

# MAGYAR TUDOMÁNY

- A csillagászat Gaia kora
- A fekete lyukak megfigyelésének új módszerei
- A fejlődés-gazdaságtantól a multidiszciplináris fejlődéstan felé
- A betegszerep felértékelődése a 21. századi egészségügyi ellátásban



AKADÉMIAI KIADÓ



# MAGYAR TUDOMÁNY

## HUNGARIAN SCIENCE

### A Magyar Tudományos Akadémia folyóirata

A folyóirat a magyar tudomány minden területéről közöl tanulmányokat, egyes témákat kiemelten kezelve. A folyóirat célja összképet adni a tudományos élet eredményeiről, eseményeiről, a kutatás fő irányairól és a közérdeklődésre számot tartó témákról közérthető formában. Alapítási éve 1840.

#### Szerkesztőség

Magyar Tudomány  
Magyar Tudományos Akadémia  
Telefon/fax: (06 1) 459 1471  
1051 Budapest, Nádor utca 7.  
E-mail: [matud@akademiai.hu](mailto:matud@akademiai.hu)

Megrendeléseiket az alábbi elérhetőségeinken várjuk:  
Akadémiai Kiadó, 1519 Budapest, Pf. 245  
Telefon: (06 1) 464 8240  
E-mail: [journals@akademiai.com](mailto:journals@akademiai.com)  
Előfizetési díj egy évre: 11 040 Ft

Hirdetések felvétele: [hirdetes@akademiai.hu](mailto:hirdetes@akademiai.hu)  
© Akadémiai Kiadó, Budapest, 2020  
Printed in EU  
MaTud 181 (2020) 7

# MAGYAR TUDOMÁNY

## HUNGARIAN SCIENCE

A Magyar Tudományos Akadémia folyóirata

### Főszerkesztő

FALUS ANDRÁS

### Szerkesztőbizottság

BAZSA GYÖRGY, BÁLINT CSANÁD, BOZÓ LÁSZLÓ, CSABA LÁSZLÓ  
CSERMELY PÉTER, HAMZA GÁBOR, HARGITTAI ISTVÁN, HUNYADY GYÖRGY  
KENESEI ISTVÁN, LUDASSY MÁRIA, NÉMETH TAMÁS, PATKÓS ANDRÁS  
ROMSICS IGNÁC, RÓNYAI LAJOS, SPÄT ANDRÁS, VÁMOS TIBOR

### Szaklektorok

MOLNÁR CSABA, PERECZ LÁSZLÓ, SZABADOS LÁSZLÓ

### Rovatvezetők

GIMES JÚLIA (Kitekintés), SIPOS JÚLIA (Könyvszemle)

### Olvasószerkesztő

MAJOROS KLÁRA



AKADÉMIAI KIADÓ



Megjelenik  
a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával

HU ISSN 0025 0325

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó Zrt. igazgatója  
Felelős szerkesztő: Pomázi Gyöngyi  
Termékmenedzser: Egri Róbert  
Fedélterv: xfer grafikai műhely sorozattervének felhasználásával Berkes Tamás készítette  
Tipográfia, tördelés: Berkes Tamás  
Megjelent 12,87 (A/5) ív terjedelemben

# Tartalom

## **Tematikus összeállítás: Már az Univerzum sem a régi**

*VENDÉGSZERKESZTŐ: Kiss L. László*

*Kiss L. László*

**BEVEZETÉS** 867

*Csabai István*

**CSILLAGÁSZATI (MENNYISÉGŰ) ADAT** 869

*Szalai Tamás*

**SPITZER – (BŐ) MÁSFÉL ÉVTIZEDNYI INFRAVÖRÖS „ŰRSZOLGÁLAT”** 876

*Kiss Csaba*

**MIT ADOTT NEKÜNK A HERSCHEL-ŰRTÁVCSÓ?** 883

*Pál András*

**ULTRAPONTOS FÉNYESSÉGMÉRÉS AZ ŰRBŐL –  
A KEPLER ÖRÖKSÉGE ÉS A TESS AKTUALITÁSAI** 889

*Gabányi Krisztina Éva*

**RÁDIÓTÁVCSÓ-HÁLÓZATOK KÖZÖS ÉGBOLT ALATT** 895

*Dálya Gergely*

**A FEKETE LYUKAK MEGFIGYELÉSÉNEK ÚJ MÓDSZEREI** 902

*Szabados László*

**A CSILLAGÁSZAT GAIA KORA** 909

*Ábrahám Péter*

**MAGYARORSZÁG ÉS AZ EURÓPAI DÉLI OBSZERVATÓRIUM** 917

*Kiss L. László*

**MAGYAR RÉSZVÉTEL EXOBOLYGÓKUTATÓ ŰRTÁVCSÖVEKBEN** 926

## **Tanulmányok**

*Szentes Tamás*

**A FEJLŐDÉS-GAZDASÁGTANTÓL A MULTIDISZCIPLINÁRIS  
FEJLŐDÉSTAN FELÉ** 934

*Bársony István*

**FENNTARTHATÓSÁG – FENNTARTÁSOKKAL** 948

*Kósa István, Kincses Gyula, Soós Gyöngyvér, Grózli Csaba, Hohmann Judit*

**A BETEGSZEREP FELÉRTÉKELŐDÉSE A 21. SZÁZADI  
EGÉSZSÉGÜGYI ELLÁTÁSBAN: ÖNGONDOSKODÁS TÁMOGATÁSA,  
EGÉSZSÉG-MAGATARTÁS FEJLESZTÉSE KOMPLEX ELLÁTÁSI  
RENDSZERBEN** 968

*Korinek László*

**KIRÁLY TIBOR IGAZSÁGA** 983

### **Vélemény, vita**

**MTA DIAGNOSZTIKAI BIZOTTSÁG ÁLLÁSFOGLALÁSA.**

**A daganatos betegségek esetében a betegút-menedzsment megerősítése, kontrollja** 989

### **Könyvszemle**

*SIPOS JÚLIA GONDOZÁSÁBAN*

**VÁLOGATÁS HARGITTAI ISTVÁN ÍRÁSAIBÓL – Falus András** 990

**EMBERI JOGI ENCIKLOPÉDIA – Jámbor Adrienn** 993

**AKIKET ARCUL CSAPOTT A VALÓSÁG – ROMA KÖZÖSSÉGEKET  
SEGÍTŐ HELYI PROGRAMOK ÉS AZOK VEZETŐI – Janó Evelin** 997

**AZ ORVOSI HIÁBAVALÓSÁGRÓL – Laki Beáta** 1000

### **Kitekintés**

*GIMES JÚLIA GONDOZÁSÁBAN* 1002

## Tematikus összeállítás

# MÁR AZ UNIVERZUM SEM A RÉGI

# NOWADAYS EVEN THE UNIVERSE IS NOT WHAT IT USED TO BE

VENDÉGSZERKESZTŐ: KISS L. LÁSZLÓ

## BEVEZETÉS

## INTRODUCTION

Kiss L. László

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

## ÖSSZEFOGLALÁS

2019-ben ünnepeltük a Nemzetközi Csillagászati Unió (International Astronomical Union, IAU) megalapításának századik évfordulóját. Ennek alkalmából ezúttal nem visszatekintünk, hanem válogatunk a magyar csillagászat nemzetközi élvonalhoz tartozó friss tudományos eredményeiből, bemutatjuk a hazai szakma beágyazottságát az európai és globális kutatási régiókba, illetve kitérünk a további fejlődéshez szükséges legfontosabb nemzeti tudományfinanszírozási döntések indokaira. Válogatott írásaink kirajzolják a magyar tudomány egyik legdinamikusabban fejlődő területének körvonalait, ami alapján bízhatunk az újabb és újabb izgalmas eredményekben.

## ABSTRACT

In 2019 we have celebrated the 100<sup>th</sup> anniversary of the founding of the International Astronomical Union (IAU). This time, instead of remembering the past, we present a selection of high-profile research results of Hungarian astronomy, discuss the broad scientific network in the European and global research areas, and give a detailed argumentation for the most important national science policy decisions that are crucial for the further development. Our selected articles draw the outlines of a dynamically progressing field of Hungarian science, which gives a solid foundation for further exciting new results in the coming years.

**Kulcsszavak:** csillagászat, asztrofizika

**Keywords:** astronomy, astrophysics

2019-ben több fontos évfordulóról is megemlékezett a csillagászközösség. Éppen száz éve, egy teljes napfogyatkozás közben készített fotók alapján igazolta Arthur S. Eddington asztrofizikus az einsteini általános relativitáselmélet jóslatát a fénysugarak eltéréseinek mértékéről a Nap gravitációs terében. Szintén 1919-ben alakult meg a csillagászat mindmáig legnagyobb nemzetközi szervezete, a Nemzetközi Csillagászati Unió (International Astronomical Union, IAU), amelyhez Magyarország csak három évtizeddel később csatlakozott. Emellett, például 120 éve került állami tulajdonba a Konkoly Thege Miklós által alapított ógyallai magán-csillagvizsgáló, amelynek alapítási évét, 1899-et folyamatos jogutódként mindmáig továbbviszik az utódintézmények, jelen sorok írásakor a Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, illetve tagintézete, a CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet.

A jeles történelmi események felidézésekor szokásos visszatekintés helyett a szerzők és szerkesztők (Kiss László és Szabados László) inkább egy pillanatfelvétel készítését vállalták a magyar csillagászat számára kiemelkedően fontos területek friss eredményeiről. A válogatás természetesen egyáltalán nem törekedett a teljességre, hiszen a magyar csillagászok és asztrofizikusok munkáival több számot is meg lehetne tölteni a *Magyar Tudomány* hasábjain. Ezúttal a különösen aktuális szakterületek kerültek előtérbe: főként a jelenleg működő és a közeljövőben megépülő új csillagászati infrastruktúrák tudományos hatásait mutatjuk be.

Nem véletlen, hogy cikkeinkben dominálnak az űrcsillagászati témák: az asztrometriától a fotometriáig, az infravörös-csillagásztól a távoli galaxisok fekete lyukainak kutatásáig alapvető jelentőségű, hogy érzékeny műszereink a földi légkör zavaró hatásaitól, a nappalok és éjszakák váltakozásától mentesen gyűjthessék az adatokat. Így kerül bemutatásra a Spitzer és Herschel infravörös-űrtéleszkóp, a Gaia asztrometriai űrszonda, illetve a Kepler, TESS, CHEOPS és ARIEL exobolygós űrtávcsövek. A földi bázisú csillagászatban a rádiótávcsövek mellé az utóbbi években bekapcsolódtak a gravitációs hullámokat detektáló lézerinterferométerek, amelyekkel teljesen új ablak nyílt az Univerzum kutatására. Hasonlóan új ablak a nagy adatok elemzésével operáló „big data” csillagászat is, amely egyre inkább az önálló diszciplínává váló adattudomány csillagászati alkalmazásaival foglalkozik – az adatok kezelése mellett lassan már az értelmezésben is megjelennek a gépi tanulás algoritmusai.

A magyar csillagászat évtizedes álma a csatlakozás az Európai Déli Observatóriumhoz (European Southern Observatory, ESO). Ez kedvező kormánydöntés esetén biztosíthatja a magyar kutatók hozzáférését a világ leghatékonyabb optikai és rádiócsillagászati műszereihez az ESO chilei telephelyein. Külön cikkben mutatjuk be a csatlakozási folyamat eddigi lépéseit, és a tudományos eredményesség várható javulásával, illetve a lehetséges ipari beszállítói érdeklődéssel érvelünk a kedvező kormánydöntés megalapozása mellett. Remélhetőleg a Kedves Olvasó számára is meggyőzőek érveink, miként a kirajzolódó kép is a pezsgő magyar csillagászati és asztrofizikai kutatásokról.



# CSILLAGÁSZATI (MENNYISÉGŰ) ADAT ASTRONOMICAL (AMOUNT OF) DATA

Csabai István

az MTA levelező tagja, egyetemi tanár

Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék, Budapest

csabai@complex.elte.hu

## ÖSSZEFOGLALÁS

Ahogy haladunk előre a világ megismerésének folyamatában, a jelenségek pontosabb megértéséhez egyre több adatot kell elemezni. A közelmúltban túlléptük azt a mennyiségi küszöböt, amelyet az emberi elme még kezelni tudott. Mára nemcsak az észlelési adatok gyűjtése és tárolása, hanem azok feldolgozása, modellezése, sőt bizonyos értelemben a jelenségek megértése is gépek segítségével történik. A csillagászat évszázadokkal ezelőtt is a tudomány úttörő ágazata volt, és azoknak a területeknek egyike, ahol az adatforradalom elsőként lezajlott.

## ABSTRACT

As we progress with the understanding of the world, we need to analyse more and more data to uncover the details of the phenomena. In the last decades, we have crossed a border beyond which data cannot fit into and handled by human mind alone. Today not only collection and storage of observational data are handled with machines but also modelling and in some sense the scientific understanding itself requires help from computers. Astronomy has always been at the forefront of the sciences, and it is one of the fields where the data revolution first happened.

**Kulcsszavak:** csillagászat, tudományos adatok, modellezés, gépi tanulás, mesterséges intelligencia

**Keywords:** astronomy, scientific data, modelling, machine learning, artificial intelligence

A tudományok ősidők óta fontos alapkérdésekre keresik a választ, például arra, hogy hogyan működik az élő szervezet, miként mozognak a csillagok az égen, hogyan alakítható ki igazságos társadalom. Nehéz ugyan az egyes tudományágakat összevetni egymással, de talán kijelenthetjük, hogy a csillagászat az első diszciplínák között járt a területére eső bizonyos alapjelenségek megértésében. Köszönhető ez annak, hogy a kitűzött kérdések egy része nagyon egyszerű, fun-

damentális fizikai jelenségeken alapul. Első közelítésben a Naprendszer kisszámú, nagyrészt szabad szemmel is jól látható égitestből áll, amelyek a köztük lévő távolságokhoz képest nagyon kis kiterjedésűek, vagyis pontszerűnek tekinthetők. A testek közt praktikusán „űr” van, azaz nincs sűrűlódás, nincs semmilyen zavaró tényező, egymás mozgását csak a néhány betűs képlettel leírható gravitációs kölcsönhatáson keresztül befolyásolják. A teljes igazság ennél persze jóval bonyolultabb, de az élet leírásának ugyanilyen szintű egyszerűsítése nemigen tehető meg. Ha például az öregedés jelenségét szeretnénk leírni, nem hanyagolhatjuk el a makromolekulák, sejtek és szövetek hierarchiáját, a gének ezreinek kölcsönhatásait, és nem valószínű, hogy bármikor is rábukkanunk egy olyan elegáns képletre, mint a newtoni gravitációé.

