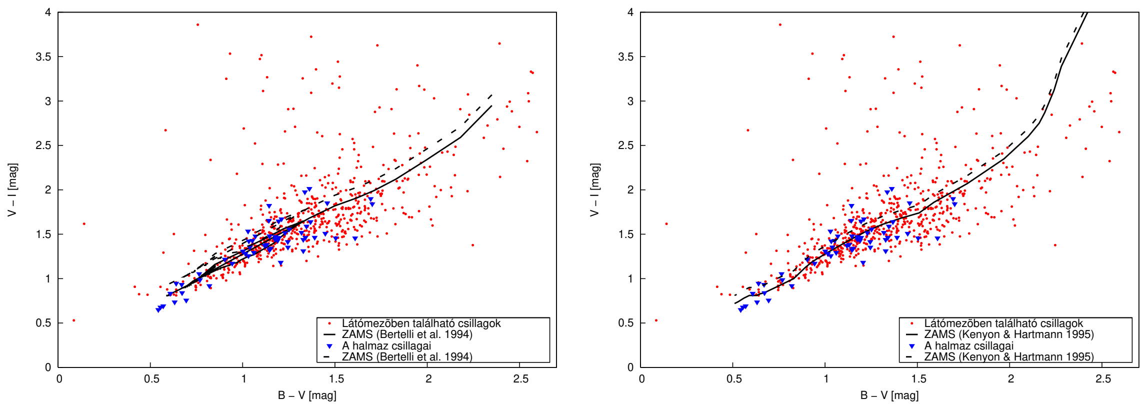
65. ábra. A halmazok száma a halmazok korának függvényében (Subramaniam, 1995)

4.6.2. Méréseim

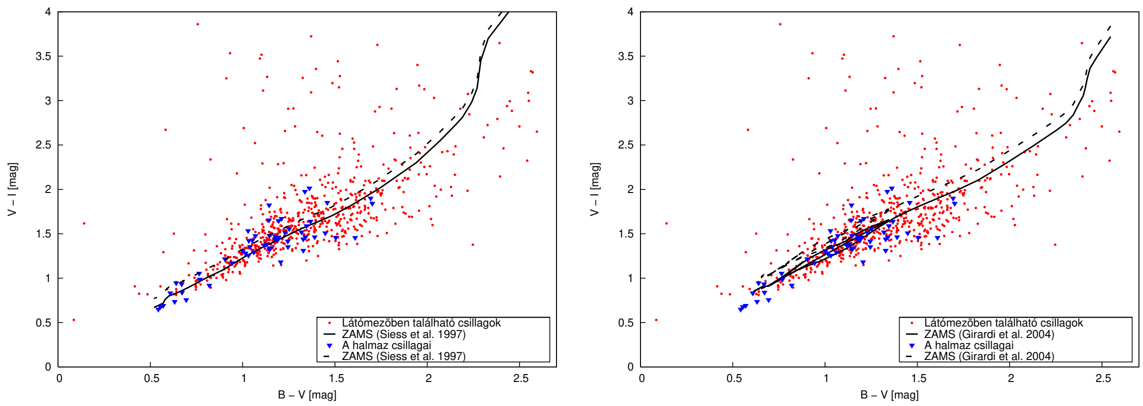
A halmaz középpontjának koordinátái az intenzitás alapján az $x = 800, y = 600$ pixelkoordinátákra estek, amely az $\alpha_{2000} = 22^{\mathrm{h}}56^{\mathrm{m}}16^{\mathrm{s}}$ és $\delta_{2000} = 59°59'54''$ égi koordinátáknak felel meg.

A halmaz laza szerkezetű ezért 190 pixel széles körapertúrát vettem, így a látszó átmérőre $7{,}16 \pm 0{,}48$ ívpercet, míg a csillagsűrűségre $\sim 1{,}4 \pm 0{,}01$ csillag/négyzetívpercet kaptam.

A nyílthalmaz szín–szín diagramját mutatja a 66. és 67. ábra. Mint látszik mindegyik modell viszonylag jól illeszkedik a halmaz szín–szín diagramjára. Ebben az esetben a Bessell & Brett-féle vörösödési meredekségű izokrónok a jobbak.



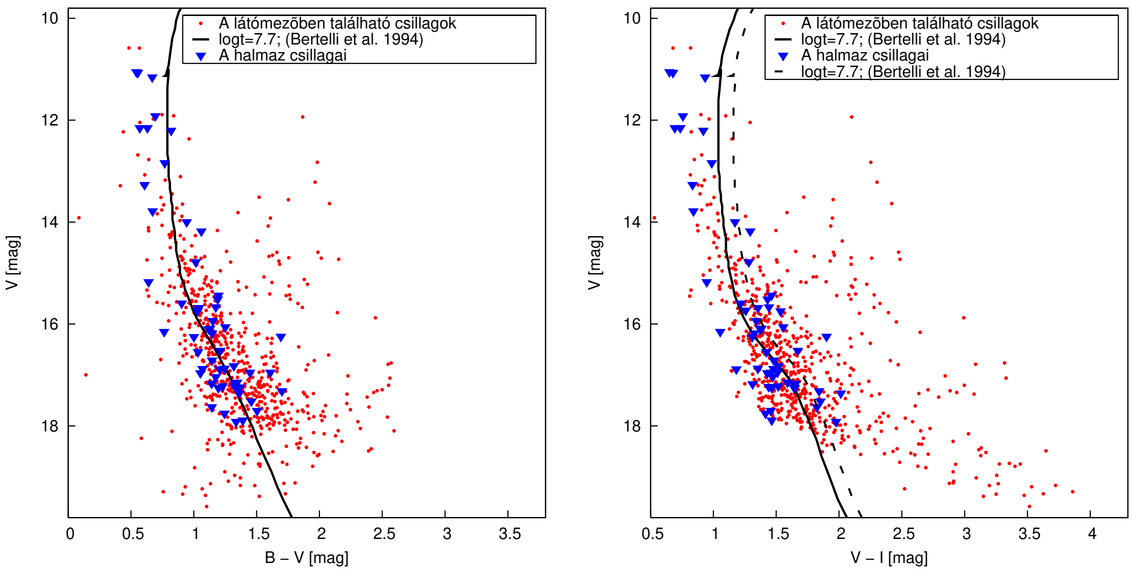
66. ábra. Az NGC 7429 szín–szín diagramja I.



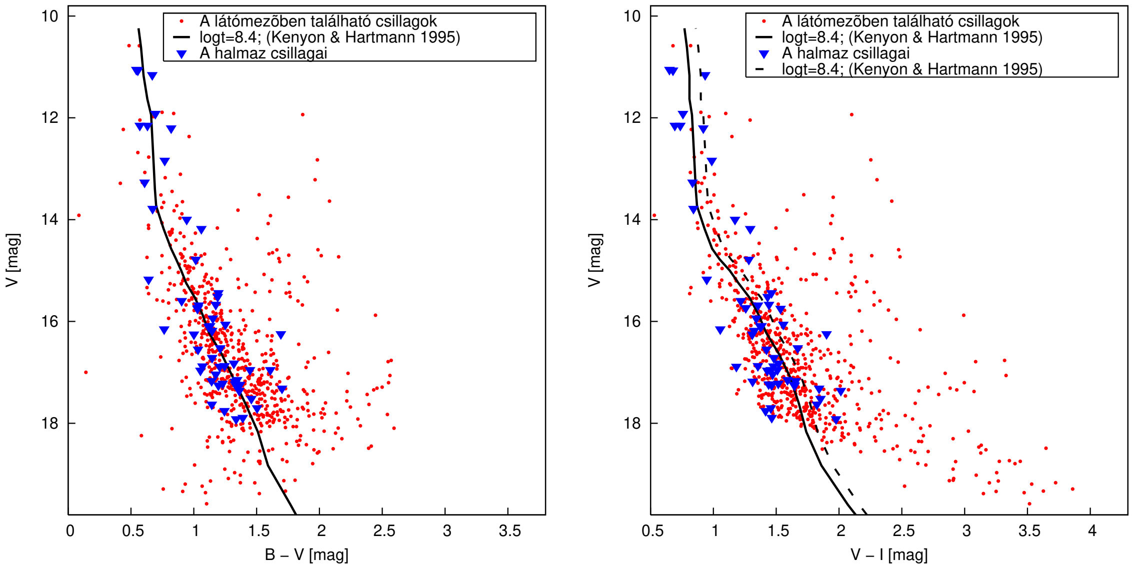
67. ábra. Az NGC 7429 szín–szín diagramja II.

A kék háromszögek jelzik a halmazt és annak közvetlen környezetét. A 68. és 71. ábrák mutatják a $(B - V)$-s és $(V - I)$-s CMD-ket a különböző modellekkel, míg a 72. és 75. ábrák azt mutatják, hogy egy bizonyos modell adataival illesztve az azonos korú, de más modellekből származó izokrónok mennyire térnek el egymástól.

A 69. és a 70. ábrán látható, hogy a nyílthalmazra a K&HmI és a SimI illeszkedik a



68. ábra. Az NGC 7429 szín–fényesség diagramja Ia.

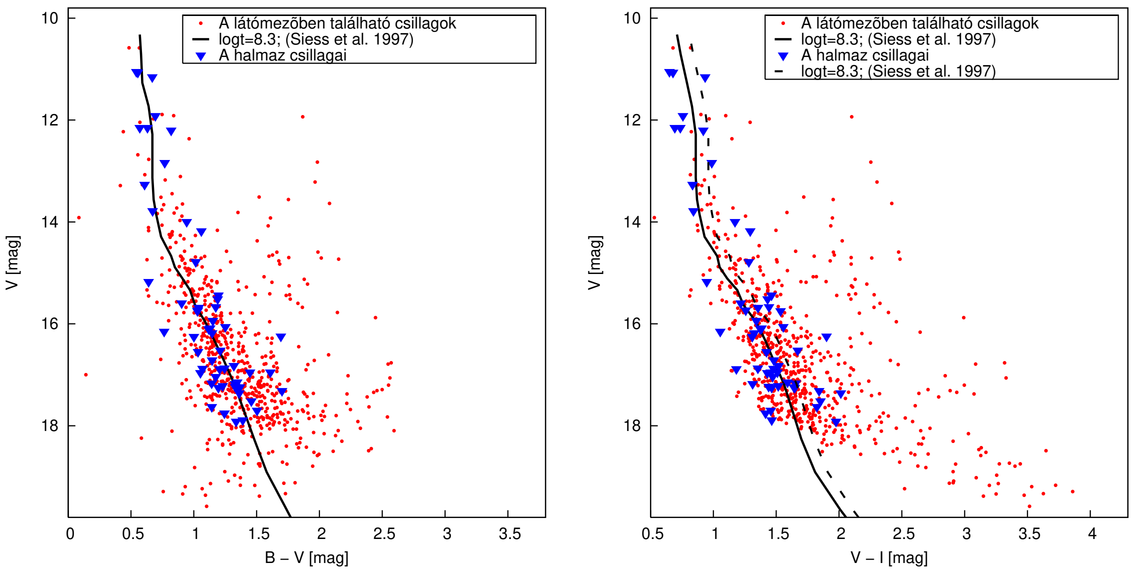


69. ábra. Az NGC 7429 szín–fényesség diagramja Ib.

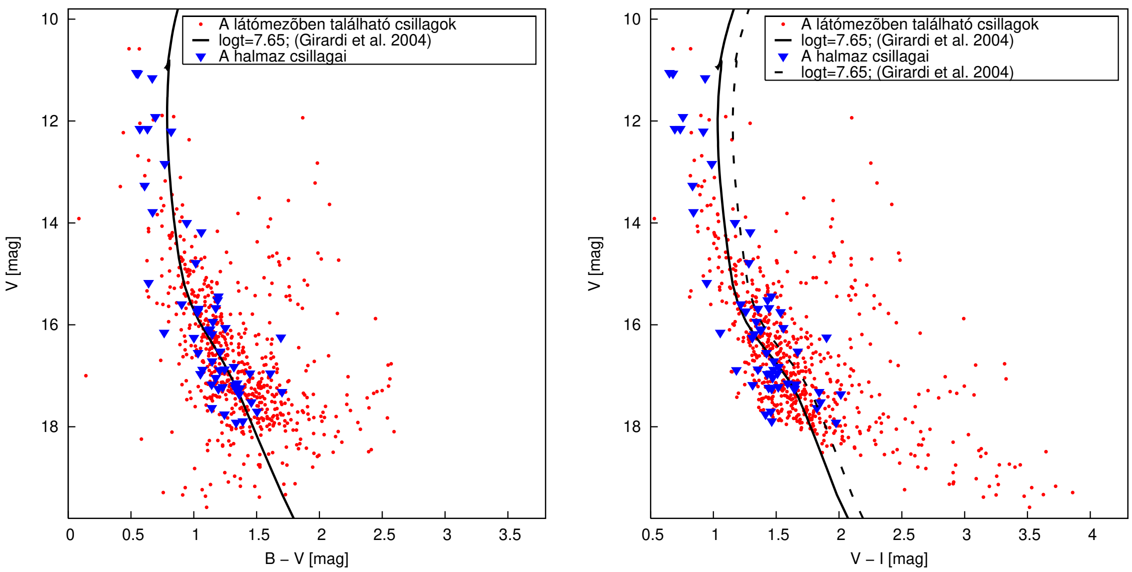
legjobban. Hasonlóan az NGC 7296-hoz, itt sem lehetett jól illeszteni a BemI-t és GimI-t a fényesebb $(\sim 10\overset{\mathrm{m}}{,}5 - 13\overset{\mathrm{m}}{,}9)$ és kékebb $(B-V) \approx 0\overset{\mathrm{m}}{,}5 - 0\overset{\mathrm{m}}{,}8$ csillagok esetén.

