

# MAGYAR RÉSZVÉTEL EXOBOLYGÓKUTATÓ ŪRTÁVCSÖVEKBEN

## HUNGARIAN PARTICIPATION IN EXOPLANETARY SPACE TELESCOPES

Kiss L. László

az MTA rendes tagja, főigazgató, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Budapest  
kiss.laszlo@csfk.mta.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

A modern csillagászati kutatások egyik élvonalbeli területe a más csillagok körül keringő planeták (exobolygók) kutatása. Az elmúlt évtizedben robbanásszerűen fejlődött a terület, elsősorban a Kepler-űrtávcső eredményeinek köszönhetően, és nagyrészt ezekre alapozva magyar kutatók is bekapcsolódtak exobolygókat vizsgáló új űrprogramokba. Jelen cikkben négy jelentős űrtávcsövet és a hozzájuk kapcsolódó magyar kutatási-fejlesztési aktivitást mutatunk be, az űrteleszkópok valódi és várható indítási sorrendjében 2018 és 2028 között (TESS, CHEOPS, PLATO és ARIEL).

### ABSTRACT

Studying planets orbiting around other stars, known as exoplanets, has become one of the cutting-edge topics in contemporary astronomy. In the last decade the field has essentially exploded, mostly due to the spectacular results of the Kepler space telescope. Partly based on these results, Hungarian researchers have become partners in new exoplanetary space missions. Here we give an overview of four dedicated space telescopes for exoplanet research, for which there is a significant Hungarian R&D activity, listed in the order of their launch dates between 2018 and 2028 (TESS, CHEOPS, PLATO, and ARIEL).

**Kulcsszavak:** exobolygók, űrtávcsövek, NASA, ESA, űrcsillagászat

**Keywords:** exoplanets, space telescopes, NASA, ESA, space astronomy

### BEVEZETÉS

Immáron közel negyed évszázada, hogy két svájci kutató, Michel Mayor és doktorandusza, Didier Queloz a *Nature* magazin hasábjain bejelentette egy Jupiterhez hasonló tömegű kísérő felfedezését egy Nap típusú csillag, az 51 Pegasi körüli szoros pályán (Mayor–Queloz, 1995). A detektáláshoz a központi csillag látóirányú sebességében bekövetkező periodikus változásokat kellett nagyon pontosan

san kimérni, amelyek elemzésével becslést lehetett végezni a bolygó tömegére. Kezdetben volt némi kétely a sebességváltozásokat okozó láthatatlan kísérők valódiságával kapcsolatban, hiszen periodikus Doppler-eltolódásokat a csillagok színképvonalainak egyéb változásai is okozhatnak, ám legkésőbb az első *fedési exobolygó* felfedezésekor (HD 209458, Charbonneau et al., 2000) beigazolódott, hogy az addigi értelmezés helyes volt, valóban extraszoláris bolygókat találtak a precíz méréseket végző csillagászok. Az azóta bekövetkezett óriási fejlődés nyomán teljesen megérdemelten kapta meg Mayor és Queloz – megosztva – a 2019-es fizikai Nobel-díj felét (a díj másik felét James Peebles amerikai asztrofizikus érdemelte ki a fizikai kozmológia elmélete terén tett felismeréseieért).

A jelenlegi kutatások fókuszában álló fedési exobolygók pályasíkjuk térbeli helyzete miatt minden egyes keringés során átvonulnak a központi csillaguk korongja előtt, így a sötét bolygókorong kitakarja a csillag fényének parányi hányadát. Könnyű belátni, hogy a néhány óráig tartó fényességcsökkenés mértéke a bolygó és csillag látszó felületének hányadosával arányos, azaz a két égitest átmérőjének arányától négyzetesen függ. Naprendszeri példákkal élve: a Jupiter kb. tízszer kisebb átmérőjű, mint a Nap, ezért egy Jupiter méretű exobolygó egy Naphoz hasonló csillag fényének kb. 1/100 részét takarja ki. Az 1%-os fényességcsökkenést akár földi távcsövekkel is lehet detektálni, és pontosan ez történt a HD 209458 esetében is, ahol előbb sebességváltozásokat találtak, majd felfedezték a bolygó átvonulásai által okozott elhalványodásokat. Másik példa lehet a Föld, amely nagyjából százszor kisebb átmérőjű, mint a Nap. Egy exo-Föld átvonulása egy Nap méretű csillag előtt mindössze 1/10 000-ed mértékű elhalványodást okoz, ami földi műszerekkel mérhetetlenül kicsi csökkenés. A földi légkör turbulenciái, az időben változó légköri átlátszóság, a nappalok és éjszakák váltakozásai miatt megszakított mintavételezés együtt lehetetlenné teszik az exo-Földek átvonulásainak detektálását. Egyetlen megoldás a szükséges érzékenység elérésére a műszerek világűrbe helyezése, azaz exobolygókereső és -vizsgáló ūrtávcsövek működtetése hosszú időn át a földi légkör zavaró hatásaitól mentesen.