Mindez nem jelenti azt, hogy nagyon könnyű volt rájönni, hogyan is működik a Naprendszer. Évszázadokon keresztül figyelték ugyan a csillagászok a Nap, a Hold, a csillagok és a szabad szemmel látható bolygók égi pályáját, de a mérések nagyon sokáig nem voltak elég pontosak ahhoz, hogy kikényszerítsék a viszonylag egyszerű, de a fizikai okokat figyelmen kívül hagyó ptolemaioszi modell felülbírálatát. Tycho Brahe (1546–1601) dán csillagász épített végül egy akkora és olyan stabil szögmérőt (távcsövet ekkor még nem használtak), amely elég pontos adatokkal szolgált egy jobb modell kialakításához. Ezt a munkát a tudományos „big data” egyik korai példájának tekinthetjük. Tycho Brahe életének jelentős részét, mintegy harminc évet áldozott a nagy műszer megépítésére, a bolygók pozícióinak észlelésére és azok táblázatokba jegyzésére. Kevésbé közismert, hogy a „nyers” adatokból a végső, használható táblázatok elkészítése, az adatok „feldolgozása”, rendszerezése Johannes Keplernek (1571–1630) ugyanennyi idejét vette igénybe. Kepler maga így írt a munka nehézségeiről: „Bízom bennetek, barátaim, hogy nem ítéltetek engem teljes egészében a matematikai számítások taposómalmára, és hagytok időt filozófiai spekulációkra, amelyek az egyetlen örömet jelentik az életben.” A nyers adatok katalógusokba rendezése ma sem tartozik a kutatók kedvelt és elismert tevékenységei közé. A végül 1627-ben, a szponzoráló uralkodó tiszteletére Rudolf-táblázatok néven megjelent adathalmaz 1405 csillag és az akkor ismert bolygók légköri hatásokra korrigált pozícióját tartalmazta szögperc pontossággal. Az adatok mellett kiegészítő logaritmustáblák és szemléletes példák is szerepeltek a kiadványban, megkönnyítve a horoszkópokat és a Vénusz vagy Merkúr átvonulását számoló „felhasználók” dolgát. Sajnos napjainkban nem minden közzétett adathalmazra jellemző ez az átgondolt szemlélet. A kiadás után Tycho Brahe rokonai többször próbálták megszerezni a táblázatok publikálásának jogait és hasznát. Azt állították, hogy Tycho Brahe munkájának gyümölcseit a saját családjának kellene élveznie, és nem Tycho Brahe egyik versenytársának. Kepler vitatta ezt, mivel Tycho Brahe halála előtt is évekig együttműködtek az adatok gyűjtésében, a munka jelentős részét, a számításokat, az adatok rendszerezését pedig ő végezte el. Ilyen jellegű viták a szerzőségről, a „rutin technikai” munkák elismeréséről ma is fellépnek.

Ennek a talán első tudományos „big data” projektnek az eredményei messze-  
menő következményekkel jártak. Kepler maga is kereste az általa felállított, azóta  
Kepler-törvényekként tanított tapasztalati összefüggések mögött rejlő mélyebb  
összefüggéseket, de végül mintegy fél évszázaddal később Isaac Newton (1643–  
1727) bukkant rá a földi és mennyei szférákat összekötő mechanikai törvényekre.  
Az így kialakult új tudományos paradigma mentén már szinte egyenes út vezetett  
újabb és újabb jelenségek, így a hőtan, az elektromosság és mágnesesség megér-  
téséhez, melyekben ugyanúgy a technológiai fejlődés, az észlelések, kísérletek és  
matematikai modellek ciklusai segítik egymást.

Kevesebb mint száz éve, az első 100 hüvelyk átmérőjű teleszkóp tette lehetővé,  
hogy felismerjék: a Tejúton kívül is van világ, melyben csillagrendszerünkhöz  
hasonló galaxisok milliárdjai helyezkednek el egy, az addig ismertnél elképzelhe-  
tetlenül nagyobb univerzumban. A 20. század végéig mintegy ezer galaxis térbeli  
pozíciója vált ismertté. Ekkorra érett meg a mikroelektronika arra, hogy leváltsa  
az addig használt fotólemezeket. A körülbelül kétévente duplázódó kapacitású  
technológiára alapozva az 1990-es évek legvégén a Sloan Digitális Égboltfelmé-  
rés (SDSS) kamerája már 120 millió pixeles CCD-kamerát tartalmazott, amely-  
nek segítségével egy szűk évtized leforgása alatt 300 millió galaxist fényképe-  
zett le, egymilliónak a színeképét és abból a távolságát is meghatározta, lehetővé  
telve az univerzum első valamirevaló háromdimenziós térképének megalkotását.  
A technológia fejlődésének sebességét és gyors társadalmi beágyazódását mi sem  
jelzi jobban, mint hogy az egyik legnagyobb mikroelektronikai cég a napokban  
jelentette be egy 108 megapixeles, mobiltelefonokba szerelhető kamera elkészül-  
tét. Ahogy Keplernek is kihívást jelentett az ezer néhány száz csillag adatainak  
rendezése a kor technológiájával, ugyanúgy az SDSS nyers felvételeinek feldol-  
gozása, katalógusba rendezése, közzététele a projektre szánt emberévekben szá-  
molva több munkába került, mint maga az észlelés. Mindezt nem lehetett volna  
megtenni a szenzorokkal párhuzamosan fejlődő számítógépek nélkül. Érdekes-  
ség, hogy a projekt indulásakor nem állt még rendelkezésre több terabájtos adat-  
halmazok hatékony tárolására és elérésére alkalmas hardver, de az exponenciális  
technológiai fejlődést leíró Moore-törvény jóslata teljesült, és amikor elkészült  
a felmérés, elérhetővé váltak a megfelelő számítógépek.

Talán az SDSS volt az első nagy tudományos felmérés, amely annyi adatot  
termelt, hogy gépi segítség nélkül ember végignézni sem tudja, nemhogy alapo-  
san megvizsgálni. Ha egy lelkes kutató vagy doktorandusz másodpercenként egy  
galaxis felvételét ki tudná értékelní, a nap 24 órájában lankadatlanul dolgozva is  
kilenc és fél év folyamatos munkájába kerülne a 300 millió objektum átnézése.  
Nem valószínű, hogy ezek után bárki vissza tudna emlékezni minden konkrét  
galaxisra, annak jellemzőire, vagy ennyi adatban összefüggéseket fedezne fel.  
A sarkított példa azt hivatott demonstrálni, hogy a tudomány számos területe túl-  
lépett azon a fázison, amikor az emberi érzékszervek elegendőek voltak a világ

jelenségeinek megfigyeléséhez, illetve amikor az emberi elme kapacitása és sebessége elegendő volt az adatok, összefüggések kezeléséhez. Az adatok tekintetében az egyik fontos aspektus a banálisnak tűnő adattárolás és -keresés. Amíg egy-két oldalon áttekinthető táblázatokban elérték egy-egy kutatás eredményei, ezt a feladatot nem is igazán tekintették a tudományos munka lényegi részének. Érdekes módon az élet más területein, a bankokban, biztosító- vagy repülőtársaságoknál már korábban keletkezett annyi információ, hogy azok rendezése adatbázis-kezelő szoftvereket igényelt. Ezeket a szoftveres megoldásokat, az úgynevezett relációs adatbázis-kezelőket kellett adaptálni a tudományos adatok kezelésénél fellépő igényekhez. A feladat az SDSS esetében mind a hirtelen keletkezett nagy adatmennyiség, mind annak összetett jellege miatt számottevő kihívást jelentett. Az adatok ugyanis nem az üzleti életben megszokott nevek, elnevezések és pénzüsszegek voltak, hanem térbeli koordináták, galaxisok paraméterei, színek, képek, képek. Ehhez új típusú adatbázisokat és sokdimenziós keresőalgoritmusokat kellett kidolgozni. A végeredményül kialakult publikus adatbázisrendszer, a SkyServer, akár Kepler Rudolf-táblázatai, számos segítő függvényt, tanító jellegű példát is tartalmaz, és azóta is alappreferenciája a kutatóközösségnek, legyen szó egy új szupernóva vagy gravitációshullám-forrás helyének meghatározásáról. Ezt az interaktív adatarhívumot néha Virtuális Obszervatóriumnak is nevezik, utalva arra, hogy ez a valódi univerzum virtuális, háromdimenziós mása, és számos jellemző újabb időigényes észlelések nélkül is gyorsan elérhető.

Az adatok rendszerezése fárasztó rutinmunka, és nem csodálkozunk, ha ilyen monoton munkában a gép segítségét vesszük igénybe. Az adatok kiértékelése, értelmezése, összefüggések feltárása sokkal inkább a kreatív emberi gondolkodás felségterülete, de ma már ez sem lehetséges gépi segítség nélkül. A pusztán mennyiségen túl kihívást jelent az adatok magas dimenzionalitása, komplexitása. Az evolúció által kifejlődött elménk remekül elboldogul a háromdimenziós világban, de gondoljunk akár a csupán négydimenziós gömbökkel kapcsolatos Poincaré-tételre, máris elbizonytalanodunk, és nem sokat segít az intuíciónk. Az SDSS galaxisait, ha csak minimális paraméterekkel, színükkel – már ez is öt a megszokott RGB helyett az ultrabolya és infravörös sávok miatt –, morfológiai jellemzőikkel, égi koordinátaikkal jellemezzük, akkor is már tucatnyi dimenzióval járunk. Ha néhány pontot ábrázolunk egy szokványos grafikonon, könnyen észrevesszük a jellemző trendeket, ahogyan Kepler is felfedezte a bolygók keringési ideje és pályasugara közti összefüggést. De ki tud átlátni több millió pontot tíz dimenzióban, és azok közt szabályszerűségeket felfedezni? Részben segíthetnek azok a módszerek, amelyek tömörítik az adatokat, és az emberi elme számára kezelhető dimenziókba redukálják azokat. De mi van akkor, ha maguk az összefüggések inherensen magasabb dimenziójúak, komplexebbek az emberi elme által felfoghatónál?

Ha elfogadjuk, hogy gondolkodásunk az agyunkban található idegsejtek működésének eredménye, és figyelembe vesszük azt is, hogy az evolúció milyen

feladatok megoldására optimalizálta ezt a berendezést, nem tagadhatjuk le, hogy limitált kapacitással rendelkezünk mind a befogadható adatok mennyiségét, mind pedig az információ feldolgozási sebességét tekintve. Mindennapi tapasztalataink ezt messzemenően alá is támasztják, akár olyan egyszerű feladatokra gondolva, mint tízjegyű számok szorzása vagy egy hosszabb mondat visszafelé elmondása. A tudományon belül is egyre szaporodnak azok a feladatok, ahol a nemrégiben új lendületet kapott *gépi tanulás* vagy a fellengzősebben hangzó *mesterséges intelligencia* segítségünkre lehet. A gépi intelligencia régi ábrándja a tudományos-fantasztikus regényeknek, és a tudomány is többször nekilendült megvalósításának. Neumann János, Alan Turing és a számítástechnika többi úttörői is sokat gondolkoztak az emberi elme működésén, és alapvető motivációt jelentett a számítógépek megalkotásában, noha végül azok struktúrája nem mutat sok hasonlatosságot a biológiai rendszerekéhez. Az elektronikus számítógépek megjelenésével együtt, a 60-as években alkották meg az idegsejteket utánzó első ún. perceptront, de mivel csak nagyon egyszerű feladatokat tudott megoldani, egy időre feledésbe merült ez a megközelítés. A 80-as évek végén, részben a személyi számítógépek elterjedésének, részben pedig a többbrétegű perceptronok hatékony tanítási eljárásának (az ún. back propagation algoritmus) megalkotásával újabb lendületet kapott a gépi tanulás kutatása, és a cikk szerzőjének is lehetősége volt már akkor ezen a területen dolgozni. Ekkor azonban még a kor számítógépei a mesterséges neuronhálók igényeihez mérten rendkívül alacsony kapacitásúak (néhány száz kilobájt memória) és sebességük (néhány megahertz órajel) voltak. Még ennél is nagyobb probléma volt talán, hogy akkoriban adatok se nagyon álltak rendelkezésre, így egy ún. „mesterséges intelligencia tél” köszöntött be. A tavasz napjainkban bontakozik ki a sok ezer processzormagot tartalmazó grafikus kártyáknak és az internetes adatrobbanásnak köszönhetően.

A gépek egy-két év leforgása alatt a reménytelenül gyenge teljesítményről elérték azt a szintet, amikor már a legtöbb képi felismerési feladatban az emberi megfigyelőknél jobb teljesítményre képesek. A nagy internetes cégek sokmilliós képhalmazain tanított algoritmusok nagyobb biztonsággal találják meg az összetett képeken rejtőző tárgyakat, ismerik fel a kutyák fajtáit, az emberi arcokat, mint az egyébként ilyen feladatokban otthonosan mozgó emberek. Tudományos kérdésekben gyakran kevesebb olyan adat áll rendelkezésre, amelyik fel van címkézve a megtanulandó tulajdonságokkal, kategóriákkal, így az első értékelhető eredmények az elmúlt egy-két évben születtek meg, de számuk rohamosan nő. Ha a hétköznapi felvételeken is jobban teljesít a gép, mint az ember, a szem és a látókéreg evolúciós célját figyelembe véve talán nem is annyira meglepő, hogy a gép a mindennapi tapasztalatunktól eltérő tudományos adatok elemzésében még nagyobb sikereket érhet el. Így komolyabb radiológiai tudás nélkül is fel tudunk állítani egy olyan gépi tanulási algoritmust, amelyik a mammoográfiai röntgenfelvételen a kezdődő rákos elváltozásokat megbízhatóbban ismeri fel, mint a

képzett radiológusok. Az új típusú megközelítés az „egyszerű” képfeldolgozáson túl olyan területeken is érdekes eredményeket mutat fel, ahol hagyományos matematikai módszerekkel nem kezelhető, nehéz inverz problémák lépnek fel. Egy közelmúltbeli tanulmányban azt találtuk, hogy a mesterséges neuronhálózat nemcsak pontosabban képes a kozmológiai paramétereket meghatározni gravitációs lencsék mérései alapján, hanem „feltalált” egy olyan egyszerű, de hatékony új eljárást, amely jól értelmezhető, és akár egy kozmológus is kitalálhatta volna.

Minden jel arra mutat, hogy a tudományosadat-forradalomnak még csak az elején tartunk. Hamarosan indul a Large Synoptic Survey Telescope (LSST) projekt, amely hetente több adatot gyűjt, mint az SDSS egy évtized alatt. És ez csak egyetlen földi bázisú csillagászati észlelési projekt a látható tartományban. Emellett számos más távcső készül, amelyek a földfelszínről vagy az űrből észlelik egyre részletesebben az elektromágneses spektrum széles tartományát a rádióhullámoktól a gamma-sugárzásig, sőt a közelmúltban új modalitásként a gravitációshullám-detektorok is csatlakoztak. Mindezek a „csillagászati mennyiségű” adatok azonban eltörpülnek például a modern orvosbiológia által termelt adatmennyiség mellett. A néhány éve még hárommilliárd dollárból és több mint egy évtized alatt megvalósult humán genom szekvenálás mára már csupán pár napot vesz igénybe, és néhány száz dollárba kerül, közel terabájtnyi adatot generálva mintánként. A rutinszerűen, egy-egy páciens szöveti mintáiból készült mikroszkópos felvétel nagyjából 4 gigapixeles, a tomográfok egyre nagyobb felbontású, 3 dimenziós felvételei még nagyobb adatmennyiséget hordoznak. Az *adattudományt* ma már sokan önálló diszciplínaként kezelik, ami a tudomány hagyományos területein túl az ipari alkalmazások és az üzleti élet szinte minden ágazatában egyre nagyobb szerepet kap. Ahogy Galilei és Newton egyesítette a mennyei és földi szférák leírását, az adattudomány ugyanannak az észlelés-modellezés-jóslás-tesztelés paradigmának a kiszélesítése, amelyet a tudományok évszázadok óta követnek: ma már a mindennapi élet számos területe is tudományos megközelítést igényel.

Ahhoz, hogy az univerzum történetét, az élő szervezet, a társadalom vagy a gazdaság komplex jelenségeit megértsük, szükség is van a nagy adathalmazokra: megbízható komplex modellek nem alkothatók kevés adatpontból. A sok információ feldolgozásához pedig szükség van az adatokat rendezni és elemezni képes új, számítógépes módszerekre, köztük a gépi tanulás eszköztárára is. A technológiai innováció és a tudomány mindig is kéz a kézben járt. A tudomány épít az új technológiákra, a pontosabb szögmérőre, a precízen csiszolt távcsőtükör nagy fénygyűjtő felületére, a fotólemez vagy a CCD-csip érzékenységre, a számítógépek gyors információfeldolgozó képességére. Ugyanakkor a modern fizika az embernek abból a „haszontalan” álmódosásából született, hogy megértse a mennyei szférák harmóniáját, a hirtelen a modern gazdaság motorjává váló mesterséges intelligencia pedig abból a filozofikus vágyból, hogy megértsük az emberi gon-

dolkodás mikéntjét. A mélyebb összefüggéseket firtató tudományos elmélkedés esetenként váratlanul, de időről időre megbízhatóan terem olyan gyümölcsöket, amelyekre új technológiák alapozhatóak.