A szín–fényesség diagramra a következő korú izokrónok lettek illesztve: BemI $\longrightarrow$ $\log t = 7{,}7$; K&HmI $\longrightarrow$ $\log t = 8{,}4$; SimI $\longrightarrow$ $\log t = 8{,}3$ valamint GimI $\longrightarrow$ $\log t = 7{,}65$, így a halmaz rendre $\sim 50 \cdot 10^6$, $\sim 251 \cdot 10^6$, $\sim 199{,}5 \cdot 10^6$, és $\sim 44{,}5 \cdot 10^6$ éves.

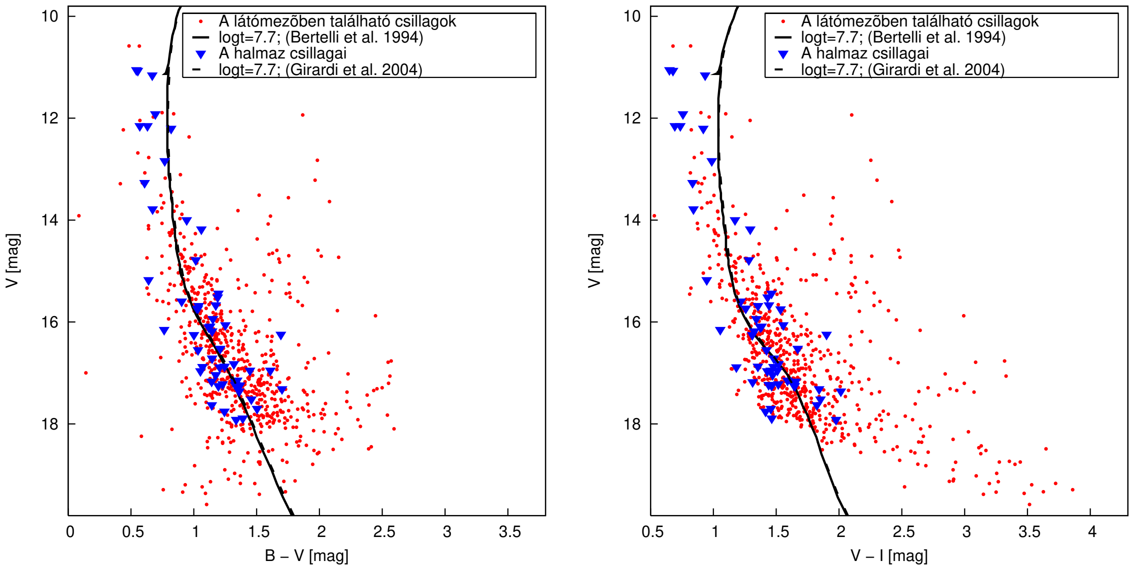
Látható, hogy a $(V-I)$-s CMD-re nem illeszkednek olyan jól a Schlegel-féle vörösödési meredekségű izokrónok, ahogy ez a szín–szín diagram alapján valószínűsíthető.



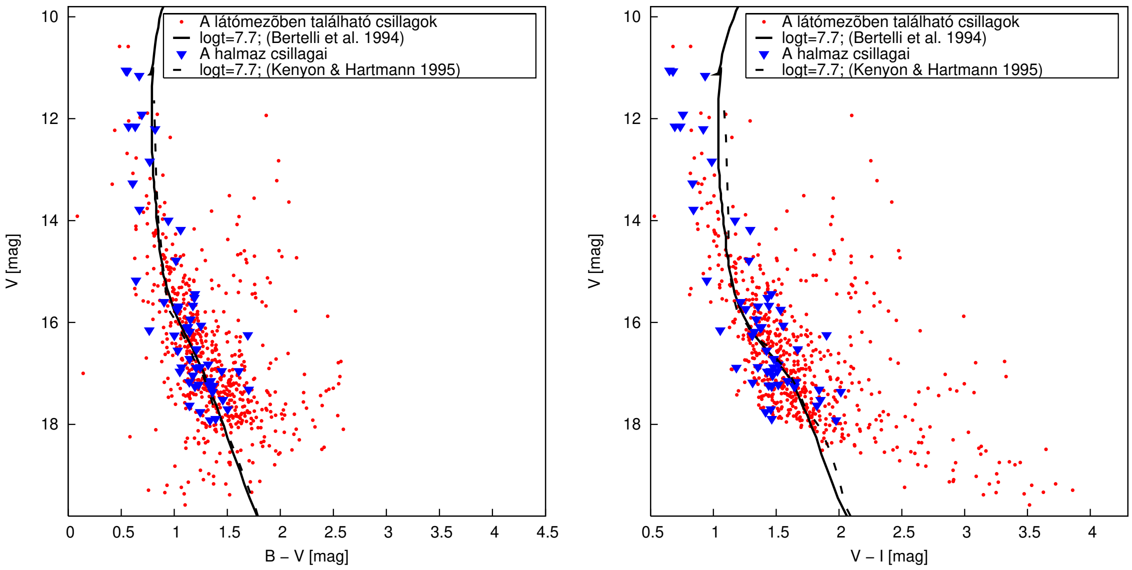
70. ábra. Az NGC 7429 szín–fényesség diagramja Ic.



71. ábra. Az NGC 7429 szín–fényesség diagramja Id.

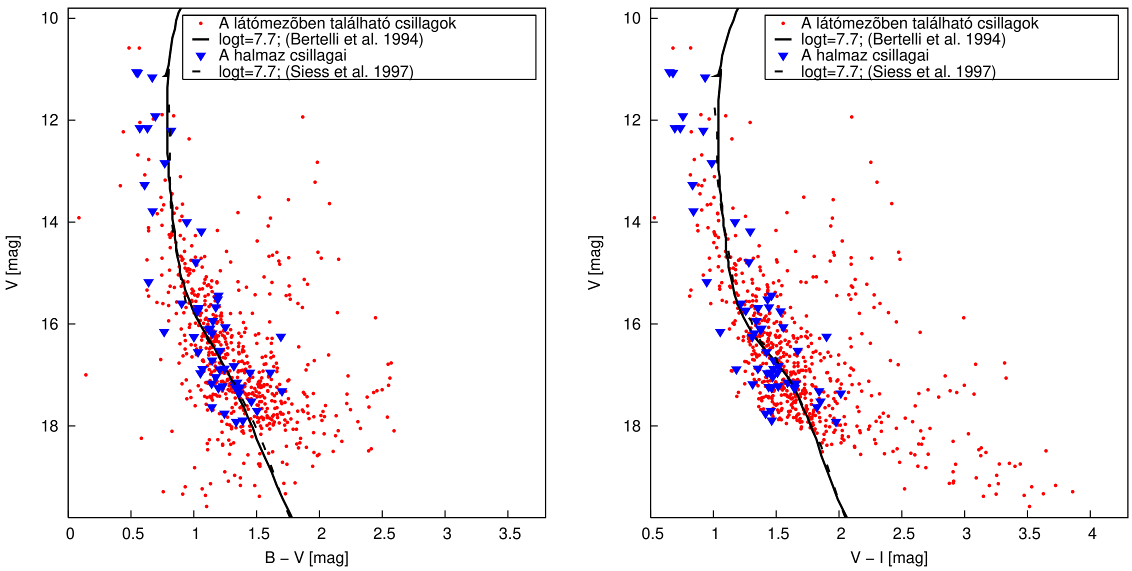


72. ábra. Az NGC 7429 szín–fényesség diagramja IIa.

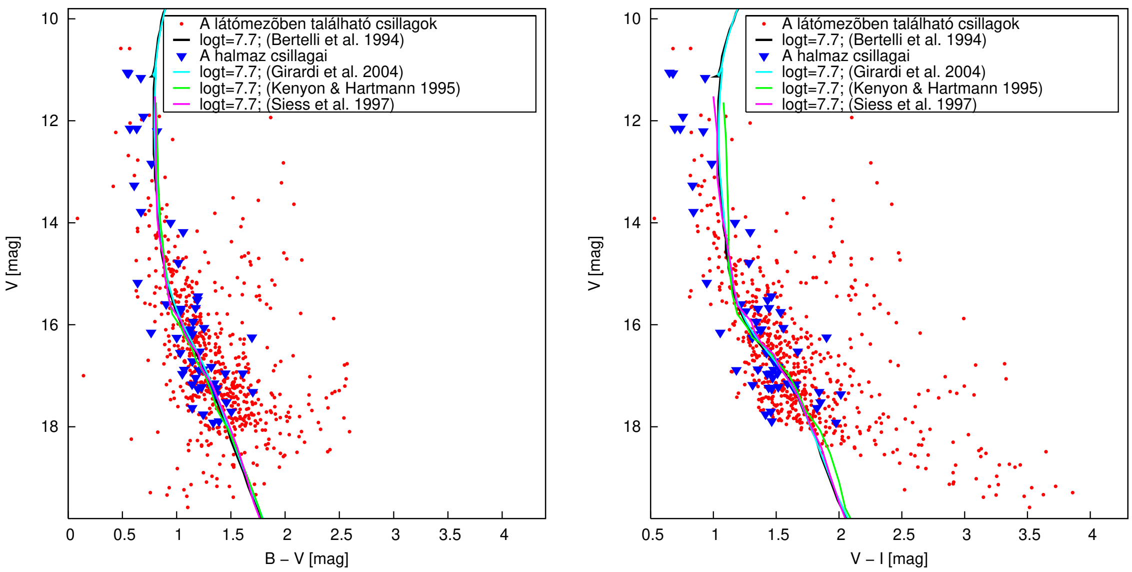


73. ábra. Az NGC 7429 szín–fényesség diagramja IIb.

A 73. ábrán észrevehető, hogy az EP csak a K&HmI-nél jelentkezik – $(V-I)$-s CMD –, azonban ott sem markánsan. A magnitúdó érték, ahol ez megtörténik $\sim 17\overset{\mathrm{m}}{.}8$-nál van.



74. ábra. Az NGC 7429 szín–fényesség diagramja IIc.



75. ábra. Az NGC 7429 szín–fényesség diagramja IId.

Az egyes modellek által kapott fontosabb adatokat és azok átlagolt értékeit a 18. és 19. táblázat tartalmazza.