Az egész terület fontosságát az adja, hogy a fedési exobolygók nagyon különleges asztrofizikai laboratóriumok: a csillag előtti átvonulás, illetve a csillag korongja mögötti áthaladás eredményeként nagyon érzékeny színképelemző berendezésekkel felvehető külön-külön a csillag spektruma (amikor a bolygó eltűnik a csillag mögött), a bolygó nappali oldaláról visszavert fény, illetve a csillagkorong előtti átvonulás alatt detektálható a bolygólégkörben fellépő fényelnyelés. Ebből következően ezek azok a bolygórendszerek, amelyekben lehetséges konkrét méréseket végezni a bolygók légköréről és felszíni viszonyairól, ami pedig az esetleges lakhatóságuk szempontjából kritikus információ.

Az elmúlt évtizedben a területet forradalmasította a NASA 600 millió dolláros ūrtávcsöve, a Kepler, amely minden korábbi műszernél több nagyságrenddel pontosabb fényességmérésre volt képes gyakorlatilag évekig megszakításmentes min-

tavételezéssel. Fedési exobolygók ezreit fedezte fel működése első fázisában 2009 és 2013 között, amikor egy fix látómezőben több mint 150 ezer csillag fényességét mérte folyamatosan, periodikus elhalványodásokra vadászva. 2014 és 2018 között, a második fázisban is folytatta az exobolygók keresését, de akkor már csak kb. 80 napig észlelt egy területet folyamatosan, majd új látómezőre tért át a földpálya síkjához közeli irányokban. A többezres bolygóminta statisztikus elemzése alapján ma már tudjuk, hogy a Földhöz hasonló méretű bolygók milliárdjai léteznek a Tejútrendszerben, hiszen minden ötödik-hatodik Naphoz hasonló csillagnak van legalább egy Földhöz hasonló méretű bolygókísérője néhányszor tíznapos keringési periódussal. A Kepler izgalmas felfedezései között többszörös bolygórendszereket, kettőscsillagok körüli planétákat, illetve központi csillaguk körül az ún. lakhatósági zónában keringő bolygókat találunk. Utóbbiak felszínén a földihez hasonló légkör esetén lehetséges a folyékony víz huzamos létezése, ami a földi típusú élet kialakulásának egyik fontos előfeltétele. A Kepler adataiban kimutatott „lakható bolygók” központi csillagai a Napunknál hűvösebb vörös törpecsillagok, így a jelenleg ismert rendszerek egyike sem igazán hasonlít a mi Földünkre. Ettől függetlenül az exobolygók világa minden várakozást felülmúlóan változatosnak bizonyult, így a szakma lelkesedése mellett a nagyközönség és a döntéshozók többsége is rendkívül pozitívan viszonyul a szakterület további fejlesztéséhez.

Magyar kutatók az űrteleszkópokkal végzett fényességmérés alkalmazásaiba már az első kisebb missziók indulásától, azaz a 2000-es évek elejétől bekapcsolódtak. Az európai CoRoT-műholddal csillagrezgések tanulmányozásában vettek részt, és pontosan ezek az asztroszeizmológiai vizsgálatok alapozták meg a Kepler Asztroszeizmológiai Tudományos Konzorciumban (Kepler Asteroseismic Science Consortium, KASC) a nagyszámú magyar csillagász részvételét. A kutatások természetes fejlődése, illetve a dedikált MTA Lendület-pályázat, OTKA, majd NKFIH kutatási témapályázatok, illetve az Európai Űrügynökség (European Space Agency, ESA) támogatása vezetett oda, hogy a Kepler-féle exobolygós kutatások mellett a hazai szakma bekapcsolódott az újabb dedikált exobolygó-kutató űrteleszkópok előkészítésébe, a tudományos programok kidolgozásába, a szoftverfejlesztésbe, illetve ipari együttműködésben hardverfejlesztés is történt exobolygós űrteleszkóphoz. Az alábbiakban ezeket a programokat és a magyar közreműködés legfontosabb részleteit tekintjük át.