Arthur C. Clark szavait idézve: „Bármely kellően fejlett technológia megkülönböztethetetlen a mágiától.” És valóban, a mechanika törvényeinek megismerése lehetővé tette, hogy katedrálisokat építsünk, és egyszerű gépekkel olyan tárgyakat emeljünk fel, amelyeket emberi erővel lehetetlen. A termodinamikai ismeretekre építve képesek lettünk kontinenseket és óceánokat átszelni, és mindenki garázsában ott van a „hétmérföldes csizma”. Az elektromosság és kvantummechanika törvényeinek feltárása elhozta a villamosítást és az internetet, a mobiltelefon „varázstükrével” pedig távolba láthatunk és hallhatunk. Vajon miféle új csodákat hoz az adattudomány és a mesterséges intelligencia?

# SPITZER – (BŐ) MÁSFÉL ÉVTIZEDNYI INFRAVÖRÖS „ŰRSZOLGÁLAT”

## SPITZER – A (MORE THAN) 15-YEAR-LONG SERVICE IN SPACE

Szalai Tamás

PhD, tudományos munkatárs, Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikai Intézet  
Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék, Szeged  
szaszi@titan.physx.u-szeged.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az aktív működési időt tekintve az infravörös-űreszközök között messze rekordtartónak számító *Spitzer infravörös-űrtávcső* 2020. január 30-án fejezte be küldetését. Az alábbiakban röviden összefoglaljuk a még mindig kifogástalan műszaki állapotban levő űrteleszkóp tudományos eredményekben rendkívül gazdag „pályafutását”, külön hangsúlyt helyezve az örömtelen nagyszámú magyar közreműködéssel történt felfedezésre.

### ABSTRACT

*Spitzer Space Telescope* is the longest-serving infrared space telescope to date. Its mission officially ended in 30 January 2020. Here we give a brief summary of the history of *Spitzer*, and that of the main results achieved through this fruitful scientific mission, highlighting a number of discoveries achieved by Hungarian astronomers as contributors.

**Kulcsszavak:** asztrofizika, infravörös-csillagászat, űrcsillagászat, *Spitzer-űrtávcső*

**Keywords:** astrophysics, infrared astronomy, space astronomy, *Spitzer Space Telescope*

Now the world has gone to bed,  
Darkness won't engulf my head,  
I can see by infrared,  
How I hate the night.

Now I lay me down to sleep,  
Try to count electric sheep,  
Sweet dream wishes you can keep,  
How I hate the night.

A fél világ most ágyba mén,  
De hiába huny ki a fény,  
Infravörösben látok én,  
Gyűlölöm az éjt.

Számlálhatok éjhosszokat  
Elektromos bárányokat,  
Ne is kívánj szép álmokat,  
Gyűlölöm az éjt.

Douglas Adams: *Az élet, a Világmindenség, meg minden*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fordította Kollárik Péter.



Egy távcsőnek – igen nagy valószínűséggel – nincsenek érzései; ha azonban mégis lennének, akkor az immár tizenhat éve a világűrben keringő (és az idei év elejéig folyamatosan üzemelő) Spitzer-űrtávcső érzelmei jó eséllyel rezonálnának a *Douglas Adams* sci-fi író depressziós robotja, Marvin által költött altatódal soraira.

A küldetését 2020 januárjában befejező infravörös-űrobszervatórium a kutatói közösség számára azonban egyáltalán nem a depressziót, hanem számos érdekes újdonság és nagyszerű felfedezés örömet jelentette, jelenti – az alábbi írásban e távcső történetéről és jelentőségéről értekezünk.

### (INFRAVÖRÖS) TÁVCSÖVEKET AZ ŰRBE!

Földünk légköre – az élővilág szerencséjére, de némiképp a csillagászok „bosszúságára” – a teljes elektromágneses spektrum csak néhány sávjában engedi át a világútból érkező sugárzást (a látható fényben, a mikrohullámok és a rövid hullámhosszú rádiótartomány nagy részében, illetve néhány keskeny, közeli és közepes infravörös sávban, lásd például Szabó, 2018). Az űrkorszak beköszöntével a csillagászok felismerték a lehetőséget, hogy a légkörön túlra juttatott eszközökkel az addig elérhetetlennek gondolt hullámhossztartományokban is esély nyílhat a Világegyetem vizsgálatára. Az első, csillagászati célú eszközöket már az 1960-as években Föld körüli pályára állították, megnyitva ezzel az *űrcsillagászat* korszakát (Kovács, 2009).

Az infravörös (IR) tartományban végzett megfigyelések a csillagászok számára nagyon fontosak. Míg a csillagok energiájuk nagy részét általában a látható fény tartományában sugározzák ki, a jóval alacsonyabb (néhány száz vagy csak néhány tíz K) hőmérsékletű égitestek (például bolygók, kisbolygók, csillagközi anyag) hőmérsékleti sugárzása alapvetően a hosszabb hullámhosszú régióba esik; emellett infravörös emissziós vonalakként figyelhetők meg például a molekulák forgási és rezgési átmenetei. Fontos előny a látható fény tartományához képest, hogy a csillagközi por és gáz fényelnyelési és -szórási hatásait együttesen jellemző ún. *extinkció* jóval kisebb az infravörös hullámhosszakon. Így a közeli IR-tartományban (kb. 0,7–5 mikrométer), ahol még nem a hideg por saját sugárzását látjuk, lehetőségünk van „átnézni” a porral övezett régiókon, például a csillagkeletkezési területek porburkain vagy Galaxisunk porsávjain, bepillantást nyerve azok belsejébe, illetve azok mögé. (Természetesen az IR-tartományban való vizsgálódásnak nehezítő tényezői is vannak: egyrészt a közép- és távoli IR-tartományban nagyon erős a naprendszerbeli por sugárzása mint égi háttérsugárzás, másrészt, a hosszabb hullámhosszak felé haladva egyre csökken a felbontóképesség.)

Az első jelentős infravörös-űrtávcső az IRAS (*Infrared Astronomical Satellite*, 1983) volt, amit 1995-ben a mindössze egy hónapig üzemelő, japán IRTS (*Infra-*

*red Telescope in Space*), illetve az Európai Űrügynökség (ESA) 2,5 évig szolgáltatot teljesítő, ISO (*Infrared Space Observatory*) nevű távcsöve követett. Ezek mellett a Hubble űrtávcsövön is helyet kapott egy közeli IR-tartományban érzékeny kamera, továbbá jó néhány földfelszíni teleszkóppal is részben vagy teljesen a légkörön átjutó IR-sugárzást vizsgálják. Az első három-négy évtized tapasztalatai és biztató eredményei után került sor 2003-ban a NASA eddigi utolsó nagy űrobszervatóriuma, a Spitzer infravörös-űrtávcső felbocsátására (a korábbiak: a Hubble-űrtávcső, a *Compton* gamma-űrtávcső és a *Chandra* röntgen-űrtávcső).

### A SPITZER-ŰRTÁVCSŐ

Az eredetileg SIRTF (*Space Infrared Telescope Facility*) néven futó misszió (URL1) végleges nevét *Lyman Spitzer* (1914–1997) amerikai fizikus-csillagászról, a nagy teljesítményű optikai távcsövek űrbe juttatásának egyik vezető kezdeményezőjéről kapta. A 85 cm átmérőjű berillium főtükröt tartalmazó űrteleszkópot 2003 augusztusában egy Delta-II hordozórakétával állították pályára (a korábbi három NASA-űrobszervatóriumot az űrsiklók segítségével juttatták a világűrbe). A *Spitzer* speciális, ún. Föld-követő pályán kering a Nap körül (így kevésbé zavarta a Föld infravörös „hője”, valamint a célpontokra állás is egyszerűbbé vált). Az űrtávcső három műszere a négycsatornás (3,6, 4,5, 5,8 és 8,0 mikrométer) képalkotó *Infrared Array Camera* (IRAC), a három csatornán (24, 70 és 160 mikrométer) képalkotó, illetve kis felbontású spektrofotométerként is használható *Multiband Imaging Photometer for Spitzer* (MIPS), valamint az 5,2–38 mikrométer közötti spektrumokat és 13–26 mikrométer között széles sávú fotometriai méréseket is rögzíteni képes *Infrared Spectrograph* (IRS).

A detektorok teljes értékű üzemeléséhez azonban – cseppfolyós hélium segítségével – folyamatosan 5,5 K hőmérsékleten kellett tartani a berendezéseket; ez az állapot 2009 májusáig volt fenntartható. A hűtőanyag előre kalkulált elpárolgása óta a Spitzer ún. melegüzemmódban (Warm Mission) működik (URL2); ebben az állapotban csak a két legrövidebb hullámhosszú IRAC-csatornán lehet méréseket végezni.

A Spitzer-űrtávcsővel a csökkentett üzemmódú időszakban is rendkívül értékes megfigyeléseket végeztek, ezért a küldetést az eredeti tervekhez képest többször is meghosszabbították. A költségvetési megszorítások és más projektek (elsősorban a James Webb-űrtávcső) kiadásainak megnövekedése miatt a NASA – egyéb finanszírozó szervezet hiányában – 2020. január végén hivatalosan is lezárta a programot. Az alábbiakban a Spitzer bő másfél évtizednyi adatrögzítésének eredményeiből válogatunk átfogó, de közel sem mindenre kiterjedő módon.

## NAPRENDSZER-BELI ÉGITESTEK VIZSGÁLATA

Bár az „úrtávcső” szót először hallva az lehet az ember elképzelése, hogy egy ilyen eszközzel csak az emberi ésszel felfoghatatlanul távoli világok titkait kutatják a csillagászok, ez nincs így. Más űreszközökhöz hasonlóan a Spitzer látóterébe is sokszor kerültek szűkebb kozmikus környezetünkben lévő égitestek – s ezekről jellemző módon számos, korábban nem ismert érdekesség derült ki.

A Spitzerrel dolgozó kutatók az egyik leghíresebb felfedezést sokak kedvenc bolygója, a Szaturnusz kapcsán tették: egy óriási, a bolygó körül 6–12 millió km közötti térrészben húzódó porgyűrűt sikerült kimutatniuk (URL3). Az eddig ismeretlen gyűrű anyaga minden bizonnyal a benne keringő Phoebe holdból ered, s egyúttal magyarázatul szolgálhat egy másik hold, a „kétarcú” (egyik felén sötét, másik felén világos) Iapetus régi rejtélyére: a gyűrű sötét, poros anyagának egy része hullhat a forgásával ellentétes irányban keringő kísérő felszínére.

A Spitzer emellett lehetővé tette a látható fény tartományában csak nehezen vizsgálható (sötét felszínű, hideg, kis méretű) aszteroidák alakjának és szerkezetének pontosabb meghatározását. Ilyen vizsgálatok során nyert bizonyítást többek között az az elképzelés, hogy a kisbolygók tömör sziklák helyett inkább szivacsosabb, „kőrákás szerkezetű” testek; de így sikerült például megállapítani – magyar kutatók vezetésével, a Spitzer mellett a Kepler és Herschel úrtávcsövek adatai révén – a Neptunusz Nereida nevű holdjának közelítő alakját és felszíni hőmérséklet-eloszlását (URL4).

## TÁVOLI CSILLAG- ÉS BOLYGÓRENDSZEREK

A Spitzer-úrtávcső segítségével elért eredmények jelentős részben fiatal, születőben lévő csillag- és bolygórendszerekhez, valamint távoli csillagok már kialakult bolygóihoz (exobolygók) kötődnek. Előbbiek esetében főként a fiatal csillagok körüli korongok termális sugárzásának elemzése révén lehet szerkezetükre és dinamikájukra, azok alapján pedig a bennük zajló folyamatokra (például bolygókeletkezés, bolygócsírák ütközése, csillag-korong kölcsönhatások) következtetni (lásd például URL5, illetve magyar vezetésű/kötődésű eredmények közül URL6, URL7).

A már „kiforrott” állapotban létező bolygórendszerek esetén az infravörös tartományban a csillag fénye jóval kevésbé „nyomja el” a bolygó(k) hősugárzását, így lehetőség van exobolygók detektálására akár közvetlenül, akár fedési fénygörbék segítségével: a fedést mutató rendszer infravörös összfényessége periodikusan csökken, amikor a bolygó tőlünk nézve a csillag *mögött* halad át). Ilyen jellegű megfigyelések alapján számos bolygó(jelölt) csillagtól való távolságát, méretét,

hőmérsékletét lehetett pontosítani; Spitzer-adatok alapján sikerült többek között elkészíteni az első „exobolygó-hőterképét” (URL8), vagy például közelítőleg meghatározni a nemrégiben azonosított TRAPPIST–1 rendszerben lévő planéták sűrűségét s így közvetve lehetséges víztartalmukat (URL9).

### KÉMIAI ANALÍZIS: VÍZMOLEKULÁKTÓL A FULLERÉNEKIG

Külön fejezetet érdemelnek a Spitzerhez kapcsolható spektroszkópai eredmények. Ahogy fentebb említettük, a közeli és közép-IR-tartomány kiválóan alkalmas molekulák energiaátmeneteinek megfigyelésére. A Spitzerrel több exobolygó légkörében sikerült például vízgőz jelenlétét kimutatni (egyelőre nem Föld-szerű bolygónál, hanem a csillagukhoz rendkívül közel keringő, ún. „forró jupiterek” esetén, lásd például URL10), míg magyar kutatók vezetésével két nagy visszhangot kiváltó (a *Science*, illetve a *Nature* folyóiratban közölt) tanulmány is született fiatal csillagok körüli korongokban lévő kristályos anyagok jelenlétéről és keletkezési folyamataikról (URL11, URL12).

A molekulákkal kapcsolatos, talán legmegdöbbentőbb felfedezés azonban az volt, hogy a csillagközi térben és gázködökben sikerült kimutatni – a Földön mesterséges körülmények között először csak az 1980-as években előállított – fullerénmolekulák (60 vagy akár még több atomból álló „szénlabdák”) színképi nyomait (URL13).

### A TEJÚTRENSZER ÉS MÁS GALAXISOK

A Spitzerrel végzett vizsgálatok a Tejútrendszer, valamint más galaxisok feltérképezésében is úttörő jelentőségűek. Saját Galaxisunk síkjában az optikai tartományban gyakorlatilag nem lehet keresztüllátni a vastag porsávokon, de a közeli és közép-IR-tartományban ez jóval hatékonyabban működik – ez alapján sikerült például sokkal alaposabban megismerni a Tejútrendszer spirálszerkezetét (URL14). A GLIMPSE nevű, nagyszabású program keretében pedig az IRAC-kamera négy szűrőjével készített, összesen csaknem félmillió (!) felvétel segítségével immár 360 fokos kép áll rendelkezésre a galaktikus síkról, korábban soha nem látott részleteket feltárva (a végső mozaikképek elérhetők a projekt weboldalán is, URL15).

Szintén a Spitzer segítségével sikerült minden eddiginél távolabbi galaxisokat és galaxishalmazokat azonosítani, valamint kimutatni, hogy az Univerzum első galaxisai sok mindenben különbözhetnek a később keletkezőktől: egy részük porban nagyon gazdag, sokuk pedig elképesztően nagy mennyiségben bocsát ki ionizáló sugárzást (URL16). Ugyanakkor infravörösben néhány jól ismert, közeli galaxis is egész más arcát mutatja, mint látható fényben (URL17, URL18).