Modell $\longrightarrow$	Bertelli et al.	Kenyon & Hartmann	Siess et al.	Girardi et al.
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}97 \pm 0{,}02$	$0{,}72 \pm 0{,}02$	$0{,}74 \pm 0{,}02$	$0{,}97 \pm 0{,}02$
$E(V-I)$ [^{m}]	$1{,}21 \pm 0{,}02$	$0{,}9 \pm 0{,}02$	$0{,}92 \pm 0{,}02$	$1{,}21 \pm 0{,}02$
A_V [^{m}]	$3{,}026 \pm 0{,}062$	$2{,}246 \pm 0{,}062$	$2{,}309 \pm 0{,}062$	$3{,}026 \pm 0{,}062$
$m-M$ [^{m}]	$14{,}1 \pm 0{,}2$	$12{,}7 \pm 0{,}2$	$12{,}9 \pm 0{,}2$	$14{,}1 \pm 0{,}2$
Távolság [pc]	1640 ± 107	1232 ± 81	1313 ± 86	1640 ± 107
log t	$7{,}7 \pm 1$	$8{,}4 \pm 0{,}85$	$8{,}3 \pm 0{,}9$	$7{,}65 \pm 1$
Kor [10^6 év]	$50{,}1^{+12{,}9}_{-10{,}3}$	$251{,}2^{+1526{,}8}_{-215{,}7}$	$199{,}5^{+1385{,}5}_{-174{,}4}$	$44{,}7^{+402}_{-40{,}2}$
d_{val} [pc]	$3{,}42 \pm 0{,}22$	$2{,}57 \pm 0{,}16$	$2{,}73 \pm 0{,}18$	$3{,}42 \pm 0{,}22$
ρ_f [$*/pc^2$]	$6{,}1 \pm 0{,}72$	$10{,}81 \pm 1{,}24$	$9{,}57 \pm 1{,}15$	$6{,}1 \pm 0{,}72$

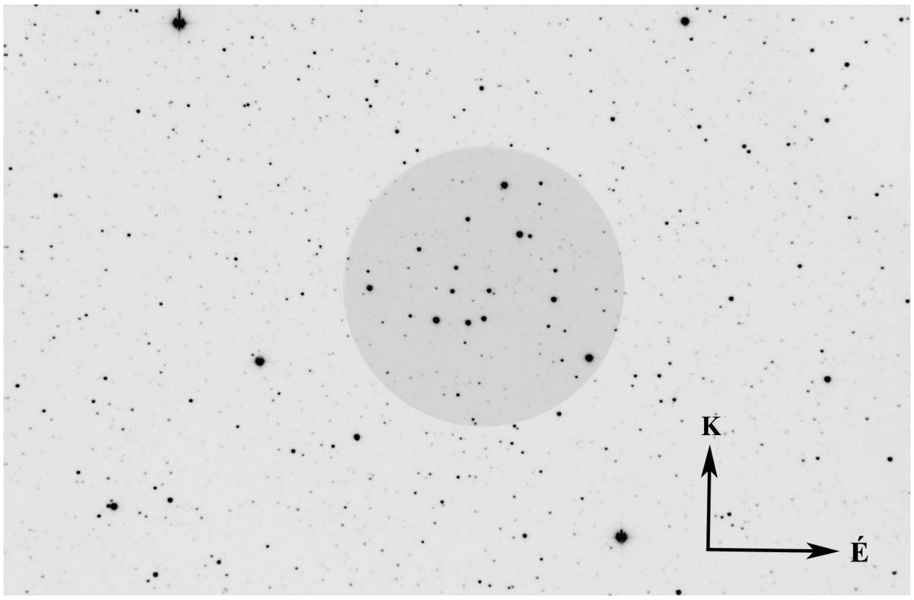
18. táblázat. Az NGC 7429 fontosabb meghatározott adatai

Paraméterek	Átlagértékek
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}85 \pm 0{,}139$
$E(V-I)$ [^{m}]	$1{,}06 \pm 0{,}173$
A_V [^{m}]	$2{,}652 \pm 0{,}433$
$m-M$ [^{m}]	$13{,}45 \pm 0{,}75$
Távolság [pc]	1456 ± 215
log t	$8{,}01 \pm 0{,}39$
Kor [10^6 év]	$102{,}3^{+148{,}9}_{-60{,}6}$
d_{val} [pc]	$3{,}03 \pm 0{,}45$
ρ_f [$*/pc^2$]	$8{,}14 \pm 2{,}42$

19. táblázat. Az NGC 7429 esetén meghatározott fontosabb adatok átlaga

4.7. Az NGC 743

4.7.1. Az eddigi mérések



76. ábra. Az NGC 743 képe; a sötétebb terület jelöli a halmazt

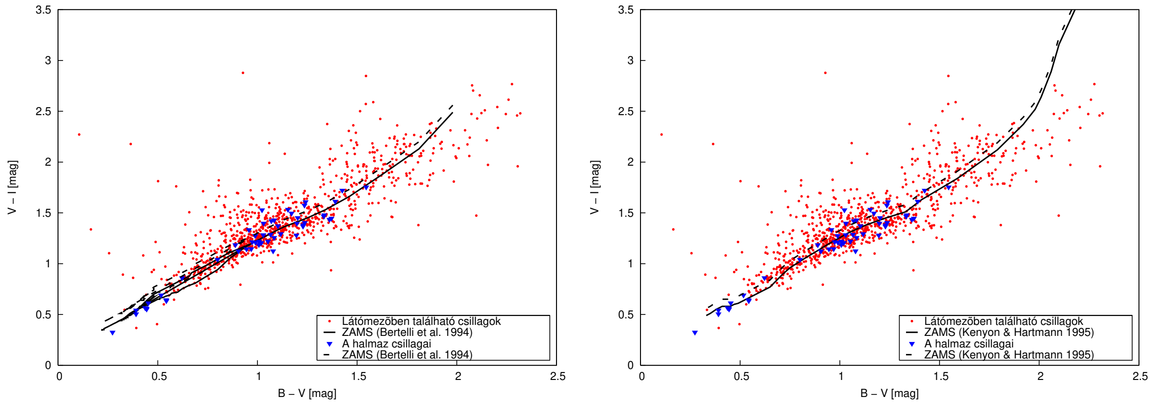
A nyílthalmaz a Cassiopeia csillagképben található. Égi koordinátái az FK5 rendszerben: $\alpha_{2000} = 01^{\mathrm{h}}58^{\mathrm{m}}\!.7$ és $\delta_{2000} = 60^{\circ}11'$. Galaktikus koordinátái: $l = 131\overset{\circ}{.}21, b = -1\overset{\circ}{.}66$. Ezzel a halmazzal is csak egy publikáció foglalkozik (Alter, 1944). A publikáció szerzője a halmazban kettős vagy többes rendszerek jelenlétére utal. 15 darab csillag alapján a távolságmodulusra $10\overset{\mathrm{m}}{.}12$-t kapott, magára a távolságra pedig 1060 ± 210 parszeket. Hasonlóan az előző nyílthalmazhoz, erről sincs több adat a szakirodalomban.

4.7.2. Méréseim

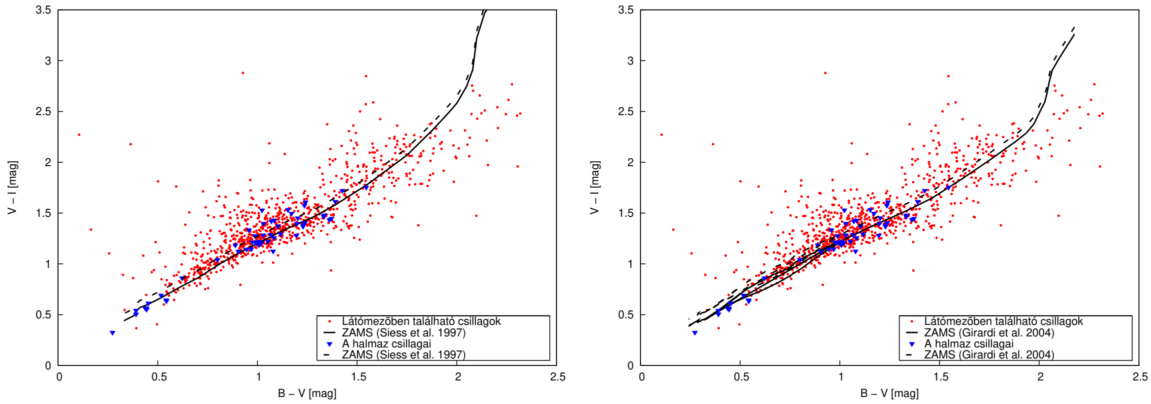
A halmaz középpontjának koordinátái az intenzitás alapján az $x = 770, y = 570$ pixelkoordinátákra estek, amely az $\alpha_{2000} = 01^{\mathrm{h}}58^{\mathrm{m}}59^{\mathrm{s}}$ és $\delta_{2000} = 60^{\circ}10'07''$ égi koordinátáknak felel meg.

Ennél a halmaz 175 pixel széles körapertúrát vettem, így a látszó átmérőre $6{,}6 \pm 0{,}43$ ívpercet, míg a csillagsűrűségre $\sim 1{,}5 \pm 0{,}01$ csillag/négyzetívpercet kaptam.

A nyílthalmaz szín–szín diagramját a 77. és 78. ábra mutatja. A modellek viszonylag szépen illeszkednek a halmazra és el lehet különíteni két csoportot: egy kis számú kékebbet a $(B-V) \approx 0^{\mathrm{m}}\!,3 - 0^{\mathrm{m}}\!,6$ tartományban és egy több tagból álló vörösebbet a $(B-V) \approx 0^{\mathrm{m}}\!,9 - 1^{\mathrm{m}}\!,5$ intervallumban. Ez a két csoport még látványosabban elkülönül majd a szín–fényesség diagramokon.

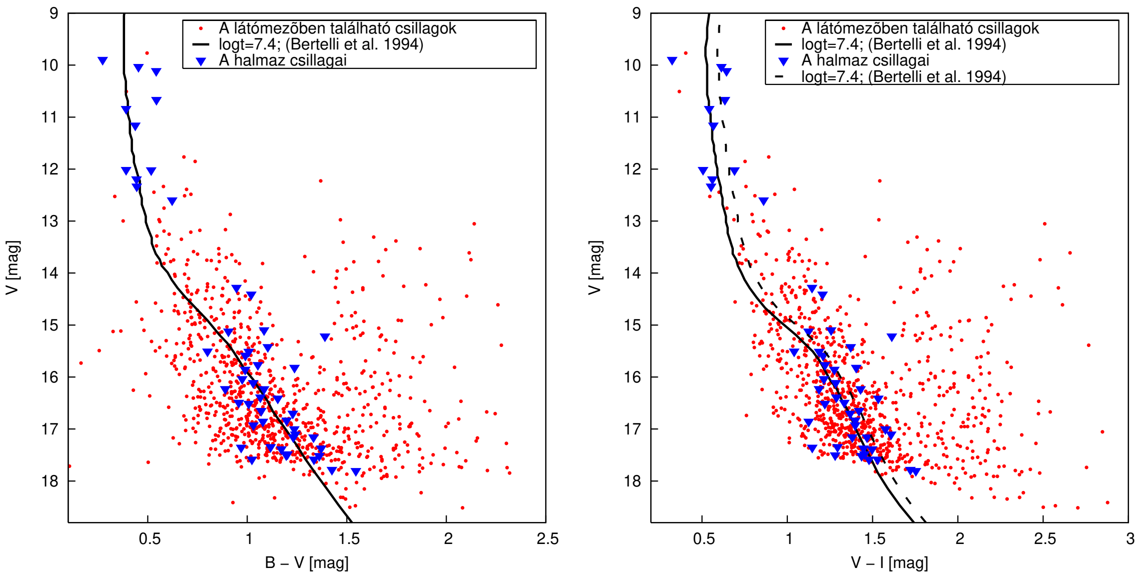


77. ábra. Az NGC 743 szín–szín diagramja I.

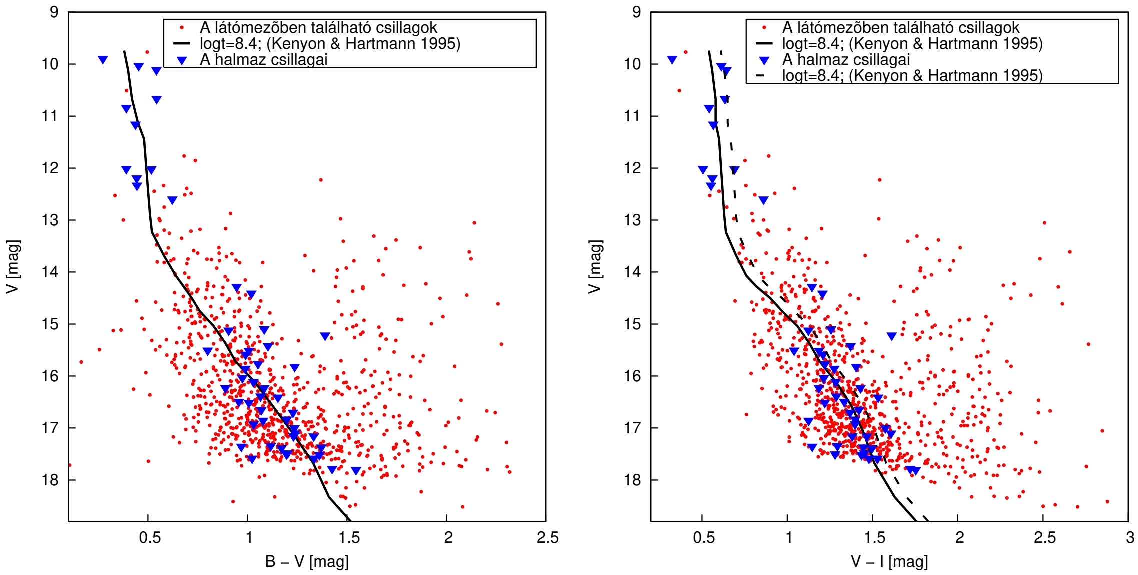


78. ábra. Az NGC 743 szín–szín diagramja II.