### TESS: FÉNYES ÉS KÖZEL

A NASA Kepler utáni első exobolygós küldetése a teljes égbolt felmérésére vállalkozik. A Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) négy, egyenként csupán 10,5 cm-es kamerával (lényegében egy nagyobb teleobjektívvel) egyszerre az ég 1/24-ed részéről készít digitális felvételt. A 27 napos adagokban történő folyama-

tos adatgyűjtés során a 200 fényévnél közelebbi és fényes csillagok fényváltozásait méri ki, és keresi bennük a rövid periódusú fedési exobolygók jeleit. A TESS megépítését a bostoni Massachusetts Institute of Technology (MIT) által vezetett amerikai konzorcium végezte el, George Ricker professzor irányításával.

A TESS elnyúlt, különleges rezonáns pályán kering a Föld–Hold-rendszerben, ahol a mérés a Földtől távol, az adatok lesugárzása pedig a Föld közelében történik. A műszer 27 naponként kb. 30 fokkal elfordul, így érhető el, hogy egy év alatt az égbolt felét lefedik a mérések. Egy év után az egész eszköz átfordul 180 fokkal, és kezdődik az egyéves felmérés az ég másik felén. A két évre tervezett alapküldetés végén az égi elhelyezkedés függvényében 27–351 napos adatsorok fognak rendelkezésre állni, amelyekből a rövid periódusú fedési exobolygók hatékonyan kimutathatók.

A program több halasztás után 2018 nyarán indult. Elsőként a déli eget mérte végig 27 naponta kissé továbbfordulva, 2019 nyarán pedig elkezdődött az északi félgömb felmérése. Első eredményei már 2018 őszén megjelentek, 2019 őszéig pedig már több mint száz szakcikk alapult a TESS tudományos programjára. Magyar vonatkozásai közül érdemes kiemelni, hogy két, Amerikában dolgozó kutató is fontos szerepet játszott a TESS létrehozásában: Fűrész Gábor az MIT műszerfejlesztő csapatában a TESS végső összeállításában és laboratóriumi körülmények közötti tesztelésében dolgozott, Bakos Gáspár, a Princetoni Egyetem asztrofizika professzora pedig a TESS definiálásában és az első célpontok kijelölésében játszott fontos szerepet. Pál András (Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, CSFK Csillagászati Intézet) a TESS egyik adatelemző szoftverének fejlesztésében vett részt, amit az a szerencsés körülmény alapozott meg, hogy az MTA Lendület programjának támogatásával megépített Légyszem-kamera (Pál et al., 2016) és a TESS kamerái nagymértékben hasonlítanak, és a Légyszemhez fejlesztett kódok könnyen adaptálhatóak voltak a TESS adatainak gyorsnézetét adó szoftverhez.

Legnagyobb létszámban azok a hazai asztroszeizmológusok kapcsolódtak be a TESS adatainak elemzésébe, akik a Kepler-űrtávcső programjának lezárulása után keresik az új kihívásokat. Szerencsére a teljes KASC-csapat (sok száz csillagászról van szó több tucat országból) átvonult az újonnan alapított TASC-ba (TESS Asteroseismic Science Consortium), így a munka folytatódik. Jelenleg a CSFK Csillagászati Intézet és az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) kutatói használják a TESS adatait, elsősorban csillagpulzációk, kettős és többes csillagrendszerek asztrofizikai vizsgálataira, illetve a Tejútrendszer szerkezetét feltáró kutatásokra.

A TESS előreláthatóan legalább a 2020-as évek közepéig működni fog, így eredményeiről rendszeresen fogunk még hallani a sajtóban és a szakmai fórumokon.

## CHEOPS: „BÁRHOL” AZ ÉGEN

A CHaracterising ExOPlanet Satellite (CHEOPS) az ESA első (és valószínűleg utolsó) S-missziója, ahol a betűjelzés az angol „small”, azaz kicsi szóra utal. 2012-ben döntött úgy az ESA tudományos programbizottsága, hogy kísérleti jelleggel 50 millió eurós támogatást ad egy kisebb méretű és költségvetésű tudományos műhold projektjére. A versenypályázati rendszerben odaítélt támogatást végül a svájci Willy Benz által vezetett CHEOPS kapta meg, amely a konzorciumi tagok nemzeti támogatásaival együtt kb. 110 millió euróba került.