## FEKETE LYUKAK, SZUPERNOVÁK ÉS KOZMOLÓGIA

Űrtávcsövekkel bizonyos objektumok és események még több száz millió (vagy akár több milliárd) fényévre lévő galaxisokban is megfigyelhetők. Ilyenek például a csillagvárosok centrumaiban lévő, gigantikus fekete lyukak; közvetlenül persze nem ezeket, hanem a környezetükben zajló anyagáramlási és sugárzási folyamatok jeleit lehet észlelni. A Spitzer e téren is tudott új információkat szolgáltatni, például arról, hogy a fiatal, aktív galaxismagok környezete szinte pormentes volt, ellentétben az Univerzum közelebbi szegleteiben megfigyelhetőkével (URL19).

Az infravörös tartomány fontos a nagy tömegű, illetve kettős rendszerekben lévő csillagok életét lezáró szupernóva-robbanások késői nyomon követéséhez is. Míg látható fényben a táguló és hűlő maradványok a robbanást követően néhány hónap alatt elhalványulnak, infravörösben még évekig vagy akár évtizedekig is követhetők; emellett az IR-tartományban speciális asztrofizikai folyamatok (például porképződés, lökéshullámok kölcsönhatása a csillagközi anyaggal) is vizsgálhatók (a témában szintén fontos, magyar vezetésű publikációk születtek, összefoglalóként lásd: Szalai, 2010; Szalai et al., 2018; URL20).

A csillagászat egyik legrégebbi és legösszetettebb problémájához, a kozmológiai távolságméréshez ugyancsak fontos hozzájárulást adtak a Spitzer adatai: ezek segítségével nagymértékben csökkenteni lehetett a Tejútrendszerben, illetve a Nagy-Magellán-felhőben ismert *cefeida* változócsillagok periódus-fényesség relációjának szórását, ami a kozmikus távolságskála meghatározására szolgáló egyik legfontosabb módszer használatában jelentett komoly előrelépést.

## A SPITZER-ŰRTÁVCSŐ HAGYATÉKA

A Spitzer-űrtávcső működése során rögzített adatok feldolgozása még évekig (akár egy-két évtizedig is) munkát ad a csillagászoknak (az űrtávcső felvételei és színekpei nagyrészt publikusan elérhetők, lásd URL21 és URL22). Az utóbbi bő másfél évtized tapasztalatai és eredményei pedig kellő motivációt és felkészültséget biztosítanak a közeljövő infravörös-űrtávcsöveinek misszióihoz (James Webb-űrtávcső, WFIRST).

## IRODALOM

- Kovács J. (2009): Csillagászat az űrből. *Feltárul a Világegyetem – Természet Világa*, 1, különszám, 48–53. <http://www.termeszetvilaga.hu/szamok/kulonszamok/k0901/kovacs.html>
- Szabó R. (2018): Csillagászat és kozmikus fény. *Magyar Tudomány*, 179, 8, 1141–1151, DOI: 10.1556/2065.179.2018.8.4, [https://mersz.hu/hivatkozas/matud\\_f9805#matud\\_f9805](https://mersz.hu/hivatkozas/matud_f9805#matud_f9805)

- Szalai T. (2010): Porgyártó (?) szupernóvák. *Fizikai Szemle*, 12, 399–404. <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1012/szalai1012.html>
- Szalai T. – Zsíros Sz. – Vinkó J. (2018): Kölcsönhatások és porképződés a szupernóvák környezetében. *Természet Világa*, 8, 361–365. <https://termvil.hu/2018/09/04/robbano-csillagok-videke/>
- URL1: A Spitzer-űrtávcső weboldala: <http://www.spitzer.caltech.edu/>
- URL2: csillagaszat.hu (2008. 12. 25.): [https://www.csillagaszat.hu/hirek/technikai\\_ujdonsagok/tu-urteleszkopok/a-vilag-ket-szinben-ilyen-lesz-a-spitzer-a-folyekony-helium-elfogytaival/](https://www.csillagaszat.hu/hirek/technikai_ujdonsagok/tu-urteleszkopok/a-vilag-ket-szinben-ilyen-lesz-a-spitzer-a-folyekony-helium-elfogytaival/)
- URL3: csillagaszat.hu (2009. 10. 07.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/nr-egyeb-naprendszer/nr-egyeb-szaternusz/oriasi-porgyurut-fedeztek-fel-a-szaternusz-korul/>
- URL4: csillagaszat.hu (2016. 02. 04.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/urtavcsovek-ossztuze-zudult-a-nereidara/>
- URL5: csillagaszat.hu (2007. 04. 02.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/asztrofizika-hirek/af-exobolygok/bolygokeletkezés-szoros-kettőscsillagok-korul/>
- URL6: csillagaszat.hu (2006. 10. 05.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/asztrofizika-hirek/af-csillagok-fejloedese/bolygogyilkos-oriascsillagok/>
- URL7: csillagaszat.hu (2009. 12. 18.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/asztrofizika-hirek/af-csillagok-fejloedese/gyors-valtozasok-egy-formalodo-fiatal-bolygorendszerben/>
- URL8: csillagaszat.hu (2007. 05. 10.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/asztrofizika-hirek/af-exobolygok/forro-bolygok-a-naprendszeren-kivul/>
- URL9: csillagaszat.hu (2018. 02. 07.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/sok-viz-lehet-a-trappist-1-bolygoin/>
- URL10: csillagaszat.hu (2007. 07. 12.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/asztrofizika-hirek/af-exobolygok/vizgoz-egy-forro-exobolygo-legkoreben/>
- URL11: csillagaszat.hu (2005. 11. 14.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/asztrofizika-hirek/af-exobolygok/a-bolygokeletkezés-elso-lepesei-barna-torpek-korul/>
- URL12: csillagaszat.hu (2009. 05. 13.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/asztrofizika-hirek/af-csillagok-szuletese/kitoresek-tuzeben-keletkeztek-az-ustokosok-kristaljai/>
- URL13: csillagaszat.hu (2010. 11. 03.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/tejutrendszer/tr-csillagkozi-anyag/szenlabdak-a-vilagurben/>
- URL14: csillagaszat.hu (2008. 06. 05.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/tejutrendszer/tr-a-tejutrendszer-szerk/meghokkento-felismeres-a-tejutrendszer-spiralszerkezeterol/>
- URL15: A GLIMPSE projekt weboldala: <https://irsa.ipac.caltech.edu/data/SPITZER/GLIMPSE/>
- URL16: csillagaszat.hu (2019. 05. 15.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/milyenek-voltak-az-osi-vilagegyetem-legelso-galaxisai/>
- URL17: csillagaszat.hu (2005. 10. 20.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/extragalaktikus-csillagaszat-hirek/exg-kulonleges-galaxisok/az-andromeda-galaxis-uj-szemszögbol/>
- URL18: csillagaszat.hu (2008. 07. 26.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/extragalaktikus-csillagaszat-hirek/exg-kulonleges-galaxisok/a-szelkerek-galaxis-infravoros-meglepetese/>
- URL19: csillagaszat.hu (2010. 03. 21.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/extragalaktikus-csillagaszat-hirek/exg-aktiv-galaxismagok/kozmi-koszorú-szornyetégek-gyermekkora/>
- URL20: csillagaszat.hu (2019. 04. 25.): <https://www.csillagaszat.hu/hirek/kolcsonhatasok-es-porképzodes-szupernovak-kozep-infravoros-látlelete/>
- URL21: Spitzer Heritage Archive: <http://sha.ipac.caltech.edu/>
- URL22: CASSIS (Spitzer IRS-adatbázis): <https://cassis.sirtf.com/>

## MIT ADOTT NEKÜNK A HERSCHEL-ÚRTÁVCSÓ?

### WHAT HAS THE HERSCHEL SPACE OBSERVATORY EVER DONE FOR US?

Kiss Csaba

az MTA doktora

Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Budapest

kiss.csaba@csfk.mta.hu

#### ÖSSZEFOGLALÁS

A Herschel-űrtávcső a 2010-es évek elejének legfontosabb űrcsillagászati programja volt. Legfontosabb eredményei közé tartozott, hogy a korábbi infravörös-űrtávcsövekhez képest sokkal jobb térbeli felbontásának köszönhetően sikerült forrásaira bontani az infravörös és szubmilliméteres extragalaktikus háttérrel, felfedezni a Tejútrendszer csillagközi anyagának szálas szerkezetét, valamint a távoli-infravörös spektroszkópiai műszerekkel szerves molekulákat azonosítani a csillagközi és csillagkörüli térben és a Naprendszerben.

#### ABSTRACT

Herschel Space Observatory was the most important space astronomy mission in the early 2010s. Due to its unprecedented spatial resolution at the far-infrared and submillimetre wavelengths it could resolve the infrared extragalactic background into individual sources, discover the filamentary structure of the interstellar medium in our Galaxy, and identify organic molecules in the interstellar and circumstellar medium and in our Solar system using its far-infrared spectroscopic instruments.

**Kulcsszavak:** Herschel-űrtávcső, távoli-infravörös és szubmilliméteres csillagászat, extragalaktikus háttér, csillagközi anyag, Naprendszer

**Keywords:** Herschel Space Observatory, far-infrared and submillimetre astronomy, extragalactic background, interstellar medium, Solar System

Annak az egyszerű ténynek, hogy az éjszakai égboltot sötétnek látjuk, komoly kozmológiai következménye van. Az ebből levezetett ún. Olbers-paradoxon szerint egy térben és időben végtelen Világegyetemben egy megfigyelő bármilyen irányba is nézzen, tekintete előbb-utóbb egy csillag felszínével kell hogy találkozzon, azaz az éjszakai égnek a Nap fényességével kellene ragyognia min-

den irányban. Ez nyilvánvalóan nincs így, a paradoxon feloldása pedig az a ma elfogadott ősrobbanás-elmélet szerint, hogy az Univerzum csak véges ideje létezik, így a nagyon távoli csillagok fénye még nem érhetett el hozzánk, amihez számottevően hozzájárul a Világegyetem tágulása is. Bár az Olbers-paradoxon egy rendkívül fontos kozmológiai megfigyelést tükröz, valójában az éjszakai ég nem teljesen sötét. Szabad szemmel a csillagok közötti égi háttér már a látható tartományban is könnyedén megfigyelhető fényszennyezés nélküli helyről, bár ezeken a hullámhosszakon a háttér fényének nagy része inkább a légköri fényszórásból és a légkört alkotó molekulák sugárzásából származik, mintsem a háttér halvány, egyenként nem megfigyelhető csillagainak összeadódó fényéből. Az infravörös tartományban (1–300  $\mu\text{m}$ ) az égi háttér nagyon jelentős a megfigyelhető égitestek fényességéhez képest, még akkor is, ha távcsövünket a légkör fölé emeljük. Ebben a tartományban a legjelentősebb háttérkomponensek a bolygóközi por (állatövi fény) és a Tejútrendszer kis sűrűségű hidrogénfelhőiben található por hőmérsékleti sugárzása (az ún. galaktikus cirrusz emisszió), valamint a távoli galaxisok összeadódó fénye, a kozmikus infravörös háttér. A közeli-infravörösben (1–10  $\mu\text{m}$ ) ehhez hozzájárulnak még a Tejút halvány csillagai, a legtávolabbi infravörös hullámhosszakon (kb. 300  $\mu\text{m}$ ) pedig az ősrobbanás maradványa, a mikrohullámú háttérsugárzás. A háttérektől egy adott égitest mérésénél könnyen meg tudnánk szabadulni, ha az a forrásunk környezetében minden irányban ugyanolyan lenne, ez azonban nincs így: nem ugyanannyi és ugyanolyan fényességű galaxist látunk minden irányban, és például a csillagközi anyag felhőinek bonyolult szerkezete miatt a galaktikus cirrusz fényessége sem azonos különböző irányokba nézve. Minthogy emiatt nem tudjuk meghatározni a háttér pontos értékét egy adott helyen, a kiválasztott forrásunk fényességét sem tudjuk tetszőleges pontossággal megmérni, bármilyen hosszan is figyeljük meg azt. Emellett, ha a források túl közel vannak egymáshoz, előfordulhat, hogy nem tudjuk szétválasztani őket – a fenti két hatásból származó, a forrás fényességének meghatározásában fellépő bizonytalanságot *konfúziós zajnak* nevezzük.

A 2000-es évek elejéig felbocsátott infravörös-úrtávcsövek (IRAS, ISO, Spitzer) teljesítményét a konfúziós zaj korlátozta, azaz, bár a detektorok megengedték volna halványabb források megfigyelését is, a konfúziós zaj miatt ez nem volt lehetséges. Általánosan igaz, hogy rövidebb hullámhossz és nagyobb távcsőtükör kisebb konfúziós zajt eredményez. Minthogy a megfigyelendő fizikai jelenségek megszabják az észlelés hullámhosszát, ezért valójában a konfúziós zajjal szemben az egyetlen fegyver a távcsőtükör méretének növelése volt. A korábbi 60 cm-es (IRAS, ISO), majd 85 cm-es (Spitzer) tükörmérettel szemben a Herschel-úrtávcső 3,5 m-es tükre óriási ugrást jelentett, és a korábbinál jóval halványabb objektumok megfigyelését/felbontását tette lehetővé (a mai napig ez a világűrbe tudományos céllal felküldött legnagyobb távcsőtükör).



A 2000-es években az égi háttér komponenseinek elkülönítése – a kozmikus infravörös háttér megszabadítása az előterektől – az egyik legfontosabb feladat volt az extragalaktikus csillagászatban. A Világegyetemben az „utolsó szórás” (a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás keletkezésének időpontja) óta kibocsátott energia mintegy fele a kozmikus infravörös háttérben lelhető fel, ez jelentős részben a távoli galaxisokban található por által elnyelt és az infravörösben újra kibocsátott csillagfény. A háttér fényét adó galaxisok nagy hányada meg sem figyelhető látható hullámhosszakon az ott lévő nagy mennyiségű por miatt. A korábbi infravörös-úrtávcsövek a konfúziós zaj miatt csak kis részben tudták a háttér forrásaira bontani, így nem tudtuk, hogy milyen galaxisok alkotják a kozmikus infravörös háttér, milyenek voltak a galaxisok 5–10 milliárd évvel ezelőtt, amikor a mai galaxisokban megfigyelhető csillagok nagy része keletkezett. Ezekre a fontos kozmológiai kérdésekre csak egy, a korábbiaknál jóval nagyobb átmérőjű főtükröt tartalmazó infravörös-úrtávcső adhatta meg a választ. Hasonlóan, a csillagközi anyag szerkezetének kutatásában is fontos kérdés volt, hogy a korábban látott önazonos (fraktálszerű) szerkezet milyen skálán törik meg, milyen felbontásnál veszi át a térbeli szerkezet kialakítását a csillagkeletkezés.

A csillagászatban az 1980-as évek közepétől egyre nagyobb hangsúlyt kaptak az infravörös tartományban (1–300  $\mu\text{m}$ ) működő távcsövek. Az infravörös tartományban megfigyelhető sugárzás a legrövidebb (1–5  $\mu\text{m}$ ) hullámhosszaktól eltekintve, ahol magasabb hőmérsékletű égitestek (csillagok) visszavert fényét is láthatjuk, alapvetően a csillagoknál hidegebb (~500 K-nél alacsonyabb hőmérsékletű) égitestek hőmérsékleti sugárzása. Ilyen sugárzást bocsát ki a Tejútrendszerben és más galaxisokban található csillagközi anyag (~10–100 K), a csillagok körüli por- és gázkorongok anyaga, a bolygók és exobolygók felszíne és a Naprendszer kis égitestjei (törpebolygók, kisbolygók). Ezek megfigyeléséhez és jellemzéséhez az infravörös tartományban végzett mérések jelentik a leghatékonyabb eszközt.