A kék háromszögek jelzik a halmazt és annak közvetlen környezetét. A 79. , 80. , 83. , és 84. ábrák mutatják a $(B-V)$-s és $(V-I)$-s CMD-ket a különböző modellekkel, míg a 85. és 88. ábrák azt mutatják, hogy egy bizonyos modell adataival illesztve az azonos korú, de más modellekből származó izokrónok mennyire térnek el egymástól.



79. ábra. Az NGC 743 szín–fényesség diagramja Ia.

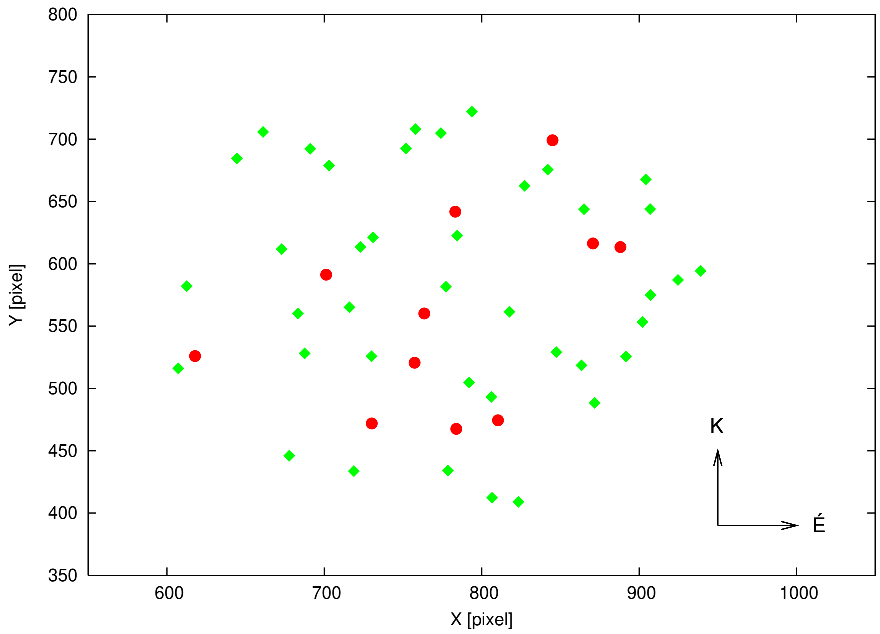


80. ábra. Az NGC 743 szín–fényesség diagramja Ib.

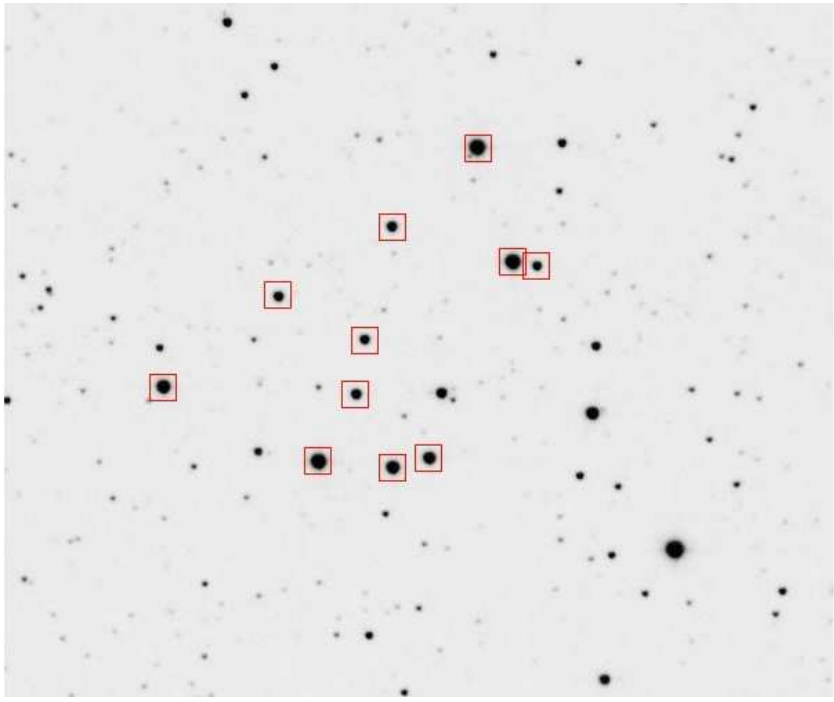
Már említettem, hogy két, jól szeparálódott csoport figyelhető meg a szín–szín diagramon. Ezek a társulások még jobban tetten érhetőek a szín–fényesség diagramokon. Az említett kékebb csoport a fényesebb ($\sim 9\overset{\mathrm{m}}{,}9 - 12\overset{\mathrm{m}}{,}8$), és a vörösebb a halványabb ($\sim 14\overset{\mathrm{m}}{,}3 - 17\overset{\mathrm{m}}{,}9$).

Ez nem annyira meglepő, ha arra gondolunk, hogy a forróbb (nagyobb luminozitású) csillagok kisugárzott energiájának maximuma a kékebb tartományba esik (minél forróbb, annál jobban eltolódik a Planck-görbe maximuma a kék oldalra). Az viszont egy kérdés, hogy hol lehetnek a köztes hőmérsékletű csillagok.

A két elkülönült csoport eloszlása látható a 81. ábrán. Itt a szín–szín és szín–fényesség diagramokon kék háromszögekkel jelzett halmazcsillagok elhelyezkedése látható pixel-koordináták szerint.



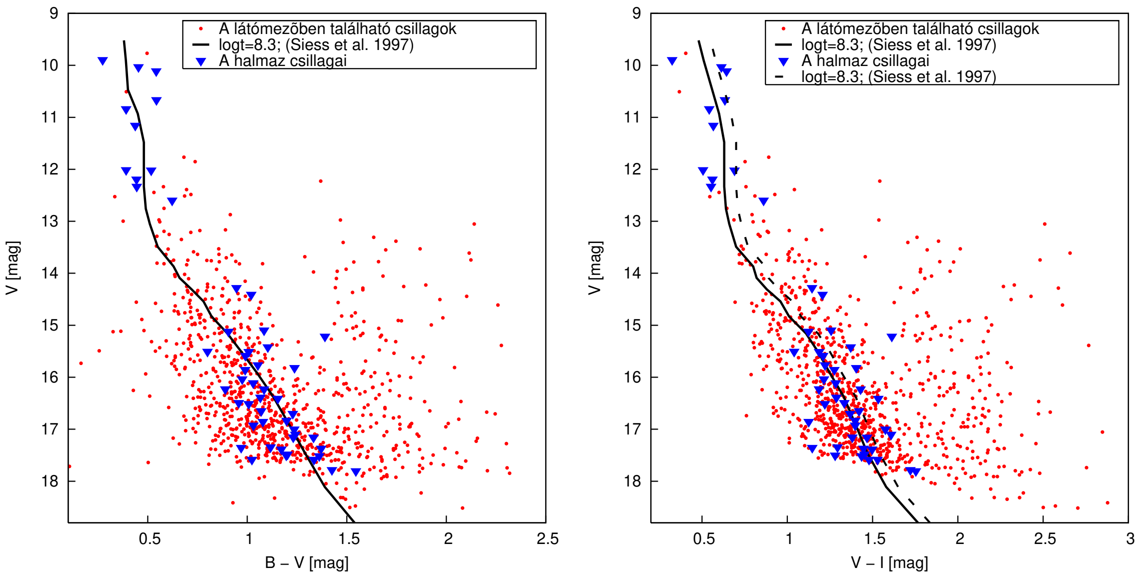
81. ábra. Az NGC 743 csillagainak elhelyezkedése pixel-koordináták szerint



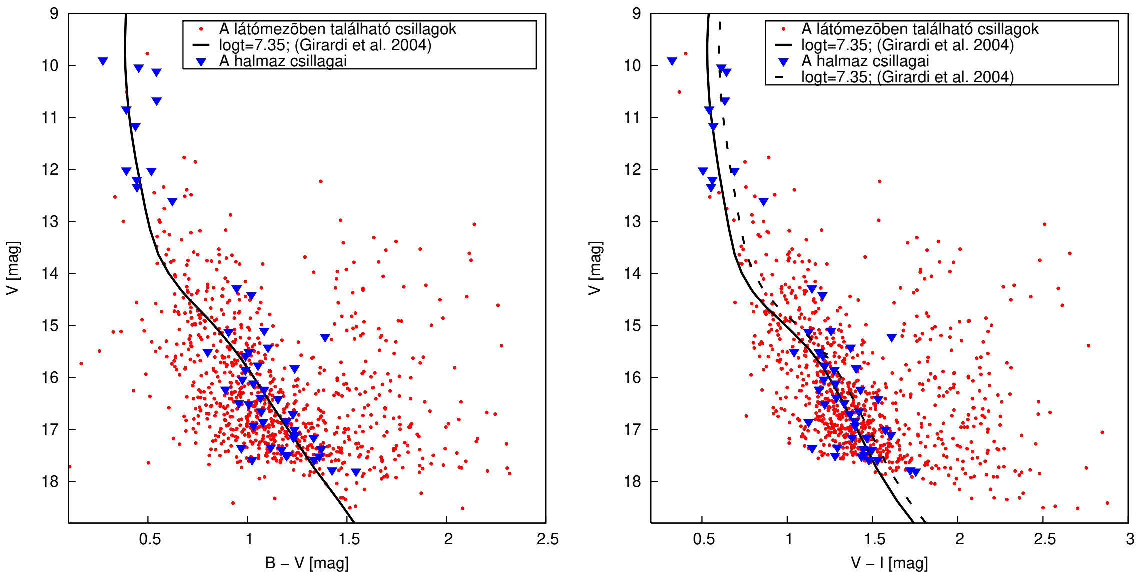
82. ábra. Az NGC 743

A piros pontok jelölik a CMD-n levő kékebb csoportot, míg a zöld rombuszok a vörösebbeket. A 82. ábra mutatja a nyílthalmazt és annak szoros környezetét. A piros négyszöggel bejelelölt csillagok felelnek meg a 81. ábrán látható piros pontoknak.

A 81. és a 82. ábrák összevetéséből látható, hogy a CMD-ken lévő kékebb csoport gyakorlatilag megfeleltethető magával a nyílthalmazzal. Mivel a halmaz eléggé laza szerkezetű, ezért több lehet az előtér- és háttércsillag a mintában, így a szín–fényesség diagramokon elkülönült vörösebb csoport egy része nem biztos, hogy a halmazhoz tartozik.

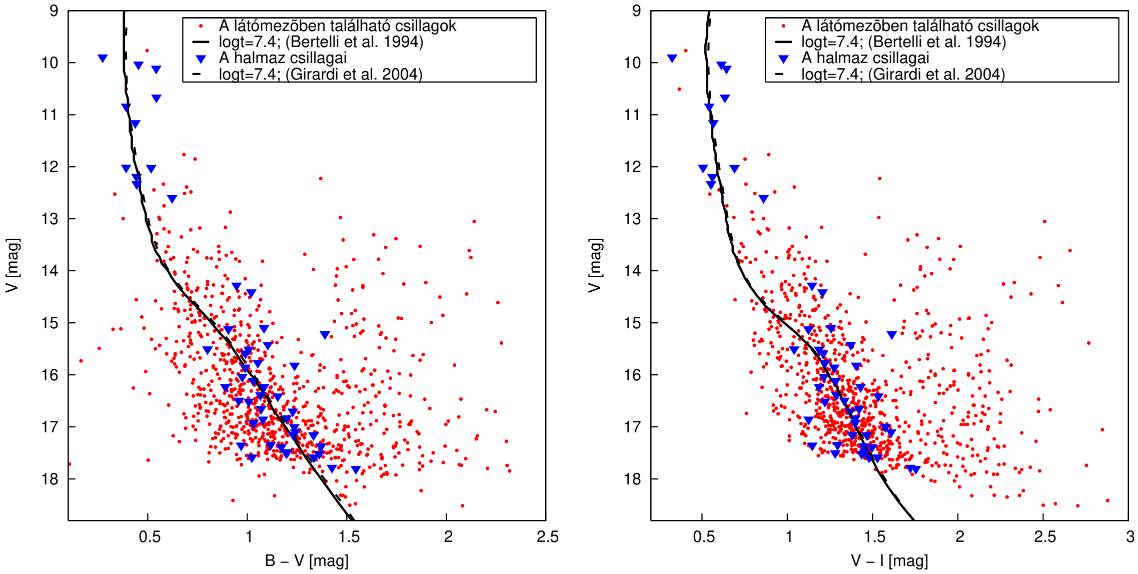


83. ábra. Az NGC 743 szín–fényesség diagramja Ic.