A Berni Egyetem által irányított program szakított a korábbi exobolygós űrtávcsövek keresésre irányuló stratégiájával. A CHEOPS ismert exobolygós fényes csillagok követő mérésére dedikált űrteleszkóp, amelynek legfőbb erőssége, hogy viszonylag korlátozás nélkül az égbolt bármelyik pontjára irányozható. A Föld körül poláris pályán keringő műhold lelke egy 30 cm-es optikai teleszkóp, amely egy CCD-kamerával fedési exobolygók átvonulásait fogja mérni. A tervek szerint egyelőre három és fél évig működő műszerrel ezer exobolygó-tranzitot lehet megmérni, a célpontok pedig a már ma is ismert rendszerek mellett a TESS által addig felfedezett égitestek lesznek. A CHEOPS több halasztás után végül 2019. december 18-án indult el, amikor a Francia Guyana-i Kourou űrkikötőjéből egy Szojuz-Fregat rakétával felbocsátották az űrbe.

A svájci vezetésű konzorciumban olasz, osztrák, svéd, brit, német és belga intézetek, cégek mellett Kelet-Európából egyedül a miskolci Admatis Kft., illetve a CSFK Csillagászati Intézet és az ELTE Gothard Asztrofizikai Observatórium (GAO) csillagászai vesznek részt. Az Admatis feladata hűtőradiátorok tervezése és kivitelezése volt, ami a gyakorlatban az 56 kg tömegű műholdból 1,2 kg-nyi alkatrész leszállítását jelentette. Ezzel az egységgel a CCD-kamera és vezérlő elektronika mérési zajt generáló hőjét kell elvezetni a műszer belsejéből, így a mérési pontosság maximalizálásához nélkülözhetetlen volt. A magyar kutatók elsősorban az exobolygók körül keringő holdak, azaz az exoholdak detektálását elősegítő megfigyelési stratégiák kidolgozásában, célpontok választásában, valamint komplex csillag-exobolygó-exohold konfigurációkat modellező szoftverek fejlesztésében dolgoztak az elmúlt hat évben. A CHEOPS legfelsőbb irányító testületeiben Kiss L. László (CSFK) és Szabó M. Gyula (ELTE GAO) képviselik az országot, illetve megemléendő Simon Attila is, aki exoholdszakértőként és szoftverfejlesztőként CHEOPS Fellow a Berni Egyetemen.

A CHEOPS első tudományos eredményei 2020 tavaszán születtek meg, a rutinszerű működés pedig 2020 májusában indult. A TESS és a CHEOPS nagyon szerencsés időzítésű, és a szerző véleménye szerint a TESS-felfedezések nyomán követése lesz a CHEOPS egyik nagy erőssége.

## PLATO: EURÓPAI EXOBOLYGÓKERESÉS

A PLANetary Transits and Oscillations of stars (PLATO) az ESA harmadik közepes (medium, M) missziója, azaz nagyjából félmilliárd eurós költségvetésű programja. A CHEOPS után a PLATO kiválasztásával az ESA döntéshozói visszatértek a felfedező-bolygókereső programok támogatásához, bár ez még soká lesz: most 2026/2027 fordulóján várható a 4+2 évre tervezett működtetésű űrtávcső indítása.

A PLATO innovációja a nagyon nagy látómező elérése összesen 26 egyedi kamerával, amelyekkel az egyszerre észlelt látómező a teljes égbolt kb. 5%-a. A cél fényes és közepesen halvány csillagok nagy mintáira hónapokig, esetleg évekig folyamatos fényességmérés és ebből fedési exobolygók tranzitjainak felfedezése. A központi csillagok jellemzésére (például kor és tömeg meghatározása) az asztroszeizmológiai módszereket fogjuk használni, így már talán nem meglepő, hogy a Kepler és a TESS után a PLATO asztroszeizmológiai konzorciuma lesz a következő fontos munkacsoport a szakma hazai képviselői számára. A projekt vezető kutatója Heike Rauer, a berlini Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) igazgatója, a konzorciumban pedig a CHEOPShoz hasonlóan széles európai együttműködés valósul meg.

Amiben a PLATO újdonság lesz, az a Naphoz hasonló csillagok körüli lakhatósági zónában keringő kis méretű exobolygók felfedezésének képessége. A Kepler végül is nem talált ilyet, hiszen az összes, lakható zónán belüli Kepler-bolygó csillaga a Napunknál hűvösebb, kis tömegű vörös törpe. A TESS-től szintén nem várunk szoláris csillag körül lakható bolygókat, mivel ezek keringési periódusa 1 év nagyságrendű, a TESS pedig csak sokkal rövidebb periódusú exobolygókat képes detektálni. A PLATO megfigyelési programjában szerepel többéves mérésorozat is, ezekből nagyságrendileg ötven igazi Földhöz hasonló exobolygót várunk – valamikor a 2030-as évek elején.