Az infravörös tartománybeli méréseket jelentősen megnehezíti, hogy ebben a tartományban, elsősorban a vízgőz elnyelése miatt, a földi légkör az 1–20  $\mu\text{m}$ -es hullámhosszakon csak részlegesen áteresztő és gyakorlatilag teljesen átlátszatlan 20  $\mu\text{m}$  felett. Az ilyen távoli-infravörös hullámhosszakon történő megfigyelésekhez a távcsövet a légkör fölé kell emelni. Ez a kezdeti időkben, az 1970-es években, ballonokról és rakétákról történő megfigyeléseket jelentett, a 1980-as évek közepén kezdődött az infravörös-úrtávcsövek korszaka az IRAS-műhellyel, és folytatódott az 1990–2000-es években a ISO- és Spitzer-úrtávcsövekkel.

A Herschel-úrtávcsövet 2009 májusában bocsátották fel, fedélzetén három műszerrel (PACS, SPIRE, HIFI), amelyek együttesen az 55–670  $\mu\text{m}$ -es, távoli infravörös és szubmilliméteres, tartományt fedték le. A távcső 2013 áprilisáig működött, ekkor fogyott el belőle a berendezések hűtéséhez szükséges folyékony hélium. A távcső a Nap–Föld-rendszer 2. Lagrange-pontja körüli pályán keringett, mintegy

1,5 millió kilométerre a Földtől. A lefedett hullámhossztartománynak megfelelően elsősorban „hideg” objektumokat tudott vizsgálni: korai ( $z = 1 - 6$  vöröseltolódású) galaxisokat; csillagkeletkezési területeket, fiatal csillagokat és csillagkörüli anyagot a Tejútrendszerben; hideg, a Naptól távoli égitesteket a Naprendszerben.

A Herschel-űrtávcső programjának egyik legfontosabb célja és legnagyobb sikere az extragalaktikus háttér forrásaira való felbontása volt. A Herschel-űrtávcső teljes mérési idejének 15%-át fordították olyan mély felmérésekre, amelyek célja az volt, hogy minél halványabb és minél nagyobb vöröseltolódású galaxisokat találjanak adott hullámhosszakon egy bizonyos égterületen. Ezekkel a felmérésekkel a legalább  $z = 2$  vöröseltolódású távoli galaxisokat sikerült megfigyelni, és ezek alapján a kozmikus infravörös háttérhez a legnagyobb járulékot adó vöröseltolódásokon a háttér kb. háromnegyedében sikerült forrásaira bontani. Ezekben a galaxisokban a csillagkeletkezés nagy része a fősorozat környékén található csillagokhoz kapcsolódik. A korábbi várakozásokkal ellentétben az aktív galaxismagokat tartalmazó galaxisok  $z = 2$ -ig a Tejútrendszer közelében találhatóéhoz hasonló, nagy tömegű csillagontó galaxisok, és a galaxisok összeolvadásának hatása a kozmikus infravörös háttérre sokkal kisebb a vártnál. Az a ténylegesen diffúz extragalaktikus háttérkomponens, amelyet a COBE-űrszonda DIRBE műszerének korábbi mérései mutattak, nem látszik a Herschel méréseiben.

A Tejútrendszer csillagközi anyagának és csillagkeletkezési területeinek megfigyelésével végre sikerült elérni azt a térbeli skálát, amelynél a korábbi, nagyobb skálákon jellemző fraktálszerkezet megtörik, és az anyag szerkezetének meghatározói a keskeny, szabálytalan alakú „rostok”, ún. filamentumok lesznek – lényegében ezekben a filamentumokban zajlik a csillagkeletkezés, ezekben jelennek meg a felhőmagok, a csillagkeletkezés első lépcsői, a gravitációs összehúzódás hatására. Ezt a szerkezetet mind a nagyobb sűrűségű, molekuláris csillagközi anyagban, mind a kisebb sűrűségű, galaktikus cirrusfelhőkben sikerült megfigyelni.

A csillagok körüli korongok rendkívül fontos szerepet játszanak a csillag- és bolygókeletkezésben. Korai életszakaszukban anyagot juttatnak a csillagra, növelve annak tömegét, később pedig ebben a korongban jönnek létre a bolygók a csillag körül. A bolygókeletkezés folyamatának végén a csillag körül egy olyan korong marad, amely port és bolygókezdeményeket tartalmaz, és amelyekből újabb bolygó már nem tud összeállni – a korongok életének ezt a fázisát nevezzük törmelékkorongnak. Bár újabb bolygók már nem jönnek létre, a törmelékkorong-állapot rendkívül sok információt szolgáltat a rendszer fejlődéséről és a mögötte rejlő bolygórendszeréről. Ezeket a rendszereket korábban például a Spitzer-űrtávcső méréseivel annak alapján lehetett azonosítani, hogy a csillag a közép-, illetve távoli-infravörös tartományban fényesebb volt a látható tartománybeli mérések alapján ezeken a hullámhosszakon vártnál (annak idején az IRAS is így fedezte fel az első törmelékkorongot a Vega körül). A koronggal körülvett rendszerek távolsága

és a korongok mérete (<100 CSE [csillagászati egység]) miatt ezeket a rendszereket a Spitzerrel nem lehetett felbontani, vagyis olyan felvételt készíteni, amelyen a csillag a korongtól elkülönülten látszik (a látható tartományban a korong a visszavert csillagfényben látható, ami a csillagtól még nehezebben különíthető el, mint az infravörös tartományban, ahol a korong hőszugárzását észleljük). A Herschel jobb térbeli felbontása lehetővé tette, hogy számos ilyen törmelék-koronggal övezett rendszert felbontsunk, azaz a korong alapvető tulajdonságait (például: méretét, irányultságát, szerkezetét) ne csak az infravörös többletsugárzásból, hanem közvetlenebb módon tudjuk meghatározni.

A távoli infravörösben óriási előrelépést jelentett részben a PACS-kamerarendszer színeképelemző berendezése, és elsősorban a HIFI-spektrométer, amely eddig nem látott spektrális felbontásával lehetővé tette a vízmolekula vonalainak és egyéb szerves molekulák (például: szén-monoxid, hidroxilgyök) részletes vizsgálatát, amelyek gyakoriak a csillagközi anyagban, óriáscsillagok fotoszférájában és a naprendszerbeli üstökösökben és a bolygók légkörében. Ezek a műszerek hozzájárultak egy új kutatási irány, a távoli infravörös spektroszkópia megszületéséhez, amelyhez a 2010-es évek előtt nem volt meg a technikai háttér. Az egyik legjelentősebb ilyen eredmény az VY Canis Majorishoz kapcsolódott. Ez az egyik legnagyobb ismert csillag a galaxisban, tömege 30–40-szer, átmérője kb. 2000-szer akkora, mint a Napé. A csillag nagy sebességgel veszít anyagot, és jelentős méretű burok veszi körül. Ebben több szerves molekulát sikerült kimutatni ( $H_2O$ ,  $SiO$ ,  $OH$ ), amelyek a csillag szupernóvaként történő majdani felrobbanása után a csillagközi anyagba kerülnek, és beépülhetnek egy következő bolygórendszer égitestjeibe. A HIFI távoli infravörös spektroszkópiai méréseivel a kis méretű 103P/Hartley 2 periodikus üstökösön sikerült kimutatni, hogy a deutérium/hidrogén arány ugyanaz az üstökösben, mint a Föld óceánjaiban, azaz az ilyen üstökösök lehetnek felelősek a földi víz jelentős részéért. Ugyancsak a Herschel műszereivel sikerült kimutatni, hogy a Shoemaker–Levy 9 üstökös 1994-es becsapódása során a Jupiter légkörébe került víz még mindig kimutatható az óriásbolygón.

A Herschel egyik legnagyobb kulcsprogramja a „TNOs are Cool!” program volt, amely mintegy 140 távoli, a Kuiper-övben keringő kis égitestről, kisbolygókról és törpebolygókról készített méréseket, és az egyetlen, amely szisztematikusan, nagyobb mintán naprendszerbeli objektumokat vizsgált. (TNO a Neptunuszon túli, vagyis „transzneptun” objektumok rövid jelölése.) E távoli égitestek alacsony, 30–60 K felszíni hőmérsékletük miatt ideálisak voltak a PACS- és a SPIRE-detektorok számára. Ezen távoli kis égitestek esetében a pályájukon kívül nagyon kevés fizikai jellemzőt ismerünk, még az égitestek méretét és a felszínük fényvisszaverő képességét (albedóját) sem tudjuk pusztán látható tartománybeli mérésekből meghatározni, ahhoz szükségünk van a hőmérsékleti sugárzásuk mérésére is az infravörösben. A mérésekből több, nagy méretű hold létezését is

sikerült előre jelezni törpebolygók (Eris, Makemake) körül, illetve bizonyítékot találni arra, hogy a Naptól ilyen nagy távolságra is valószínűleg laza regolit borítja a kisebb égitestek felszínét, szemben például az óriásbolygók holdjainak felszínén megfigyelhető tömör jegekkel. Az egyedi égitestek jellemzésén kívül ezekből a mérésekből születtek meg az első, valódi, nemcsak becsléseken alapuló méreteloszlások a Neptunuszon túli vidék égitesteire. A méreteloszlás a törmelekkorongok egyik legfontosabb jellemzője, mert arra következtethetünk belőle, hogy az égitestek közötti ütközések hogyan befolyásolták a korong fejlődését – bár ez minden esetben fontos lenne, a Naprendszer az egyetlen bolygórendszer, ahol ez jelenleg közvetlenül megfigyelhető. A „TNOs are Cool!” program méréseiből az is kiderült, hogy a külső Naprendszerben alapvetően kétféle felszín létezik: vannak égitestek, amelyek szürkék és sötétek, és vannak, amelyek vörösek és viszonylag világos felszínűek. Érdekes, hogy azokban az égitestcsoportokban (populációkban), amelyek csak olyan égitesteket tartalmaznak, amelyek a Naptól legalább 40 CSE-re keletkeztek, csak vörös és világos felszínű égitestek találhatóak. Azokban a populációkban pedig, amelyek vegyesen tartalmaznak a Naphoz közelebb és távolabb keletkezett égitesteket, szürke-sötét és vörös-világos felszínűek egyaránt előfordulnak. Ebből arra következtethetünk, hogy a korai Naprendszerben létezett különbség a Naphoz ~20 CSE-nél közelebb (szürke-sötét) és távolabb (vörös-világos) kialakult felszínűek között. Annak megválaszolása, hogy milyen kémiai folyamat hozhatta létre ezt a különbséget, a Neptunuszon túli vidék kutatásának egyik legfontosabb kérdése napjainkban.

A Herschel-űrtávcső zárta le a távoli-infravörös csillagászat aranykorát. Az 1980-as évek második felétől 2013-ig, a Herschel-misszió végéig folyamatosan voltak olyan ESA- vagy NASA-missziók, amelyek ebben a hullámhossztartományban működtek. Jelenleg nincsen olyan előkészítés alatt álló infravörös-űrtávcső, amelyet az elkövetkező évtizedben bocsátának fel – emiatt is óriási a jelentősége a Herschel méréseinek, hiszen azok a közeljövőben megismételhetetlenek lesznek. Az ESA 2018 májusában választotta be a SPICA-missziót a megvalósítandó űrprojektek jelöltjei közé másik két programmal együtt. A SPICA közös japán-európai infravörös-űrtávcső lenne, és kiválasztása esetén is csak legkorábban a 2030-as évek elején lehetne újabb, a távoli-infravörös hullámhosszak megfigyelésére alkalmas eszköz a világűrben.

# ULTRAPONTOS FÉNYESSÉGMÉRÉS AZ ŪRBŐL – A KEPLER ŐRÖKSÉGE ÉS A TESS AKTUALITÁSAI

## ULTRA-PRECISE PHOTOMETRY FROM SPACE: THE LEGACY OF KEPLER AND THE ACTUALITIES OF TESS

Pál András

PhD, tudományos főmunkatárs

Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Budapest  
apal@konkoly.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

A 2000-es évektől kezdve a csillagászat számos ágának adott robbanásszerű fejlődést az űrfotometria. Számos műholdas projektnek, ezek között is kiemelten a Kepler-űrtávcsőnek köszönhetően bolygók ezreit fedezték fel, és határozták meg nagy pontossággal az alapvető paramétereiket. Noha a Kepler-űrtávcsövet 2018 októberében lekapcsolták, örökségét a Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) műholdja viszi tovább, és a következő években folytathatja ezt a forradalmi fejlődést. A cikkben bemutatunk néhány példát a TESS-műhold első eredményei közül, azt demonstrálva, hogy miért is ennyire fontos az, hogy egy égitest látszó fényességének mérését az űrből végezzük el.

### ABSTRACT

Starting from the 2000s, space-borne photometry has initiated a rapid development in many fields of astronomy. Due to the numerous space missions, most prominently the Kepler Space Telescope initiative, thousands of transiting planets have been discovered and their basic parameters have been characterized with a great accuracy. Although the Kepler Space Telescope was shut down in October 2018, its legacy is passed to the Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) mission, continuing this revolutionary advancement. In this article, we show some examples among the first results of the TESS mission, for demonstrating why it is so important to measure the apparent brightness of a celestial object from space.

**Kulcsszavak:** űrcsillagászat, fotometria, Kepler, TESS

**Keywords:** space astronomy, photometry, Kepler, TESS

A technika fejlődésével a csillagászati műszerek is látványosan fejlődnek, sőt kijelenthetjük, hogy egy-egy ország vagy egy kutatóintézet fejlettségét nagyon jól jellemzi, hogy milyen kisebb-nagyobb csillagászati projekteken vesz részt, milyen műszereket fejleszt, épít, üzemeltet, és milyen típusú adatokat vizsgál. A csillagászati mérések azonban már a modern asztrofizika kezdetei óta két nagyobb kategóriába sorolhatók. Az első kategóriát „megerősítő vagy pontosító méréseknek” is hívhatjuk: ebben az esetben már ismert égitesteket vizsgálunk a korábbiaknál hosszabb időskálán, nagyobb képfelbontással vagy érzékenyebb fényességméréssel. A második kategóriába tehetjük a „felfedező” jellegű méréseket, melyek során akár új vagy új típusú, eddig ismeretlen égitesteket azonosítunk. Ez utóbbi kategóriába tartozik a katalógusok készítésétől kezdve a Földre veszélyes kisbolygók keresésén keresztül a Naprendszeren kívüli bolygók felfedezése is.

A Naprendszeren kívüli, azaz extraszoláris bolygók (röviden exobolygók) felfedezése a huszadik század utolsó évtizedében indult be, és az akkor elkezdődött lendület napjainkban is tart, hiszen e témakör az egyik legfontosabb kérdésre keresi a választ: van-e élet a Földön kívül? Azonban az, hogy ez a felfedezési hullám csak az elmúlt bő két évtizedben indult be igazán, jól példázza, hogy a fentebb említett felfedező mérések esetén is mennyire fejlett technológiákat kell alkalmaznunk, beleértve az űrtechnika, űripar adta lehetőségeket is.