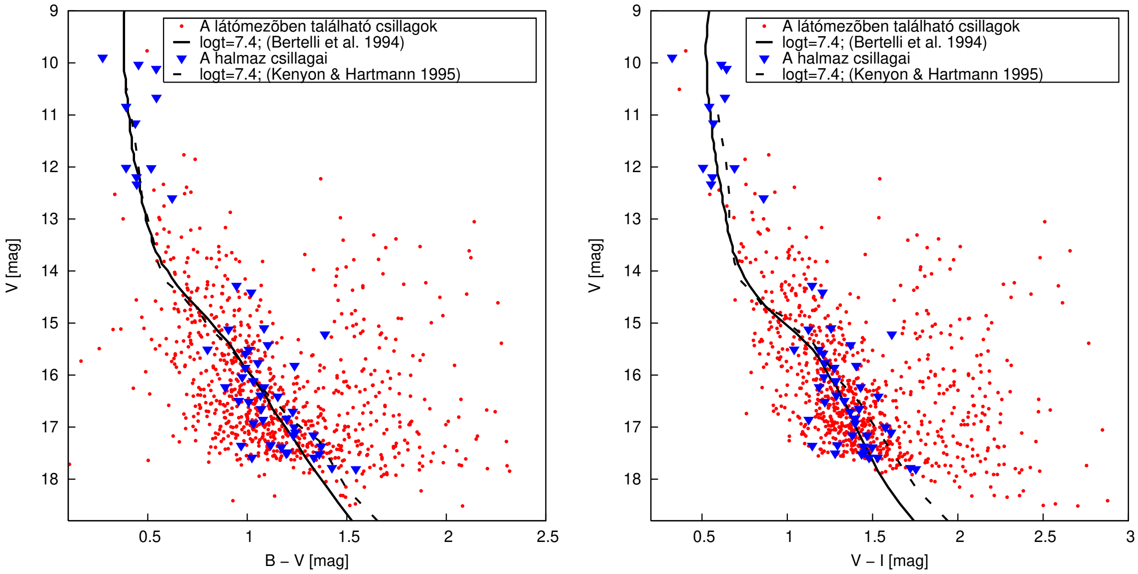


84. ábra. Az NGC 743 szín–fényesség diagramja Id.

Az izokrónok mindegyike elég jól illeszkedik a nyílthalmaz szín–fényesség diagramjára. Az alkalmazott modellek kora: BemI $\longrightarrow \log t = 7{,}4$; K&HmI $\longrightarrow \log t = 8{,}4$; SimI $\longrightarrow$



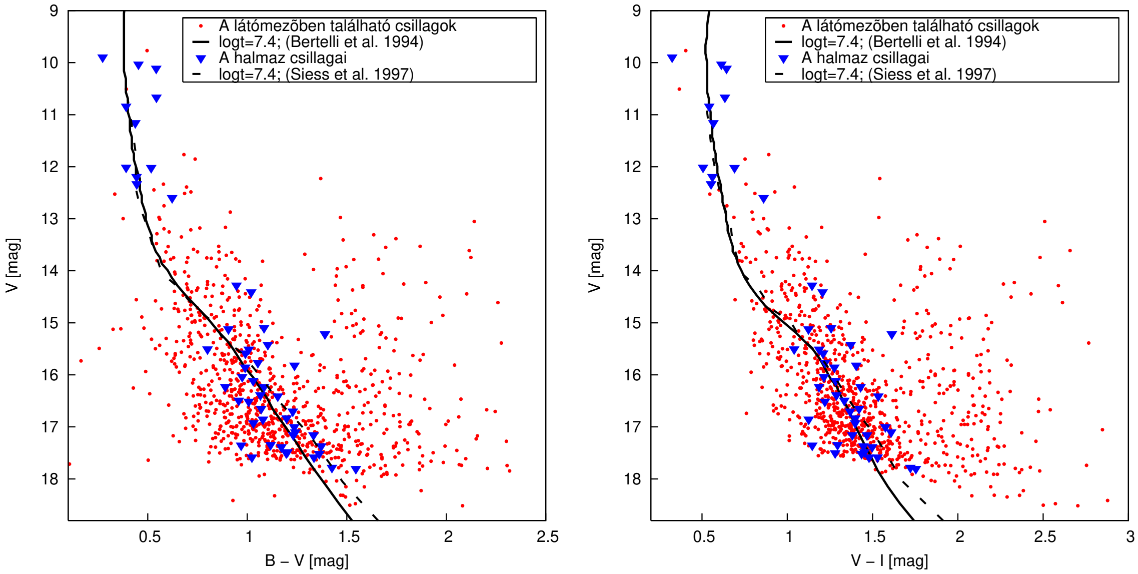
85. ábra. Az NGC 743 szín–fényesség diagramja IIa.



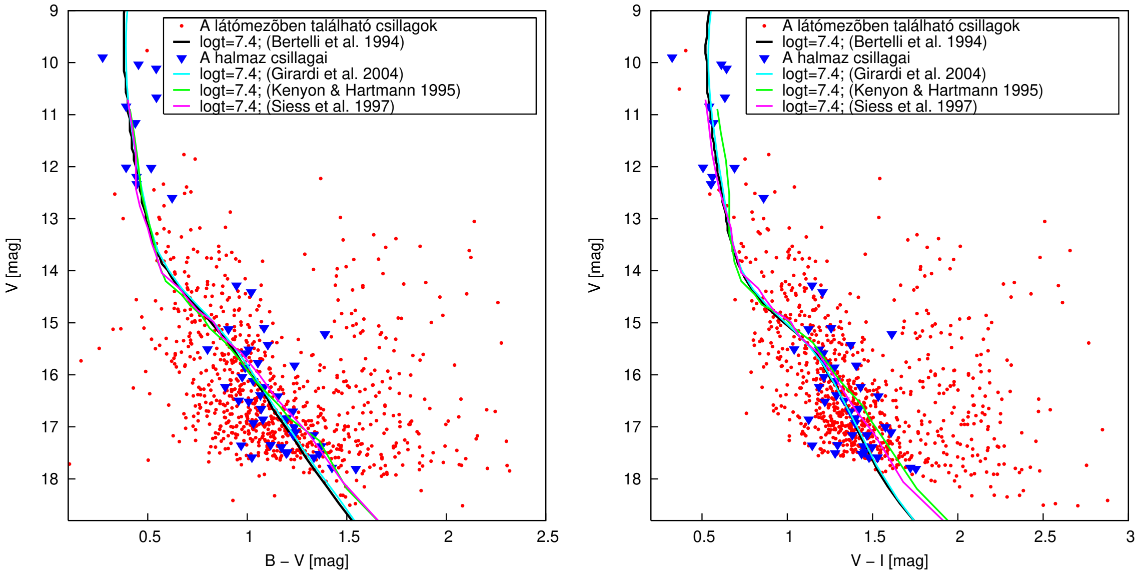
86. ábra. Az NGC 743 szín–fényesség diagramja IIb.

$\log t = 8{,}3$ és GimI $\longrightarrow \log t = 7{,}35$. Ezzel a halmaz rendre $\sim 25 \cdot 10^6$, $\sim 251 \cdot 10^6$, $\sim 199{,}5 \cdot 10^6$, valamint $\sim 22{,}4 \cdot 10^6$ éves.

Ennél a halmaznál már sokkal látványosabb az EP megjelenése és annak mértéke, legalábbis az eddigiekhez képest. Most is a K&HmI-nél és a SimI-nél jelentkezik ez a hatás, nagyjából $15\overset{\mathrm{m}}{,}7 - 16\overset{\mathrm{m}}{,}1$-nál.



87. ábra. Az NGC 743 szín–fényesség diagramja IIc.



88. ábra. Az NGC 743 szín–fényesség diagramja IId.

Az egyes modellek által kapott fontosabb adatokat, valamint azok átlagait a 20. és a 21. táblázatban foglaltam össze.

Modell $\longrightarrow$	Bertelli et al.	Kenyon & Hartmann	Siess et al.	Girardi et al.
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}6 \pm 0{,}02$	$0{,}54 \pm 0{,}02$	$0{,}55 \pm 0{,}02$	$0{,}6 \pm 0{,}02$
$E(V-I)$ [^{m}]	$0{,}75 \pm 0{,}02$	$0{,}67 \pm 0{,}02$	$0{,}69 \pm 0{,}02$	$0{,}75 \pm 0{,}02$
A_V [^{m}]	$1{,}872 \pm 0{,}062$	$1{,}685 \pm 0{,}062$	$1{,}716 \pm 0{,}062$	$1{,}872 \pm 0{,}062$
$m-M$ [^{m}]	$12{,}5 \pm 0{,}2$	$12{,}2 \pm 0{,}2$	$12{,}1 \pm 0{,}2$	$12{,}5 \pm 0{,}2$
Távolság [pc]	1335 ± 88	1268 ± 83	1193 ± 79	1335 ± 88
log t	$7{,}4 \pm 0{,}7$	$8{,}4 \pm 0{,}95$	$8{,}3 \pm 0{,}8$	$7{,}35 \pm 0{,}7$
Kor [10^6 év]	$25{,}1^{+100{,}8}_{-20{,}1}$	$251{,}2^{+1987{,}8}_{-223}$	$199{,}5^{+1059{,}5}_{-167{,}9}$	$22{,}4^{+89{,}8}_{-17{,}9}$
d_{val} [pc]	$2{,}56 \pm 0{,}17$	$2{,}43 \pm 0{,}16$	$2{,}29 \pm 0{,}15$	$2{,}56 \pm 0{,}17$
ρ_f [$*/pc^2$]	$9{,}92 \pm 1{,}2$	$11{,}01 \pm 1{,}33$	$12{,}38 \pm 1{,}46$	$9{,}92 \pm 1{,}2$

20. táblázat. Az NGC 743 fontosabb meghatározott adatai

Paraméterek	Átlagértékek
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}572 \pm 0{,}032$
$E(V-I)$ [^{m}]	$0{,}715 \pm 0{,}041$
A_V [^{m}]	$1{,}786 \pm 0{,}1$
$m-M$ [^{m}]	$12{,}32 \pm 0{,}21$
Távolság [pc]	$1283 \pm 67{,}4$
log t	$7{,}86 \pm 0{,}56$
Kor [10^6 év]	$72{,}4^{+190{,}6}_{-52{,}5}$
d_{val} [pc]	$2{,}46 \pm 0{,}13$
ρ_f [$*/pc^2$]	$10{,}81 \pm 1{,}17$

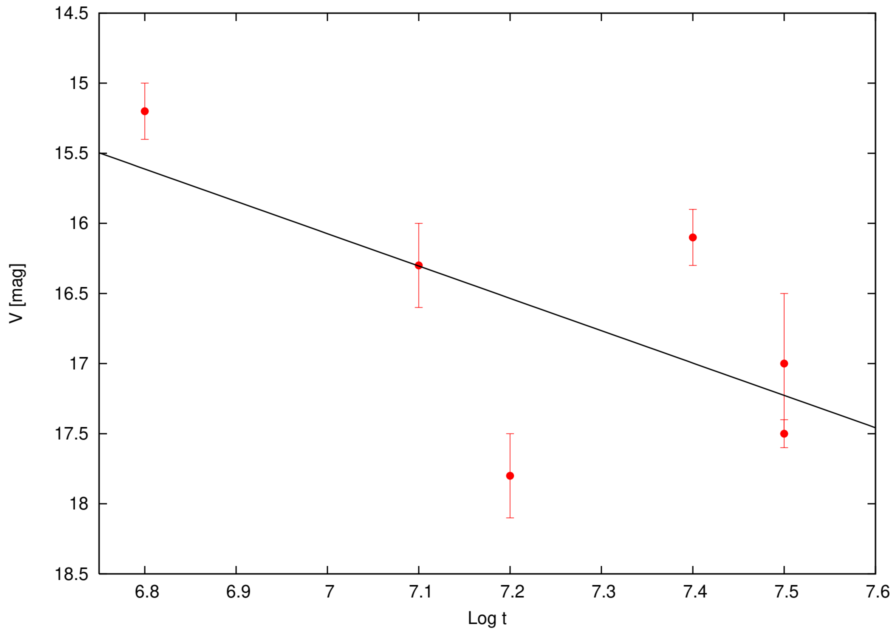
21. táblázat. Az NGC 743 esetén meghatározott fontosabb adatok átlaga

5. Konklúziók

A hét darab nyílthalmaz vizsgálata során a következő megállapításokat tettem:

- Az egyik legfontosabb dolog, hogy meg tudjuk határozni a csillagközi anyag vörösítő tulajdonságát, illetve annak mértékét, hiszen ez erősen befolyásolja az adott objektumról érkező fény egyes tulajdonságait. Én ezt az izokrónok két fajta vörösödési meredekséggel való illesztésével határoztam meg. A kapott eredményekből kiderül, hogy közel azonos valószínűséggel helyes, ha mindkét meredekséggel illesztek. Természetesen az, hogy végeredményben melyik vörösödési törvényt alkalmazzuk, függ az objektumok Galaxisban elfoglalt pozíciójától. A legjobb megoldás az lehetne, ha mindig az adott körülményekhez igazodva, új vörösödési törvényt határoznánk meg; azonban ez sokszor nem lehetséges. Ennek a következménye, hogy már ekkor megterheljük a később kapott adatokat hibával, ami az egyes további lépések során egyre nagyobb lesz.