A PLATO-ban jelenleg csak tudományos együttműködésben dolgoznak magyar kutatók. A legfelsőbb irányító testületben, a PLATO tudományos tanácsban Szabó Róbert, a CSFK Csillagászati Intézet igazgatója képviseli az országot, továbbá Szabó M. Gyula, az ELTE GAO igazgatója az exoholdak témakörében munkacsoportot vezet. Említést érdemel Csizmadia Szilárd neve is, ő a DLR munkatársaként évek óta részt vesz a PLATO tudományos programjának kidolgozásában Rauer professzor mellett.

## ARIEL: EXOBOLYGÓK SZÍNKÉPELEMZÉSE

Kevesen várták, hogy az ESA tudományos programbizottsága egymás után három exobolygós űrtávcsövet is elfogad, de 2018 elején pontosan ez történt: a CHEOPS és a PLATO után a negyedik ESA M-misszióként az Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey (ARIEL) került kiválasztásra. A végső elfogadásig még dolgoznia kell az európai konzorciumnak (vezető: Giovanna Tinetti, University College London), ám a legfőbb cél világos: egy nagyjából 1 m-es tükörátmérőjű teleszkóppal ezer exobolygóról infravörös színekép készítése 0,5–8 mikrométer hullámhosszak között, amelynek alapján jellemezhető az exobolygók légköri összetétele.

Az ARIEL lesz az első exobolygós űrtávcső, amely végre nemcsak fényességeket fog mérni, hanem színeképek rögzítésén keresztül valódi fizikai jellemzést tesz lehetővé az exobolygók légkörére és/vagy felszíni viszonyaira. A közeli infravörös tartományban az egyszerűbb molekulák (például: víz, ózon, szén-dioxid, metán) erős elnyelési sávjai dominálnak, ezek detektálása nagy számosságú exobolygómintára várhatóan a különböző típusú bolygó légkörök elkülönítésére ad lehetőséget.

A tervek szerint 2028-ban induló űrtávcső tudományos programjának előkészítésében magyar részről a CSFK Csillagászati Intézet munkatársai vesznek részt, különös tekintettel a csillagaktivitás, foltok és flerek hatásaira az infravörös tartományban, az állatövi fény zavaró hatásainak modellezésére, illetve az exoholdak lehetséges detektálására az ARIEL fedélzeti műszereivel. Ipari partnerként a CHEOPS-nál jól teljesítő Admatis Kft. bevonására látszik lehetőség, ezúttal sokkal komolyabb passzív hűtőrendszer tervezésével és kivitelezésével.

## KITEKINTÉS

Jól látszik, hogy egy-egy komolyabb űrprogram időskáláját inkább évtizedekben, mint években mérjük. Már most pontosan lehet tudni, hogy legalább tématerület tekintetében mivel fogunk foglalkozni a következő évtized végén. Addig természetesen még rengeteg kutatási és fejlesztési problémát meg kell oldani, miközben a globális tudományos fejlődés a maga ritmusában diktálja az új kihívásokat, illetve módosít tudományos programokat, akár teljesen új megközelítésre kényszerítve a kutatókat. Az exobolygókutatás hihetetlen fejlődésen ment keresztül az elmúlt tíz-tizenöt évben, és a fejlődés nem áll le. Mint azt bemutattuk, a magyar csillagászközösség jelen van a kutatás élvonalában, részvételünk a nagy nemzetközi együttműködésekben biztosítja, hogy a jövőben is világszínvonalú kutatásokat végzünk, az általunk irányított diákok pedig nemzetközi szinten is versenyképes gyakorlati képzést kaphatnak.

## IRODALOM

- Charbonneau, D. – Brown, T. – Latham, D. W. et al. (2000): An Upper Limit on the Reflected Light from the Planet Orbiting the Star  $\tau$  Bootis. *The Astrophysics Journal Letters*, 529, L45 DOI: 10.1086/312234, <https://iopscience.iop.org/article/10.1086/312234/pdf>
- Mayor, M. – Queloz, D. (1995): A Jupiter-mass Companion to a Solar-type Star. *Nature*, 378, 355–359. DOI: 10.1038/378355a0
- Pál A. et al. (2016): A Hexapod Design for All-sky Sidereal Tracking, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 128:045002, DOI: 10.1088/1538-3873/128/962/045002, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1538-3873/128/962/045002/pdf>