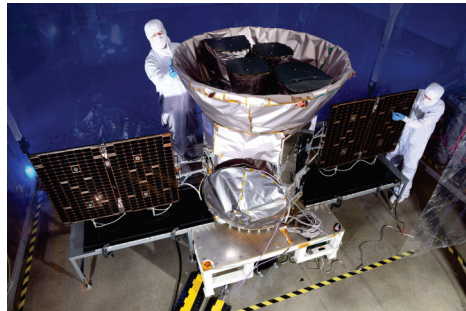
Más csillagok körül keringő bolygók keresésére számos módszer létezik, itt azonban most az úgynevezett fedési bolygókat emeljük ki. Ezek kereséséhez a nagyon pontos méréseken felül szerencse és kitartó türelem egyaránt szükséges. A fedési bolygók esetén ugyanis azt a fényességsökkenést szeretnénk kimérni, amely akkor következik be, amikor a bolygó a csillag korongja előtt áthalad. A szerencsét és a kitartó türelmet jól jellemezhetjük azzal, ha megbecsüljük, mi kellene ahhoz, hogy a Földünket ezzel a módszerrel, mintegy „kívülről nézve” felfedezzük. A fedések pontosan egyéves periódussal történének – hiszen ennyi idő alatt kerüljük körbe a Napot –, egy fedés durván fél napig tartana – mivel a Nap a háttércsillagokhoz képest a Földről nézve ennyi idő alatt teszi meg a saját átmérőjének megfelelő távolságot –, és annak az esélye, hogy pontosan a Föld keringési síkjából nézzünk rá a rendszerre, fél százaléknál kisebb. Így kell egy kis szerencse is. A Föld és a Nap méretének ismeretében megbecsülhetjük azt is, hogy fedés alatt a Nap fényessége alig egy század százalékkal csökkenne.

Ennek ellenére a fedési módszer bizonyult a legsikeresebb felfedezési eljárásnak. A kulcs itt egyszerű: noha sok sokéves folyamatos megfigyelésre, nagyon pontos fényességmérésre és jókora szerencsére is szükségünk van, de ha egyszerre több száz ezer vagy milliónyi csillagot figyelünk meg, akkor jó eséllyel elcsípünk egy-egy fedést. A sikerességet jól jellemzi, hogy a jelenleg ismert, négyezernél kicsit több bolygó majdnem 3/4-ét a fedési módszerrel fedezték fel

(URL1). Persze nem minden bolygó hasonló a Földhöz: a mintában jelentős a csillagához közeli, nagy méretű bolygók halmaza – hiszen e rendszerek megtalálását mind a türelem, mind a szerencse segíti.

De hogyan is fedeztünk fel ennyi fedési bolygót és bolygórendszert? A kulcs az űrfotometriában keresendő. Azaz építünk egy távcsövet, amely nagy területet tud egyszerre átvizsgálni, százezernyi vagy milliányi csillagot egyszerre figyel meg, és az űrben a legkevésbé zavarja a megfigyeléseket a Föld „mellékhatása” – a nappalok és éjszakák változása, a felhőzet és a légkör jelenléte vagy a levegőben szóródó holdfény. Azaz, ha hónapokon vagy éveken keresztül, lényeges megszakítás nélkül figyeljük meg az eget, akkor ezrével fedezhetünk fel bolygókat.

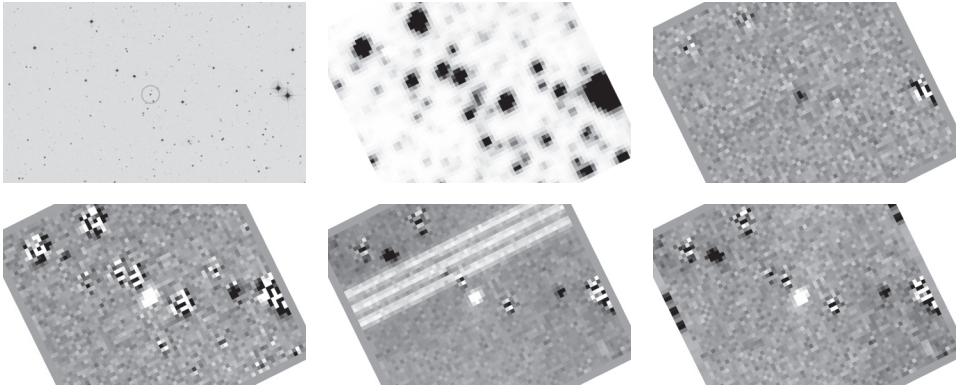
Az űrfotometriai alapú bolygókeresés az Európai Űrügynökség (ESA) Convection, Rotation and Planetary Transits (CoRoT) műholdjával kezdődött (Auvergne et al., 2009), majd a 2009 márciusa és 2018 októbere között, a NASA által üzemeltetett, 95 cm nyílású Kepler-űrtávcső (Kepler Space Telescope, röviden csak Kepler) volt az, amivel már több mint 2600 bolygót tudtunk katalogizálni (URL1; Borucki et al., 2010). A Kepler örökségét a 2018 áprilisában indított Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) műhold folytatja: a rendszeres mérések beindulásától számított bő egy évben már ezer körül jár a bolygógyanús rendszerek száma (1. ábra). A TESS a Keplernél mintegy hússzor nagyobb égeterületet fed le egyszerre. Ezt a nagy lefedettséget négy 10 cm átmérőjű lencsés kamera biztosítja, kameránként mintegy  $24 \times 24$  fokos látómezővel (Ricker et al., 2015; URL2).



**1. ábra.** Balra: a Kepler-űrtávcső felbocsátása előtt, az Astrotech titusville-i bázisán (Tim Jacobs, NASA);  
jobbra: a TESS műhold, szintén nem sokkal a felbocsátása előtt, 2018 áprilisában (NASA)

Természetesen ezen műholdak által biztosított precíz fotometriai méréseket nem csak bolygók keresésére használhatjuk. A csillagászat számos más területén is kiemelkedő felfedezések születtek űrfotometriai adatokból. E felfedezések ská-

lája egészen tág határok között mozog, kezdve a Naprendszerünkhöz kapcsolódó vizsgálatoktól egészen a kozmológiai távolságskálán zajló eseményekig. A legtöbb felfedezés azonban a mi Galaxisunk csillagaihoz kapcsolható, így az űrfontometriából leginkább a *sztelláris asztrofizika* tud profitálni.



**2. ábra.** Hosszú az út a TESS képeitől a csillagok fénygörbéjéig. A képek egy, a teliholdénál kicsit kisebb területen mutatják be az adatok feldolgozásának legfontosabb lépéseit. Balra fent: a célpont-csillag (WX Tucanae változócsillag) és környezete a Digitalizált Égboltfelmérés (Digitized Sky Survey, DSS) képe alapján. A látómezőben a célpont közvetlen közelében is számos hasonlóan fényes csillagot láthatunk. Középen fent: egy 64×64 pixeles TESS-képrészlet, az előző DSS-képpel azonos méretskálán, azonos irányítással. Látható, hogy a célpont teljesen összeolvad a környező csillagokkal. Jobbra fent: Két kép különbségét kiszámítva látványosan előhozhatjuk a változásokat. Ideális esetben csak a zajt és középen, a változócsillag helyén a változást kell látnunk. Balra lent, középen lent: A gyakorlatban számos effektus nehezíti a képfeldolgozást. E két példán rendre az űreszköz nagy látómezőjéből adódó vezetési megcsúszás, illetve a Földtől és a Holdtól eredő szórt fény hatása látszik. Jobbra lent: Megfelelő feldolgozással ezek a hatások is kiküszöbölhetőek vagy jelentősen csökkenthetőek, így juthatunk el a végleges változás kiméréséhez is. A képek jól mutatják, hogy a sűrű égi csillagmező ellenére a szomszédos csillagok járulékos hatását is teljesen megszüntethetjük.

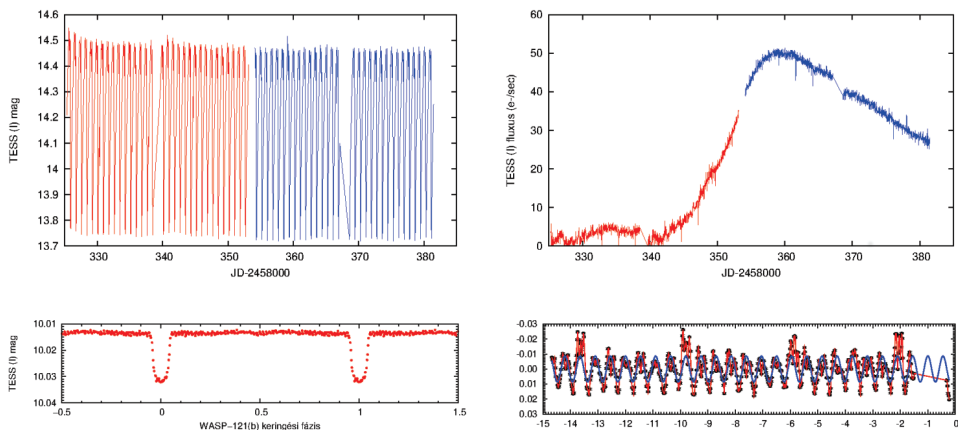
(STScI/Digitized Sky Survey (URL3), MAST/TESS Bulk Downloads archívum (URL4), valamint a szerző saját képfeldolgozásai; Pál, 2012)

Hogyan is jutunk el egy űrtávcső által készített képek sorozatából egy-egy konkrét bolygó vagy bármely más, fentebb is említett jelenség felfedezéséig? A kulcs az időbeli változásokon van: ha „átalakítjuk” a képek sorozatát egy-egy csillagra vagy egyéb célpontra lebontva úgy, hogy ezen égitestek pillanatnyi fényességét tükröző adatsort (*fénygörbéi*) kapjunk, máris megkezdhetjük a számunkra érdekes jelenségek keresését. Csökken-e a csillag fényessége egy körülötte keringő bolygó miatt néhány tized százaléknyi néhány órás időtartamra, hetes, hónapos vagy éves periódussal? Detektálunk-e csillagremegéseket vagy nagyobb skálájú



fényességváltozásokat? Van-e arra utaló jelalak, hogy nem is egy csillagot figyelünk meg, hanem két (vagy akár több) egymás körül keringő csillagot? Egyáltalán, elmozdul-e az égitest, és így nem is csillagot, hanem a mi Naprendszerünkön belüli kis égitestet figyelünk meg? Távlabbi galaxisban felrobbanó csillagot látunk-e? Ha igen, akkor mi történt közvetlenül a robbanás előtt?

Az űreszközök, űrtávcsövek által készített adatok feldolgozásának egyes lépéseit és a változások keresésének egyik alternatíváját a 2. ábra mutatja be a TESS műhold képein keresztül. Ahogyan az emberi szemnek is könnyebb észrevenni a változásokat, úgy a számítógépes eljárásokat is leginkább a különféle változások detektálásának keresésére hangolhatjuk. A fentebb említett jelenségkörök vizsgálatához szükségünk van fénygörbékre. A fénygörbét közvetlenül is kimérhetjük, vagy – ahogy a TESS esetében, ahol az egymáshoz közeli csillagok átfedésben vannak – közvetetten is megkaphatjuk az egymás után készült képek közötti különbségekhez tartozó fényváltozást kimérve.



**3. ábra.** A TESS-műhold rendkívüli fotometriai pontosságát bemutató néhány fénygörbe.

Balra fent: A WX Tucanae változócsillag fénygörbéje a TESS első két hónapnyi mérési adatai alapján. Jobbra fent: Az SN 2018fhw jelű szupernóva robbanása és a robbanást megelőző kicsiny kifényesedési fázis. Balra lent: A WASP-121(b) jelű fedési bolygó fénygörbéje. Már ezen, az ötnapnyi mérést bemutató ábrán is látszik az, hogy nemcsak a csillag fényessége csökken, amikor a bolygó átvonul előtte (0, illetve 1 fázis körül), hanem a bolygóról visszavert fény is eltűnik, amikor a bolygó a csillag mögé kerül (feles fázisoknál). Jobbra lent: A (47) Aglaja nevű kisbolygó fényességének változása a TESS kétheti mérése alapján. A változások pár százalékosak. Ez a kisbolygó így közel gömb alakú, azonban forgása gyaníthatóan bukdácsoló jellegű. A TESS pontos fotometriája nélkül csak a folytonos görbéhez hasonlatos hullámzást lehetett eddig kimutatni a földfelszíni mérések alapján.

(A MAST/TESS Bulk Downloads archívumban [URL4] található képek alapján a szerző saját adatfeldolgozásának eredményei; Pál, 2012)

A 3. ábrán néhány fénygörbét mutatunk a TESS eddigi mérési kampányaiból válogatva. Ezek az adatsorok és görbék jól illusztrálják az elsőre kicsinek tűnő, 10 centiméteres lencsére szerelt detektorral elérhető nagy precizitást. Másképpen fogalmazva: a pontosság kulcsa nem is a lencsék átmérőjében keresendő, hanem abban a stabil környezetben, amelyet az űrbeli viszonyok lehetővé tesznek. Az űrfotometriát a jövőben is folytatják három nagyobb ESA-műhellyel (CHEOPS, PLATO, ARIEL), valamint a NASA James Webb-űrtávcsövével. Ezeknél a projekteknel azonban a hangsúly kissé kezd eltolódni a *felfedező* jellegtől a *megerősítő* vagy *pontosító* mérések felé is.

#### IRODALOM

- Auvergne, M. et al. (2009): The CoRoT Satellite in Flight: Description and Performance. *Astronomy & Astrophysics*, 506, 411–424. DOI: 10.1051/0004-6361/200810860, <https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2009/40/aa10860-08.pdf>
- Borucki, W. J. et al. (2010): Kepler Planet-Detection Mission: Introduction and First Results. *Science*, 327, 977–980. DOI: 10.1126/science.1185402, [https://www.researchgate.net/publication/40894829\\_Kepler\\_Planet-Detection\\_Mission\\_Introduction\\_and\\_First\\_Results](https://www.researchgate.net/publication/40894829_Kepler_Planet-Detection_Mission_Introduction_and_First_Results)
- Pál A. (2012): FITSH – A Software Package for Image Processing. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 421, 1825, <https://academic.oup.com/mnras/article/421/3/1825/1074470>
- Ricker, G. R. et al. (2015): Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS). *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments and Systems*, 1, id. 014003, DOI: 10.1117/1.JATIS.1.1.014003, <https://arxiv.org/abs/1406.0151>

URL1: <http://exoplanet.eu/catalog/>

URL2: <https://tess.mit.edu/>

URL3: [http://archive.stsci.edu/cgi-bin/dss\\_form](http://archive.stsci.edu/cgi-bin/dss_form)

URL4: [http://archive.stsci.edu/tess/bulk\\_downloads/bulk\\_downloads\\_ffi-tp-lc-dv.html](http://archive.stsci.edu/tess/bulk_downloads/bulk_downloads_ffi-tp-lc-dv.html)

# RÁDIÓTÁVCSŐ-HÁLÓZATOK KÖZÖS ÉGBOLT ALATT

## RADIO TELESCOPE NETWORKS UNDER ONE SKY

Gabányi Krisztina Éva

PhD, MTA–ELTE Extragalaktikus Asztrofizikai Kutatócsoport, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont  
Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Budapest  
krisztina.g@gmail.com

### ÖSSZEFOGLALÁS

Jelenleg rádiótartományban végzett mérésekkel érhető el a lehető legfinomabb szögfelbontás a csillagászatban, mivel ebben a hullámhossztartományban lehetőség van a fizikailag nagy távolságra lévő antennák hálózatba kötésével az interferometria megvalósítására. Az alábbiakban bemutatom a rádióinterferometria működési elvét és a legismertebb hálózatokat, amelyek elsősorban többsége tudományos pályázatok útján nyitott az egész csillagász (illetve akár a bővebb tudományos) közösség előtt. A rádióantenna-rendszerek különböző tulajdonságait egy példán keresztül, a nagy kozmológiai távolságban megfigyelhető rádiósugárzó aktív galaxismagok segítségével illusztrálom.