- A halmazok korára és távolságára – négy különböző modell segítségével – szintén izokrón-illesztéssel tettem becslést. Elmondható, hogy a vizsgált objektumok életkorát csak nagy hibával lehetett meghatározni. Már egy modellen belül is viszonylag nagy volt az illesztett izokrónok korbeli szórása, így mindig az illsztett izokrónok mediánátlagot ábrázoltam. Az is észrevehető, hogy nagyjából két külön családra oszlottak a modellek (BemI és GimI, illetve K&HmI és SimI), aminek oka nagy valószínűséggel az, hogy más-más alapmodellből származnak (lásd. 1.5. fejezet). Az is megfigyelhető, hogy az előbb említett két külön csoport között megnő a szeparáció a halvány csillagok estén. Az eltérési pontok (EP-k) megjelenésének magnitúdó-értéke és az izokrónok kora között nem vehető észre erős korreláció, bár úgy tűnhet, mintha minél idősebb lenne az izokrón, annál kisebb lenne a magnitúdó-érték, ahol megjelenik az EP (89. ábra). Az ábráról hiányzik egy halmaz. Ez azért van, mert annál a halmaznál nem volt tapasztalható az EP megjelenése. Természetesen további objektumok vizsgálata szükséges ahhoz, hogy a későbbiekben meg lehessen erősíteni, vagy cáfolni az említett korrelációt.

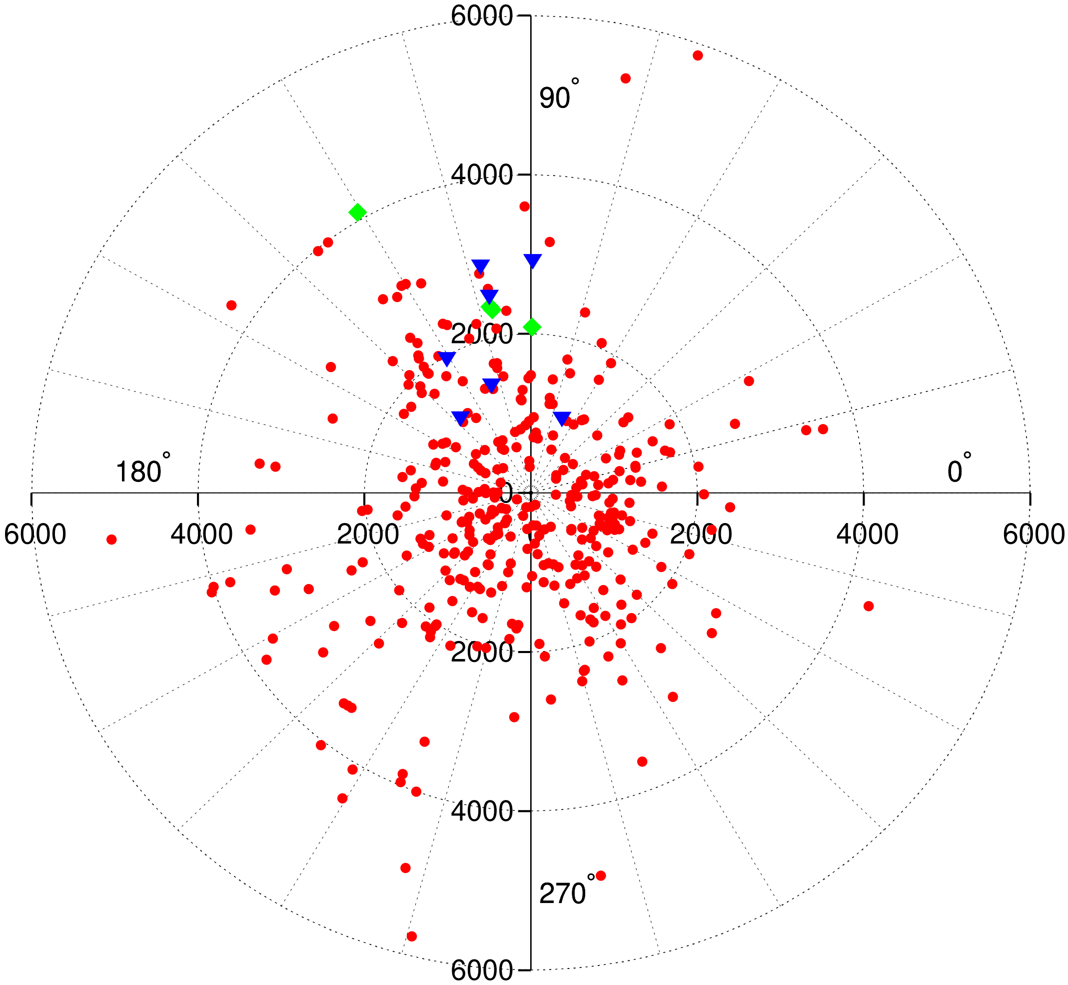


89. ábra. Az EP függése a log t-től

- Az előbb említett korkülönbségeken kívül egy másik fontos következménye is van a különböző modell-családok alkalmazásának. Ez pedig az, hogy az egyes nyílthalmazok távolsága más és más lesz attól függően, hogy éppen milyen típusú izokrónokat illesztünk. Ezért mivel az ilyen objektumok jellemzően a spirálkarokban fordulnak elő, az egyes karok távolsága, esetleg annak szerkezete is különböző lehet, így a Galaxisunkról elég nagy bizonytalansággal lehet következtetéseket levonni a nyílthalmazok segítségével. Ezért is fontos lenne több oldalú vizsgálatokat (spektroszkópia + fotometria) végezni, illetve a nyílthalmazokban található változócsillagok segítségével pontosabbá tenni a távolságadatokat. Mivel nem mindig van lehetőség fotometriai idősorok felvételére, ezért az izokrón-illesztéses távolságmeghatározás pontosítása rendkívül fontos lenne. Azt is figyelembe kell venni, hogy a különböző modellek és vörösödési meredekségek miatt már az első meghatározott paraméterek is eltérnek egymástól egy halmazra vonatkozóan, ezért természetesen a további paraméterek is el fognak térni, azaz ezekben is megjelenik egy nagyfokú bizonytalanság és ezzel együtt a Galaxisunk spirálkarjainak távolságában is. A 90. ábra mutatja az NGC és IC katalógusbeli nyílthalmazok elhelyezkedését Galaxisunkban (piros pontok) 6000 parszeken belül. Az adatokat a WEBDA honlapjáról[13] töltöttem le. Ez az adatbázis a bda[14]-nak az internetes változata (Mermilliod, 1993; Mermilliod, 1995). Az általam vizsgált halmazokat kék háromszögek jelzik (ezeknek én határoztam meg a távolságát), míg ugyanezen halmazok WEBDA-katalógus szerinti pozicióját (távolságát) zöld rombu-

[13]http://www.univie.ac.at/webda
[14]The Database for Galactic Open Clusters

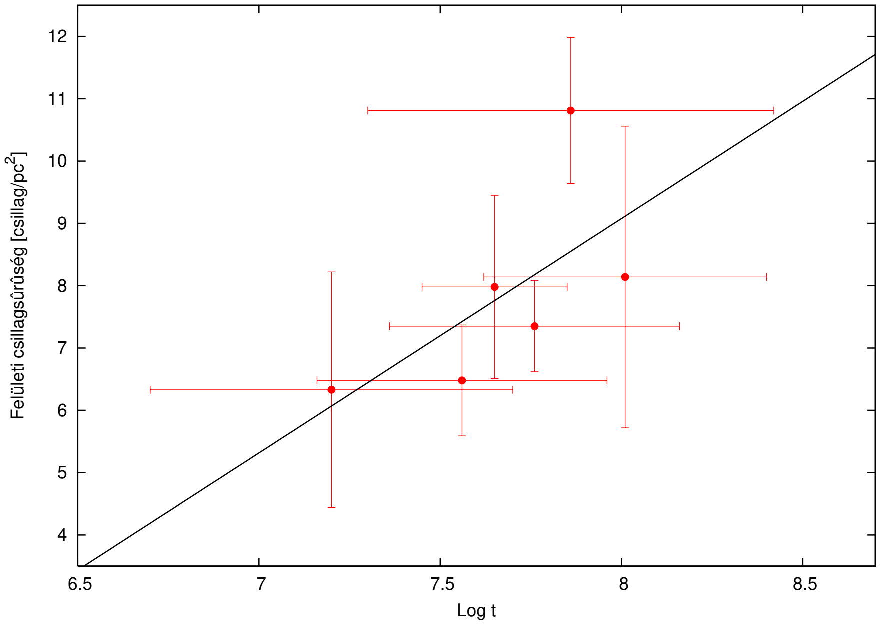
szok mutatják. Az ábra origójában a Nap van. Látható, hogy egyes halmazoknál nem túl nagy a differencia az általam meghatározott és a katalógusbeli távolságok között (IC 1442, NGC 7296 ($l \approx 101°$)), azonban van ahol a különbség már jelentősebb (IC 1369 ($l \approx 90°$) és NGC 136 ($l \approx 120°$)). Természetesen a mintavételezés nem túl jó, azonban annyi látható, hogy ha esetleg egyes módszerekkel pontosabban meghatározhatóak a távolságok, akkor akár jelentősen is megváltozhat a nyílthalmazok pozicíója a Tejútrendszerben. Ez viszont azt jelentené, hogy a spirálkarok ismert helyzete is megváltozhat.



90. ábra. A 6 kpc-nél közelebbi nyílthalmazok térbeli elhelyezkedése

- Elméletileg egy halmaz annál inkább koncentrálódott és sűrűbb, minél fiatalabb. Ez a koncetráltság persze függ a szülő molekulafelhő nagyságától is, mert egy fiatal nyílthalmaz is lehet viszonylag szétszóródott és egy öregebb halmaz pedig lehet sűrű is. Mindenesetre az a jellemzőbb, hogy az öregebb halmazok a lazábbak.

A 91. ábrán a nyílthalmazok felületi sűrűsége van feltüntetve az y-tengely mentén, azaz a halmazok távolságára korrigált értékek láthatóak. Itt látszólag úgy tűnik, mintha minél idősebb a nyílthalmaz, akkor annál nagyobb a sűrűsége. Azonban ez a hatás lehet szelekciós effektus következménye is. Amennyiben a szülő molekulafelhő megfelelően nagy, akkor az abból keletkező nyílthalmaz is nagy átmérőjű, sok csillagot tartalmazó objektummá válhat. Ezek a halmazok idősebb korukra még mindig viszonylag sok objektumot tartalmazhatnak, mivel a rendszerből kilépő csillagok száma nem túl magas a nyílthalmaz korához képest. Ekkor detektálhatunk olyan halmazokat, amelyek viszonylag nagy sűrűségűek annak ellenére, hogy már eléggé idősek. Azonban a 91. ábra alapján azt is ki lehet jelenteni, hogy miért is szükségesek spektroszkópiai mérések. Mivel a kiválasztott apertúrában vannak előtér- és háttércsillagok, ezért a sűrűség-adatokat nagy bizonytalansággal lehet meghatározni és ez is okozhatja a 91. ábrán látható érdekes korrelációt. A csillagsűrűséggel kapcsolatosan olyan számításokat is végeztem, amikor a háttére lekorrigáltam a kiválasztott apertúrán belüli sűrűségeket. Ezt úgy tettem meg, hogy az adott apertúrák körül bizonyos sugarú körgyűrűben megszámoltam a csillagokat, majd a körgyűrű területének segítségével meghatároztam az ottani csillagsűrűséget és utána képeztem az apertúra és a körgyűrű sűrűségének különbségét. Azonban ekkor fizikailag értelmetlen eredményeket kaptam, amelyek megerősítik a további vizsgálatok (leginkább spektroszkópiai) fontosságát. Természetesen sokkal több nyílthalmaz vizsgálata szükséges ahhoz, hogy az esetleges szelekciós hatást meg lehessen erősíteni, illetve cáfolni.



91. ábra. A halmazok csillagsűrűsége a log t függvényében

6. Összefoglalás

2003. szeptember 21-én és 22-én összesen 10 nyílthalmazról készítettem felvételeket. Ezekből hét darab halmaz vizsgálatát mutattam be jelen dolgozatban. Az eredmények a következőek lettek:

1. Meghatároztam a nyílthalmazok fontosabb paramétereit, úgymint: kor, távolság, vörösödés, látszó- és valódi átmérő, csillagsűrűség.

2. Az NGC 6846 jelű nyílthalmaz fizikai paramétereit elsőként határoztam meg, mivel eddig a fellelhető szakirodalomban nem találtam semmilyen adatot a halmazról.

3. Rámutattam, hogy a nyílthalmazok Galaxisban elfoglalt pozíciója és más fontos paraméterei nagyon erősen függnek attól, hogy milyen modell-család segítségével határozzuk meg azokat.

4. Az általam meghatározott távolságadatok és a WEBDA-katalógusban levő hasonló adatok összehasonlítása alapján a nyílthalmazok pozicíója a Tejútrendszerben erősen eltérhet az eddigi ismeretektől, ezért erre vonatkozóan további vizsgálatok szükségesek.

5. Megmutattam, hogy a szín–szín diagramokra két fajta vörösödési meredekséggel illesztett izokrónok közel azonos valószínűséggel lehetnek jók és kevésbé jók.

6. Rámutattam, hogy a csillagsűrűségek meghatározásához mindenképpen szükségesek spektroszkópiai mérések, mivel pusztán fotometriai adatok alapján túl nagy a bizonytalanság a lehetséges halmaztagok azonosítására.

További terveim között szerepel további halmazok vizsgálata és azok minél több fizikai paraméterének meghatározása, melyek segítségével a Galaxis spirálszerkezetének pontosabb feltérképezése válna lehetővé. További vizsgálatok tárgya lehet az egyes modell-családok további összehasonlítása, vizsgálata és tesztelése a halmazok segítségével. Tervezem ezen nyílthalmazok spektroszkópiai vizsgálatát, mert ezzel még pontosabban lehetne meghatározni, hogy mely csillagok tartoznak a halmazokhoz és mely csillagok nem, valamint spektrálklasszifikációra is lehetőség nyílna. Ezen kívül a szín–szín- és szín–fényesség diagramokat is kisebb szórásúvá lehetne tenni, így az illesztett izokrónok által meghatározott paraméterek válnának pontosabbá.

A 22. és a 23. táblázatok mutatják a halmazok fontosabb adatait, amelyeket meghatároztam. A táblázatokban levő adatok természetesen az átlagolt értékeket mutatják.

Paraméterek	IC 1369	IC 1442	NGC 7296
α_{2000}	$21^h14^m55^s$	$21^h16^m30^s$	$22^h29^m27^s$
δ_{2000}	$47°58'23''$	$53°54'22''$	$52°18'13''$
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}78 \pm 0{,}048$	$0{,}49 \pm 0{,}104$	$0{,}33 \pm 0{,}088$
$E(V-I)$ [^{m}]	$0{,}975 \pm 0{,}057$	$0{,}615 \pm 0{,}133$	$0{,}412 \pm 0{,}109$
A_V [^{m}]	$2{,}433 \pm 0{,}149$	$1{,}529 \pm 0{,}324$	$1{,}029 \pm 0{,}275$
$m-M$ [^{m}]	$14{,}775 \pm 0{,}222$	$13{,}55 \pm 0{,}465$	$13{,}35 \pm 0{,}592$
Távolság [pc]	$2942 \pm 139{,}5$	2541 ± 175	2936 ± 442
log t	$7{,}76 \pm 0{,}4$	$7{,}56 \pm 0{,}4$	$7{,}2 \pm 0{,}5$
Kor [10^6 év]	$57{,}5^{+57{,}3}_{-34{,}6}$	$36{,}3^{+54{,}9}_{-21{,}8}$	$15{,}8^{+34{,}2}_{-10{,}8}$
Látszó átmérő [$'$]	$4{,}52 \pm 0{,}3$	$4{,}52 \pm 0{,}32$	$4{,}14 \pm 0{,}28$
Valódi átmérő [pc]	$3{,}87 \pm 0{,}18$	$3{,}33 \pm 0{,}23$	$3{,}53 \pm 0{,}53$
ρ [*/négyzetívperc]	$5{,}38 \pm 0{,}01$	$3{,}5 \pm 0{,}1$	$4{,}39 \pm 0{,}02$
ρ_f [$*/\mathrm{pc}^2$]	$7{,}35 \pm 0{,}73$	$6{,}48 \pm 0{,}89$	$6{,}33 \pm 1{,}89$

22. táblázat. A meghatározott adatok I.

Paraméterek	NGC 136	NGC 6846	NGC 7429	NGC 743
α_{2000}	$00^h32^m12^s$	$19^h58^m05^s$	$22^h56^m16^s$	$01^h58^m59^s$
δ_{2000}	$61°33'16''$	$32°21'53''$	$59°59'54''$	$60°10'07''$
$E(B-V)$ [^{m}]	$0{,}775 \pm 0{,}05$	$0{,}862 \pm 0{,}075$	$0{,}85 \pm 0{,}139$	$0{,}572 \pm 0{,}032$
$E(V-I)$ [^{m}]	$0{,}967 \pm 0{,}065$	$1{,}077 \pm 0{,}094$	$1{,}06 \pm 0{,}173$	$0{,}715 \pm 0{,}041$
A_V [^{m}]	$2{,}418 \pm 0{,}156$	$2{,}691 \pm 0{,}234$	$2{,}652 \pm 0{,}433$	$1{,}786 \pm 0{,}1$
$m-M$ [^{m}]	$13{,}9 \pm 0{,}34$	$12{,}75 \pm 0{,}37$	$13{,}45 \pm 0{,}75$	$12{,}32 \pm 0{,}21$
Távolság [pc]	$1984 \pm 161{,}5$	$1029 \pm 67{,}3$	1456 ± 215	$1283 \pm 67{,}4$
log t	$7{,}65 \pm 0{,}2$	$7{,}75 \pm 0{,}35$	$8{,}01 \pm 0{,}39$	$7{,}86 \pm 0{,}56$
Kor [10^6 év]	$44{,}7^{+26{,}1}_{-16{,}5}$	$56{,}2^{+69{,}7}_{-31{,}1}$	$102{,}3^{+148{,}9}_{-60{,}6}$	$72{,}4^{+190{,}6}_{-52{,}5}$
Látszó átmérő [$'$]	$3{,}76 \pm 0{,}24$	$1{,}88 \pm 0{,}13$	$7{,}16 \pm 0{,}48$	$6{,}6 \pm 0{,}43$
Valódi átmérő [pc]	$2{,}17 \pm 0{,}18$	$0{,}56 \pm 0{,}04$	$3{,}03 \pm 0{,}45$	$2{,}46 \pm 0{,}13$
ρ [*/négyzetívperc]	$2{,}61 \pm 0{,}01$	$3{,}24 \pm 0{,}01$	$1{,}4 \pm 0{,}01$	$1{,}5 \pm 0{,}01$
ρ_f [$*/\mathrm{pc}^2$]	$7{,}98 \pm 1{,}47$	$36{,}9 \pm 4{,}94$	$8{,}14 \pm 2{,}42$	$10{,}81 \pm 1{,}17$

23. táblázat. A meghatározott adatok II.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Dr. Szatmári Sándor és Dr. Bor Zsolt tanszékvezető egyetemi tanároknak, hogy lehetőséget biztosítottak a kutatási munkálatokba való bekapcsolódáshoz, valamint köszönöm Dr. Szatmáry Károly egyetemi tanárnak az egész egyetemi időszak alatt nyújtott számtalan segítségét. Köszönöm az MTA KTM CSKI-nek a lehetőséget, hogy rendelkezésemre bocsájtották a Piszkéstetői Obszervatórium műszereit.

Rendkívül sok köszönettel tartozom Csák Balázsnak, aki rengeteg időt áldozott rám, mindig számíthattam rá és nagyon sokat segített. Mindezt hatalmas türelemmel és jóindulattal tette. Nagyon köszönöm Dr. Vinkó Józsefnek, akire szintén sokat számíthattam; nagyon sok hasznos észrevétellel, tanáccsal segített abban, hogy létrejöhessen ez a dolgozat. Természetesen neki is köszönöm az egész egyetemi időszak alatt nyújtott számtalan segítségét. Rengeteg hálával tartozom évfolyamtársamnak és barátomnak Gáspár Andrásnak aki, ahol és amikor tudott, nagyon sokat segített és mindig számíthattam rá.

Feltétlenül rengeteg köszönet és hála illeti a feleségemet, aki nagy türelemmel viselte el a munka miatti távolmaradásokat, valamint a ritkább találkozásokat, és aki végig bízott bennem.

Mindenképpen meg szeretném említeni Horkai Andrást, aki a tanárom volt és a barátom lett. Nagy hatással volt rám és ez nem múlt el a mai napig sem. Neki köszönhetem, hogy elindultam ebben a nem túl könnyű, ám annál szebb szakmában és ezt soha nem fogom elfelejteni.

Természetesen köszönet és hála illeti a szüleimet is, akik mindig segítettek, ahogy tudtak és engedték, hogy véghezvigyem azt, amit elterveztem.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm mindenkinek, aki valamilyen módon hozzájárult jelen dolgozat létrejöttéhez.

Hivatkozások

Alter, G.: 1944, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **104**, 179

Barchatowa, K. A.: 1950, *Astron. J.* **27**, 180

Bertelli, G., Bressan, A., Chiosi, C., Fagotto, F., and Nasi, E.: 1994, *Astron. Astrophys.* **106**, 275

Bessell, M. S. and Brett, J. M.: 1988, *Publ. Astron. Soc. Pac.* **100**, 1134

Bica, C. M. and Dutra, E.: 2000, *Astron. Astrophys.* **359**, 347

Buil, C.: 1991, *CCD Astronomy*, Willmann-Bell Inc., Virginia

Böhm-Vitense, E.: 1989, *Introduction to Stellar Astrophysics (I.)*, Cambridge Univ. Press, Cambridge

Collinder, P.: 1931, *Ann. Obs. Lund* 2

Cooper, W. A. and Walker, E. N.: 1994, *Csillagok távcsővégen*, Gondolat kiadó, Budapest

Dibaj, E. A.: 1958, *Astron. J.* **40**, 387

Douglas, J. M.: 1997, in *A. S. P. Conference Series*, Vol. 125, p. 249

Geddes and Grosset: 1995, *Dictionary of Astronomy*, Geddes and Grosset LTD, Scotland

Girardi, L., Bressan, A., Bertelli, G., and Chiosi, C.: 2000, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **141**, 371

Girardi, L., Bressan, A., Chiosi, C., Bertelli, G., and Nasi, E.: 1996, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **117**, 113

Girardi, L., Grebel, K. E., Odenkirchen, M., and Chiosi, C.: 2004, *Astron. Astrophys.* **422**, 205

Hardorp, J.: 1960, *Astronomische Abhadlungen der Hamburger Sternwarte* **215H**, 5

Henden, A. A. and Kaitchuk, R. H.: 1982, *Astronomical photometry*, Willmann-Bell, Inc., Richmond

Hiltner, W. A. and Johnson, H. L.: 1958, *Astrophys. J.* **127**, 539

Janes, K. and Adler, D.: 1982, *Astrophys. J., Suppl. Ser.* **49**, 425

Kenyon, S. J. and Hartmann, L.: 1995, *Astrophys. J., Suppl. Ser.* **101**, 117

Landolt, A. U.: 1973, *Astrophys. J.* **78**, 954

Landolt, A. U.: 1983, *Astrophys. J.* **88**, 439

Landolt, A. U.: 1992, *Astrophys. J.* **104**, 340

Leisawitz, D.: 1990, *Astrophys. J.* **359**, 319

Leisawitz, D., Bash, F. N., and Thaddeus, P.: 1989, *Astrophys. J., Suppl. Ser.* **285**, 25