### ABSTRACT

Currently, radio astronomy provides the highest angular resolution in astronomy using a technique called interferometry, when antennas located at large distances observe the same celestial source and work together as an array. In the following, I present the basic concept of radio interferometry, and introduce the most commonly used interferometer networks. Almost all of those are open to the entire scientific community; submitted observing proposals are judged only by their scientific merit. I illustrate the different characteristics of the radio interferometer networks through the example of studying distant radio-emitting active galactic nuclei.

**Kulcsszavak:** rádiócsillagászat, rádióinterferométeres hálózatok, rádiósugárzó aktív galaxismagok

**Keywords:** radio astronomy, radio interferometry networks, radio-emitting active galactic nuclei

A rádiócsillagászatban az elektromágneses tartomány hosszú hullámhosszú (deciméteres, centiméteres, milliméteres, szubmilliméteres) sugárzását figyeljük meg. Mivel a felbontóképesség a hullámhossztól és a műszerünk átmérőjétől függ, könnyen látható, hogy a csillagászat egyéb ágaihoz képest a rádiócsillagá-

szat komoly hátránnyal indul. Például ahhoz, hogy centiméteres hullámhosszakon ugyanolyan szögfelbontást érzünk el, amilyenre a szemünk az optikai tartományban képes, mintegy száz méter átmérőjű rádióantennára van szükségünk. Mégis, jelenleg a rádiócsillagászat képes a legfinomabb szögfelbontást elérni; ugyanis könnyedén kihasználhatjuk az elektromágneses sugárzás hullámtermészetét, és rádióantennákat hálózatba kapcsolva, interferométerrel végezhetünk méréseket. A rádióinterferométer felbontását a műszer átmérője helyett a leghosszabb bázisvonal, az antennák közötti legnagyobb távolság határozza meg. Míg egyetlen mozgatható műszer felbontóképességét korlátozza a maximálisan elérhető, nagyjából százméteres átmérő (ennél nagyobb szerkezet ugyanis összeomlana a saját súlya alatt), az interferométeres hálózatban részt vevő antennákat egymástól nagy távolságban akár különböző kontinensekre is lehet telepíteni, illetve műholdakon elhelyezett antennák bevonásával a felbontásnak még a Föld mérete sem szabhat határt.

Számos rádióinterferométer-hálózat működik a Földön. Az egyik legismertebb az amerikai Új-Mexikó államban található Karl G. Jansky Very Large Array (VLA). A VLA 27 antennája egy Y-t formáló alakban helyezkedik el. Az egyes karok mentén az antennákat síneken mozgatva négy különböző konfiguráció valósítható meg. Az elérhető leghosszabb bázisvonal 36 km. A VLA jellemzően cm-es hullámhosszakon végez megfigyeléseket, 6 cm-en például az általa biztosított legfinomabb szögfelbontás 0,33 ívmásodperc. Az angliai enhanced Multi Element Remotely Linked Interferometer Network (e-MERLIN) hét antennája jóval messzebb helyezkedik el egymástól, a leghosszabb bázisvonal 217 km, így 6 cm-es hullámhosszon 50 ezredívmásodperces szögfelbontást biztosít. Ez körülbelül akkora, mint az optikai tartományban földfelszínen működő egyedi teleszkóppal elérhető legfinomabb szögfelbontás, illetve a Föld körüli pályán keringő Hubble-űrtávcső felbontóképessége.

Még távolabbra helyezett antennák hálózatba kötésével valósítható meg a nagyon hosszú bázisvonalú interferometria (very long baseline interferometry, VLBI) néven ismert technika. Ekkor az akár külön kontinenseken lévő antennák figyelik ugyanazt az égi forrást, a rádiójeleket adathordozókra rögzítik, majd később egy számítóközpontban (a korrelátorban) állítják elő az interferenciát. Az adatátviteli technika fejlődése lehetővé tette, hogy manapság a hálózat elemeit nagy sebességű adattovábbítást lehetővé tevő, nagy sáv szélességű optikai kábelakkal kössék össze, ily módon az adatok egyből a korrelátorba érkehetnek (nem kell repülővel, hajóval stb. szállítani az adathordozókat), és – némely hálózat esetében – akár valós idejű korrelálásra is lehetőség nyílik. VLBI-technikát valósít meg például az amerikai Very Long Baseline Array (VLBA) és az Európai VLBI Hálózat (EVN) is, az utóbbinál lehetőség van valós idejű korrelálásra is.

A VLBA tíz egyforma rádióantennából áll, amelyek az Amerikai Egyesült Államok területén helyezkednek el. A leghosszabb bázisvonalat, 8000 km-t, a

karibi Virgin-szigeteki Saint Croix- és a hawaii Mauna Kea-antennák között találjuk. Így 6 cm-es hullámhosszon 1,6 ezredívmásodperces felbontást érhetünk el, kelet–nyugati irányban. A VLBA dedikált VLBI- hálózat, ami azt jelenti, hogy kizárólag hálózatként működik, az egyes rádiótávcsövek nem különálló műszerek, nem végeznek egyedi méréseket. Az EVN esetében nem ez a helyzet. Az ebben a hálózatban részt vevő antennák különböző országok intézeteihez tartoznak. Az intézetek vezetői által irányított konzorcium állapodik meg arról, hogy az év adott időszakában az antennák mint a hálózat részei fognak működni, és nem mint egyedi műszerek. Az EVN három, egyenként 21 napos időszakban hagyományos megfigyeléseket folytat, míg havonta-kéthavonta néhány napos, valós idejű korrelálást biztosító megfigyelésre is lehetőség van.

Nevével ellentétben az EVN-hez nemcsak európai, hanem ázsiai és afrikai antennák is tartoznak (1. ábra). Így 6 cm-es hullámhosszon a VLBA-hoz hasonló másfél ezredívmásodperces szögfelbontást kelet–nyugati (kínai és európai antennák között) és észak–déli (európai és dél-afrikai antennák között) irányban is biztosít. Emellett az EVN érzékenysége jobb, mint az amerikai hálózaté. Ez a megfigyelésekben részt vevő nagy átmérőjű – például a 100 m-es effelsbergi, a 65 m-es sanghaji és 64 m-es szardíniai – antennáknak köszönhető. (Összehasonlításképpen, a VLBA antennái 25 m átmérőjűek.) A két hálózat együtt is használható mint egyetlen globális interferométer. Emellett az EVN-hez csatlakoztatva lehetőség van ausztrál, dél-koreai és egyedi amerikai antennákkal is kiegészíteni az elérhető bázisvonalak hálózatát.



1. ábra. Az Európai VLBI-hálózatban részt vevő antennák (kép: Paul Boven [boven@jive.eu], műholdkép: Blue Marble Next Generation, NASA Visible Earth [visibleearth.nasa.gov])

Az űr-VLBI-technikával – ennél a hálózat egyik eleme Föld körüli pályán van – a felbontás tovább növelhető. Az első űr-VLBI-célú műhold, a japán HALCA 1997–2003 között végzett megfigyeléseket, többek között a VLBA és az EVN antennáival egy hálózatot alkotva. 2011 óta űr-VLBI-hálózatot az orosz RadioAstron műhoddal valósítottak meg, amely küldetését 2019-ben fejezte be. Elyűlt ellipszis alakú pályájának földtávolpontja 350 ezer kilométer volt. Így 6 cm-es hullámhosszon a földi hálózatokkal együttműködve akár 40 milliomod ívmásodperces szögfelbontással is tudott megfigyeléseket végezni.

Viszonylag új, de talán a nagyközönség számára is a legismertebb VLBI-hálózat az Event Horizon Telescope (EHT), amelynek segítségével 2017 áprilisában először sikerült megfigyelni egy szupernagy tömegű fekete lyuk körüli árnyék jelenségét. Az adatok feldolgozása és a „képalkotás” több hónapot vett igénybe, végül a fekete lyukról készült képet 2019-ben publikálta a nemzetközi kutatócsoport (lásd még Dálya Gergely tanulmányát e lapszám 902. oldalán). A tudománytörténeti jelentőségű mérést az EHT nyolc elemből álló hálózata végezte (ezek közül a Déli-sarkvidéken található antenna csak a kalibrátorforrás megfigyelésében vett részt). Az EHT egyik részt vevő eleme volt az Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) interferométer, amelynek több mint ötven antennája egységesen vett részt a megfigyelésben, így biztosítva a szükséges érzékenységet. Az EHT leghosszabb bázisvonala több mint 10 ezer km volt; a mérést 1,3 mm-es hullámhosszon végezték, így az elérhető maximális felbontás 25 milliomod ívmásodperc volt.

A fent felsorolt interferométeres hálózatok – az ALMA kivételével – nyílt rendszerek, azaz bárki adhat be rájuk távcsőidő-kérelmet, amelyeket kizárólag tudományos értékük alapján bírálhatnak el. (Az ALMA-nál a rendelkezésre álló távcsőidő 90%-a a műszer építésében pénzügyileg részt vevő partnereket illeti, míg 10% marad a helyi, chilei csillagászoknak.) Egyébként a VLBI-hálózatok – ideértve az űr-VLBI-t megvalósító hálózatokat is – mindegyike hagyományosan ezt, a teljes mértékben szabadon pályázható felfogást valósítja meg. Néhány esetben kisebb megkötések vannak, például az Ausztráliában működő hálózatnál (Long Baseline Array) elvárás, hogy a pályázat egyik résztvevője segítsen a helyszínen egy mérés lebonyolításában. A kínai, dél-koreai és japán antennákat összefogó kelet-ázsiai VLBI-hálózatnál pedig erősen ajánlott egy, a műszer működését jól ismerő, helyi csillagász bevonása a projektbe.

Amikor rádióinterferométerrel végzünk mérést, akkor az égi forrásunk fényességeloszlásának Fourier-transzformáltját, az úgynevezett vizibilitást mérjük (Thompson et al., 2017). A térképezési folyamat lényege, hogy a mért adatokból visszanyerjük a megfigyelt objektum rádióintenzitás-képét (vagy térképét). Elméletileg az eredeti függvény és Fourier-transzformáltja között kölcsönösen egyértelmű megfeleltetés van, az egyik ismeretében meghatározhatjuk a másikat. Azonban a gyakorlatban létrehozható, valós rádióinterferométer-hálózatunkkal csak bizonyos pontokban tudjuk megmérni a vizibilitásfüggvény értékét (Frey–Mosoni, 2009). Hiába

áll például az EVN huszonkét antennából, könnyen belátható, hogy nem képes az összes lehetséges irányban és lehetséges bázisvonalhosszal információt adni a mérendő objektumról. Hogy minél pontosabban tudjuk visszaállítani a forrásunk fényességeloszlását, alapvető fontosságú, hogy minél jobb mintavételezést érjünk el a megfigyelés során, azaz minél több pontban mérjük meg a vizibilitást. Ezt egyrészt elősegíthetjük azzal, hogy minél több antennát kötünk be az interferométer-hálózatba, hiszen a lehetséges bázisvonalak száma  $N \times (N - 1)/2$ , ahol  $N$  a részt vevő antennák száma. Másrészt segítségül hívhatjuk a Föld forgását is. Ahogy a Föld elfordul a megfigyelt távoli égi forrásunk „alatt”, más-más irányból és más-más vetített bázisvonalhosszon tudjuk mintavételezni fényességét. Ez az úgynevezett földforgásszintézis (Earth Rotation Synthesis) technika, amelynek kidolgozásáért Sir Martin Ryle 1974-ben fizikai Nobel-díjat kapott.

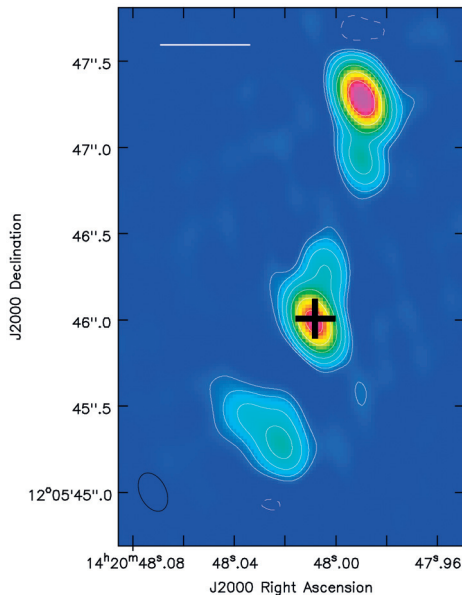
A fentiekből az is nyilvánvaló, miért van szükség sok különböző interferométer-hálózatra. Teljesen más „oldaláról” ismerhetjük meg ugyanazt az égi objektumot, ha viszonylag rövidebb bázisvonalakat lehetővé tevő, a nagyobb térbeli szerkezetekre érzékeny műszeregyüttesel vizsgáljuk, amilyen például a VLA, mintha a legfinomabb szögfelbontást megvalósító VLBI-technikát hívjuk segítségül. Ezt a rádiósugárzó aktív galaxismagok példáján keresztül mutatom be.

Az aktív galaxismagok (angol rövidítéssel AGN) központi energiaforrása egy millió–milliárd naptömegű fekete lyuk, amely környezetéből anyagot fog be. A behulló anyag az ún. anyagbefogási korongba rendeződik. Nagyjából minden tizedik AGN-ben a korongra merőlegesen, két átellenes irányban nagyenergiás plazmanylábok, ún. jetek lövellnek ki. Ezekben a rádiósugárzó AGN-ekben a jetekben lévő mágneses tér erővonalai körül a plazma elektromosan töltött részecskék (elektronok, pozitronok stb.) fénysebességhez közeli sebességgel spirális pályán mozognak, és közben az alapvetően rádiótartományban megfigyelhető szinkrotronsugárzást bocsátanak ki.

Relativisztikus vetítési effektusok miatt a különböző látóirányokban megfigyelt rádiósugárzó AGN-ek változatos képet mutathatnak. A rádiógalaxisok esetén a jetek az éggömb érintősíkjához közel helyezkednek el, gyakran figyelhetünk meg nagy kiterjedésű rádiósugárzó nyalábokat, lebenyeket, illetve forró foltokat, ahol a jet a környező galaxisközi vagy csillagközi anyaggal találkozva lelassul, és leadja energiáját. Ezzel szemben az ún. blazárok esetében közel a jet irányából látunk az AGN-re, ezért a felénk haladó jetet fényesebbnek, a tőlünk távolodót halványabbnak látjuk a forrás saját rendszerében érvényes szimmetriához képest. Ezért a gyakorlatban a blazároknál csak a hozzánk közeledő jetet tudjuk megfigyelni. A VLBI-technika ideális a blazárok kompakt, fényes kilövelléseinek azonosítására és tanulmányozására, valamint, ha azok megfelelően kompaktnak, a kisebb rádiógalaxisok forró foltjait is ki tudja mutatni.