Lyngå, G.: 1987, *Catalogue of open star cluster data*

Mardin, P. (ed.): 2001, *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, Vol. 4, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia; Nature Publishing Group, London, NY., Tokyo

Marik, M.: 1989, *Csillagászat*, Akadémiai kiadó, Budapest

Mermilliod, J. C.: 1993, in *Workshop on Databases for Galactic Structure, Pennsylvania*,

p. 27, David, L. press

Mermilliod, J. C.: 1994, *Catalogue of open clusters data*, computer-readable form

Mermilliod, J. C.: 1995, in *Information and On-line Data in Astronomy*, Vol. 203, p. 127

Meynet, G.: 1993, *Astron. Astrophys.* **98**, 477

Monet, D.: 1996, *Bull. Am. Astron. Soc.* **28**, 905

Netopil, M., Paunzen, E., Maitzen, H. M., Claret, A., Pavlovski, K., and Tamajo, E.: 2005, *Astron. Nachr.* **8**, 734

Nicolet, B.: 1996, *Baltic Astronomy* **5**, 417

Pease, G. F.: 1920, *Astrophys. J.* **276P**, 51

Purgathofer, A. T.: 1964, *Ann. Univ. Stern, Wien* **2**, 26

Sagar, M.: 1983, *Bull. Astron. Soc. India* **11**, 44

Schaller, G., Schaerer, D., Meynet, G., and Maeder, A.: 1996, *Astron. Astrophys.* **96**, 269

Schlegel, D. J., David, J., Douglas, P. F., and Davis, M.: 2001, *Astrophys. J.* **500**, 525

Shapley, H.: 1925, *Contributions from the Mt. Wilson Solar Observatory* **116**, 29

Siess, L., Forestini, M., and Dougados, C.: 1997, *Astron. Astrophys.* **324**, 556

Subramaniam, A., Gorti, U., Sagar, R., and Bhatt, H. C.: 1995, *Astron. Astrophys.* **302**, 86

Trumpler, R. J.: 1929, *Publications of the Allegheny Observatory of the University of Pittsburgh* **6**, 45

Trumpler, R. J.: 1930, *Lick Obs. Bull.* **14**, 175

Trumpler, R. J.: 1931, *Publ. Astron. Soc. Pac.* **43**, 145

Yilmaz, F.: 1970, *Astron. Astrophys.* **8**, 213

A. Függelék

A.1. A JCG-szűrőrendszer

A különböző helyeken elvégzett méréseket valahogy össze kell hasonlítani egymással, hiszen így lehet csak tudományosan értékelhető munkát végezni. Ez fontos mivel a megfigyelő földrajzi helyétől, a használt detektortól, az optikai rendszertől és még sok mindentől függ az, hogy milyen fényesnek látunk egy égi objektumot. Éppen ezért bevezettek több nemzetközileg is elfogadott szűrőrendszert, amelynek segítségével már összevethetőek a különböző helyeken végzett mérések.

Az egyes szűrők feladata a beérkező fény hullámhossz-intervallumának lecsökkentése. A szűrőrendszerek három fő csoportba oszthatóak aszerint, hogy mekkora a lecsökentett hullámhossztartomány:

- Szélessávú ($\Delta\lambda = 30 - 100$ nm)
- Közepessávú ($\Delta\lambda = 10 - 30$ nm)
- Keskenysávú ($\Delta\lambda < 10$ nm)

Az egyik korai, jelenleg is elterjedt standard rendszert Johnson és Kron vezette be a hatvanas évek közepén. Johnson rendszere három áteresztési ablakból állt: ez volt az UBV-rendszer (Ultraviolet, Blue, Visual). Ezt egészítette ki Kron és Cousins az RI-rendszerrel (Red, Infrared). Az $UBVRI$-rendszer hullámhossztartománya: $300 - 900$ nm ($3000 - 9000$ Å). A detektorok fejlődésével a rendszert tovább fejlesztették az infravörös tartomány felé, így az eredeti rendszer kibővült a J, K, L, M, N-szűrőkkel. Később Glass bevezette a H-szűrőt is.

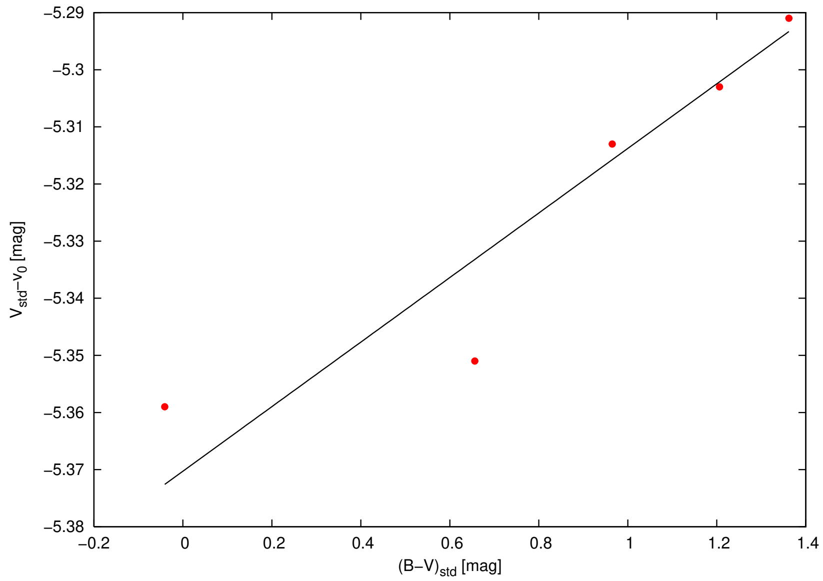
Tehát a teljes Johnson–Cousins–Glass fotometriai rendszer: $U - B - V - R - I - J - H - K - L - M - N$. A 24. táblázatban láthatjuk a szűrők hullámhossztartományának szélességét és a maximális áteresztési hullámhoszat.

	U	B	V	R	I	J	H	K	L	M	N
λ_{eff} (nm)	367	436	545	638	797	1220	1630	2190	3450	4750	10400
$\Delta\lambda$ (nm)	66	94	85	160	149	213	307	39	472	460	–

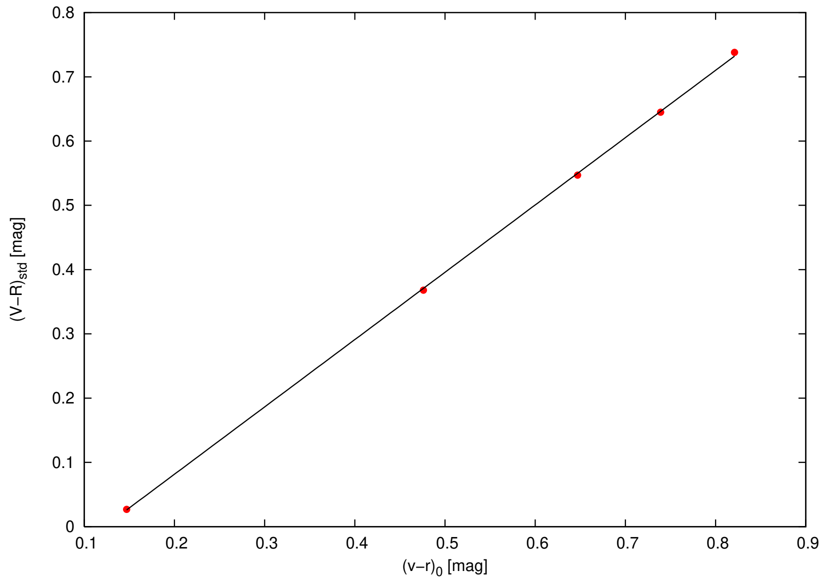
24. táblázat. A Johnson–Cousins–Glass rendszer

A szín–fényesség diagramnál gyakran használatos színindex a $B-V$, amely kapcsolatban áll az effektív hőmérséklettel. Ez a színindex kapcsolatban van a színexcesszussal is: $E(B-V) = (B-V)_{obs} - (B-V)_0$. Az első tag jelöli a csillagközi poron keresztül megfigyelt színindexet, míg a második tag esetén nincs por. A színexcesszus a csillagközi abszorpcióval is kapcsolatban van: $A_V = 3{,}1 \cdot E(B-V)$. Ez csak akkor érvényes, ha a csillagközi porfelhő sűrűsége közepes. Ha nő a sűrűség, akkor a szorzó tag értéke felmehet akár 6-ig is.

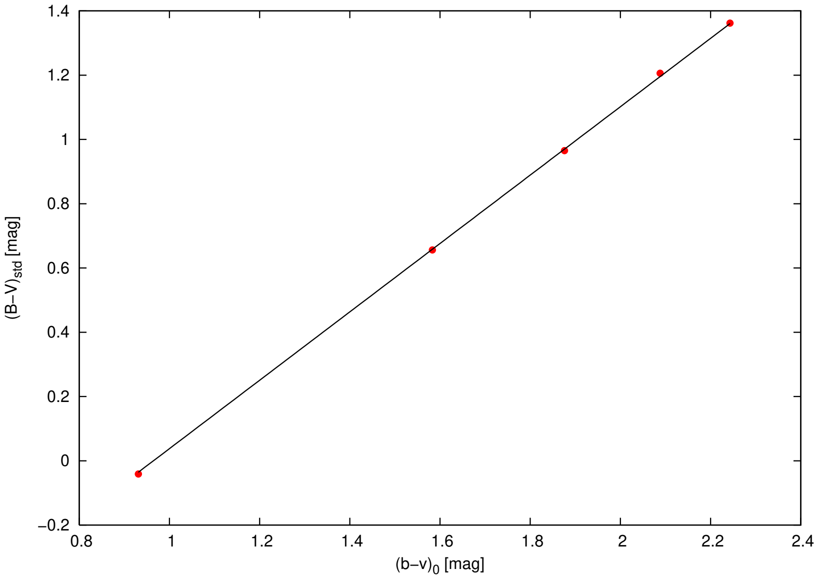
A.2. A távcsőkonstansok meghatározása



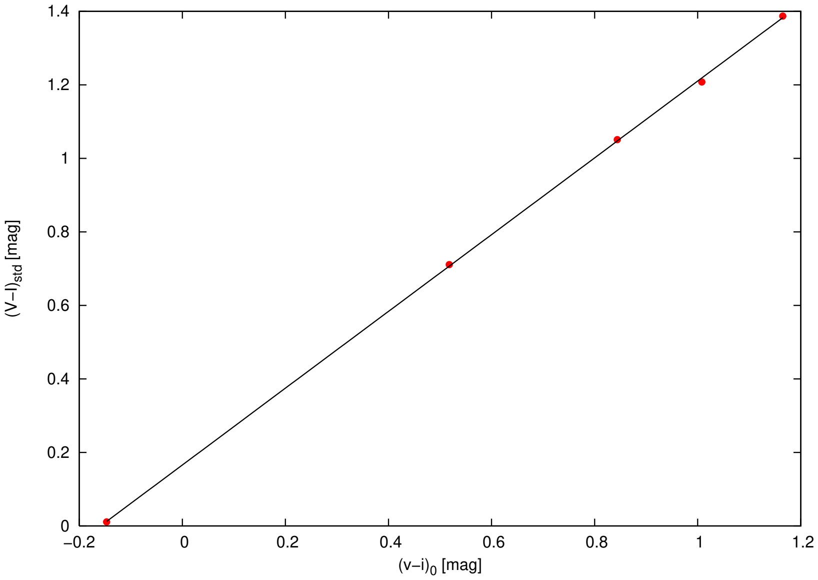
92. ábra. Az ε_{VR} meghatározása



93. ábra. A ν meghatározása



94. ábra. A μ meghatározása



95. ábra. Az η meghatározása

Nyilatkozat

Alulírott Makai Zoltán Sándor, csillagász szakos hallgató kijelentem, hogy a diplomadolgozatban foglaltak saját munkám eredményei, és csak a hivatkozott forrásokat (szakirodalom, eszközök, stb.) használtam fel.

Tudomásul veszem azt, hogy diplomamunkámat a Szegedi Tudományegyetem könyvtárában, a kölcsönözhető könyvek között helyezik el.

....

aláírás

Szeged, 2006. május 12.