A blazár jelleg kimutathatósága különösen fontos a korai Univerzum vizsgálatakor. Abból, hogy mennyi blazárt ismerünk adott távolságban (adott vöröseltolódás-

nál), megbecsülhetjük, hogy hány, a látóiránnyal nagyobb szöget bezáró kilövelésű rádiósugárzó AGN található annál a vöröseltolódásnál. Ezt összehasonlítva a közeli Univerzumban megfigyelhető rádiósugárzó AGN-ekkel, azok kozmológiai fejlődésére utaló jelenségeket vizsgálhatunk. Korábbi mérések felvetették, hogy amikor az Univerzum másfél milliárd évesnél fiatalabb volt (a Világegyetem kora a jelenleg elfogadott kozmológiai modellek szerint közel 13,7 milliárd év), arányai-ban jóval több fényes blazárt lehetett megfigyelni (Volonteri et al., 2011). Nemzetközi kutatócsoportunk VLBI-méréseket kezdeményezett, hogy számos nagy vöröseltolódású blazárjelölt forrást vizsgáljon. Három objektumról EVN-mérések alapján meg tudtuk mutatni, hogy nem blazár (Cao et al., 2017; Coppejans et al., 2016). Majd az e-MERLIN-hálózattal azt is felfedtük, hogy ezek viszonylag kicsi, rendre kb. 130, 50 és 20 fényév méretű „bébi rádiógalaxisok” (2. ábra), amelyek különösen fényes forró foltokat tartalmaznak (Gabányi et al., 2019). Eredményünk felveti annak lehetőségét, hogy a más megfigyelési módszerekkel azonosított blazárjelölt források között „imposztorok” is találhatóak, és rávilágít, hogy a források természetének pontos értelmezéséhez a rádióinterferometria alapvető fontosságú. A jövőben rádióméréseinket felhasználva választ keresünk arra a kérdésre, hogyan téveszthették meg ezek az objektumok a kutatókat, mi lehet az eredete a más hullámhosszakon – jellemzően a röntgentartományban – megfigyelt sugárzásnak, amely alapján blazárjelölt forrásként azonosították őket.



**2. ábra.** Egy nagy vöröseltolódású rádiógalaxis rádióintenzitás-képe 18 cm-es hullámhosszon az e-MERLIN-nel végzett mérésekből. A galaxis középpontját + jelöli. A felső fehér vízszintes vonal kb. 10 fényév méretnek felel meg az égboltra vetítve (Gabányi et al., 2019 alapján)



A közeljövő legnagyobb rádiócsillagászati fejlesztése a Square Kilometer Array (SKA). Ez az interferométer-hálózat rengeteg kisebb antennából fog állni, amelyek összesített gyűjtőfelülete megközelíti az egy négyzetkilométert. Prototípus modellek már működnek a két kijelölt helyszínen, Nyugat-Ausztráliában és Dél-Afrikában. Az SKA forradalmasítani fogja a rádiósugárzó objektumokról alkotott képünket, hiszen kimagasló érzékenységgel meg fogja sokszorozni az ismert források számát. Az SKA nem lesz nyílt rendszer, a projektben pénzügyileg is részt vevő országok használhatják majd. Szándék van arra, hogy az SKA-t létező, VLBI-t megvalósító hálózatokhoz (például az EVN-hez) kötve is lehessen használni. Kutatócsoportunk nemzetközi kapcsolatai, együttműködő partnerei révén remélhetőleg bekapcsolódhat majd az SKA-val végzendő megfigyelésekbe is.

Munkámat az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíja és az Új Nemzeti Kiválóság Program keretében (ÚNKP-P-19-4-ELTE-197) az Emberi Erőforrások Minisztériuma támogatta.

#### IRODALOM

- Cao, H.-M. – Frey S. – Gabányi K. É. et al. (2017): VLBI Observations of Four Radio Quasars at  $z > 4$ : Blazars or Not? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 467, 950–960. DOI: 10.1093/mnras/stx160, arxiv.org/pdf/1701.04760.pdf
- Coppejans, R. – Frey S. – Cseh D. et al. (2016): On the Nature of Bright Compact Radio Sources at  $z > 4.5$ . *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 463, 3260–3275. DOI: 10.1093/mnras/stw2236, arxiv.org/pdf/1609.00575.pdf
- Frey S. – Mosoni L. (2009): A Short Introduction to Radio Interferometric Image Reconstruction. *New Astronomy Reviews*, 53, 307–311. DOI: 10.1016/j.newar.2010.07.005
- Gabányi K. É. – Frey S. – Paragi Z. et al. (2019): Three Little Radio Galaxies in the Early Universe. *Proceedings of Science*, EVN2018 Paper: 031. pos.sissa.it/344/031/pdf
- Thompson, A. R. – Moran, J. M. – Swenson, G. W. Jr. (eds.) (2017): *Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy*. Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-44431-4, link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-44431-4
- Volonteri, M. – Haardt, F. – Ghisellini, G. et al. (2011): Blazars in the Early Universe. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 416, 216–224. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2011.19024.x, <https://academic.oup.com/mnras/article/416/1/216/1208840>

# A FEKETE LYUKAK MEGFIGYELÉSÉNEK ÚJ MÓDSZEREI

## NEW METHODS OF BLACK HOLE OBSERVATIONS

Dálya Gergely

PhD-hallgató, MTA–ELTE Extragalaktikus Asztrfizikai Kutatócsoport, Budapest, Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Természettudományi Kar Atomfizikai Tanszék, Budapest  
dalyag@caesar.elte.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

A fekete lyukak már a 18. század óta foglalkoztatják a fizikusokat, és manapság a szélesebb közönség is egyre inkább érdeklődik ezen extrém objektumok iránt. Einstein általános relativitáselméletének megjelenését követően sokáig csak matematikai érdekességként gondoltak rájuk, az utóbbi néhány évtizedben azonban létező objektumokként sok mindent sikerült megtudni róluk. A fekete lyukak kutatásában különösen az elmúlt néhány év hozott jelentős áttéréseket, így ebben a cikkben a két legújabb módszert tekintem át: a fekete lyukak gravitációs hullámainak detektálását, valamint a rádiótávcső-hálózatok által végzett képalkotást.

### ABSTRACT

Physicists have been fantasized about black holes from the 18<sup>th</sup> century on, and nowadays these extreme objects come into the focus of attention of the wider audience more and more often. After predicting their existence by Einstein's theory of general relativity, physicists believed that black holes are only mathematical peculiarities of the theory, but in the last decades, we have gathered a large amount of information about these existing objects. The last few years brought several breakthroughs in the research of black holes, so in this article, I am going to outline the two most recent methods of studying them: detecting gravitational waves from coalescing binary black holes, and imaging by radio telescope networks.

**Kulcsszavak:** fekete lyuk, gravitációs hullám, LIGO, Event Horizon Telescope

**Keywords:** black hole, gravitational wave, LIGO, Event Horizon Telescope

Már a 18. század fizikusai is elgondolkodtak azon, hogy vajon létezhetnek-e olyan égitestek, amelyek gravitációs tere annyira erős, hogy még a fény sem tud abból elszökni. A lényegi gondolat e mögött az volt, hogy a fényt kis részecskék sokaságaként kezelték, és tulajdonképpen ennek a szökési sebességét számították ki.

Az elméletben Albert Einstein általános relativitáselméletének színre lépésével történt jelentős előrelépés. Karl Schwarzschild német fizikus a relativitáselmélet ún. vákuummegoldásait kereste, vagyis hogy anyag jelenlétének hiányában milyen módon görbülhet a téridő. 1916-ban talált is egy olyan megoldást, amelyre ma azt mondjuk, hogy fekete lyukat ír le: ez egy nem forgó, töltés nélküli fekete lyuk, amely az elmélet szerint bármiféle anyag jelenléte nélkül is stabilan megmaradhat. A Schwarzschild által talált megoldást évtizedekig pusztán matematikai érdekességnek tartották: attól, hogy egy elmélet megenged valamit, még nem biztos, hogy az a természetben meg is fog jelenni. Végső soron mindig a kísérlet dönt arról, hogy az elmélet jóslata helyes, vagy sem.

Az 1930-as években jelentős előrelépések történtek a kompakt csillagok kutatásában. Szubrahmanjan Csandrasekhar (Subrahmanyan Chandrasekhar) kiszámította, hogy a fehér törpéknek van egy maximális tömegük, amely fölött összeomlanak, és egy (a korszakban hipotetikus) új égitest, neutroncsillag lesz belőlük. Robert Oppenheimer és társai pedig rájöttek arra, hogy a neutroncsillagok tömegének is van felső határa, amely fölött semmilyen fizikai erőhatás nem képes megállítani a csillag összeomlását, így pedig a valóságban is kialakulhat az eddig pusztán az elméletek szintjén létező fekete lyuk. Jocelyn Bell Burnell 1967-ben fedezte fel az első pulzárt, amiről gyorsan bebizonyosodott, hogy egy gyorsan forgó neutroncsillag. Ez újabb lökést adott a fekete lyukak kutatásának: ha neutroncsillagok tényleg léteznek, akkor talán a fekete lyukak is.

A fekete lyukak megfigyelése azért nagyon nehéz, mert nem bocsátanak ki számottevő elektromágneses sugárzást. Így jellemzően a környezetükre gyakorolt hatásból következtethetünk a jelenlétükre. Az első közvetett fekete lyuk-megfigyelésre 1972-ig kellett várni, amikor Charles Thomas Bolton, Louise Webster és Paul Murdin egy rakétára szerelt röntgenteleszkóp segítségével felfedezte a Cygnus X-1-nek nevezett erős röntgenforrást. A rendszerben egy fekete lyuk körül kering egy kék szuperóriás csillag, amelyről csillagszél formájában folyamatosan anyag távozik. Ez az anyag a fekete lyuk körül egy akkréciós (tömegbefogási) korongba gyűlik, amelyben több millió fokra felhevülve a röntgentartományban fényesen sugároz. Az ilyen rendszereket röntgenkettősöknek nevezzük. Ma már számos röntgenkettőst ismerünk; ezek némelyikében neutroncsillag, másokban pedig fekete lyuk a kompakt objektum. Ezek azonban mind speciális rendszerek, ilyen módon magányos fekete lyukakat nem tudunk megfigyelni.

A galaxisok közepén másmilyen fekete lyukakat találunk, mint a röntgenkettősökben. Az utóbbiak úgynevezett sztelláris fekete lyukak, vagyis nagy tömegű csillagok életútjának végén keletkeznek, az előbbiek pedig szupernagy tömegű fekete lyukak, vagyis akár több millió–milliárd naptömegűre is hízhatnak. Az ilyen szupernagy tömegű fekete lyukakat a közeli csillagokra kifejtett hatásuk alapján azonosíthatjuk. 1995-től kezdve a csillagászok kilencven csillag sajátmoz-

gását követték nyomon a Tejútrendszer közepén lévő Sagittarius A\* nevű igen erős rádióforrás körül. Az azóta eltelt idő alatt a csillagok némelyike egy teljes keringést hajtott végre elliptikus pályáján, így a pályák paraméterei nagyon pontosan meghatározhatóvá váltak, amiből következtetni lehetett annak az objektumnak a tömegére, amely körül keringenek. A számításokból tudjuk, hogy a Tejútrendszer közepén egy 4,3 millió naptömegű égitest helyezkedik el, amit nehéz bármi másként, mint fekete lyukként értelmezni.

Valószínűleg a legtöbb galaxis közepén egy, a Tejútrendszer fekete lyukához hasonló objektum helyezkedik el. Néhány galaxis központi régiójából pedig sokkal intenzívebb sugárzást észlelünk, ezeket aktív galaxisoknak nevezzük. Az aktív galaxisok központi fekete lyuka körül (a röntgenkettősökhöz hasonlóan) egy akkréciós korongot találunk, amely fényesen sugároz az elektromágneses szinképszéles tartományában. Bizonyos esetekben ez a fekete lyuk az akkréciós korongra merőlegesen két anyagkilövellést (jetet) is kibocsát, amelyek leginkább a rádiótartományban észlelhetőek (lásd Gabányi Krisztina Éva tanulmányát e lapszám 895. oldalán).

A fekete lyukak észlelésének legelterjedtebb módszerei tehát ezek voltak egészen néhány évvel ezelőttig. Napjainkban két jelentős áttörés is született e területen: a gravitációs hullámok megfigyelésével információkat szerezhettünk az egymás körül keringő fekete lyukakról, míg az Event Horizon Telescope (EHT) nagyon hosszú bázisvonalú interferometria (very long baseline interferometry, VLBI) alkalmazásával képet tudott alkotni egy fekete lyukról. A továbbiakban ezt a két új megfigyelési módot tekintjük át.

A fekete lyukakhoz hasonlóan a gravitációs hullámok is Albert Einstein általános relativitáselméletének jóslatai. Ezeket a hullámokat a téridő rezgéseiként tudjuk leírni: ahogy a tömeggel bíró testek meggörbítik a téridőt, mint egy golyó a gumilepedőt, ha két nagy tömegű test kering egymás körül, hullámozást fognak létrehozni a téridő szövetén. Ez a hullámozás fénysebességgel terjed tova a forrástól.

Ahhoz, hogy jobban megérthessük, hogy mit is jelent a téridő hullámozása, vizsgáljuk meg, hogy mi történne, ha egy emberen áthaladna egy szemből érkező ilyen hullám! A körülötte állók azt láthatnák, ahogy az ember egyszer csak megnyúlik, és közben vékonyabb lesz, majd alacsonyabb és szélesebb lesz, és ez periodikusan folytatódik. A hétköznapi életben mégsem látunk ilyesmit, mivel a gravitációs hullámok nagyon csekély megnyúlást és összehúzódást okoznak. A megnyúlás mértéke arányos a test méretével, például egy 1 m-es test kb.  $10^{-20}$  m-rel nyúlna meg, amely egy atommag méretének is töredéke!

Ha csupán ilyen kis mértékű változásokat okoz a hullám, akkor mégis hogyan lehet kimérni? Az első ilyen irányú kísérletek az 1960-as években indultak. Joseph Weber készítette el az első tömegrezonátornak nevezett detektort, egy két méter hosszú, egy méter átmérőjű tömör alumíniumhengert. Weber egy vákuum-

kamrába helyezte a detektort, ahol az védve volt a külső rezgésektől. A mérés elve a következő: egy áthaladó gravitációs hullám periodikus megnyúlást és összehúzódást okozva megrezgetné a hengert, és ha a hullám frekvenciája közel áll a henger sajátfrekvenciájához, akkor rezonancia lép fel, vagyis a hullám hatása sokkal nagyobb lesz, és így esetleg ki lehet mutatni a henger méretének kicsiny megváltozását, például egy piezoelektromos kristállyal. Weber 1969-re több ilyen detektort is épített, és bejelentette, hogy két detektorral koincidenzában észlelt egy jelet, vagyis gravitációs hullámot talált. Más csoportoknak azonban mind ez idáig nem sikerült tömegrezonáns detektorokkal gravitációs hullámokat kimutatni, így valószínű, hogy a Weber által észlelt jel sem asztrofizikai eredetű volt. Az ilyen típusú detektorok nagy hátránya az, hogy csak bizonyos szűk frekvenciatartományokon képesek az észlelésre. Emiatt manapság főként egy másik módszert, a lézerinterferometriát használják.

Egy lézerinterferométer két hosszú, egymásra merőleges karból áll, amelyek L alakban helyezkednek el, és bennük ultraalacsony nyomás van. Az L alak közepén egy nyalábosztó van, amelyre egy lézersugarat irányítunk. A nyalábosztóról a sugár egy része az egyik, másik része a másik karba kerül, majd azokon végighaladva elér a végpontokban felfüggesztett tükrökhöz. A tükrőről visszaverődő sugarak ezután visszafelé is megteszik az utat, majd a nyalábosztón egyesülnek, és az így újraegyesített fénysugár egy detektorra esik. A karokat úgy alakították ki, hogy a fénysugarak éppen ellentétes fázisban érkezzenek vissza a nyalábosztóra, vagyis teljes kioltás legyen, és semmilyen fény ne essen a detektorra. Azonban ha a rendszeren gravitációs hullám halad át, az hol az egyik, hol a másik kart nyújtja meg kissé, ennek következtében a bennük terjedő fénysugárnak kissé hosszabb vagy rövidebb időre van szüksége, hogy a nyalábosztóra érkezzen. Emiatt pedig kis fáziskülönbség lép fel, vagyis már nem alakul ki teljes kioltás. A detektorra jutó kis fény intenzitásának időbeli változásával mutathatjuk ki a gravitációs hullámot.

Több ilyen felépítésű detektor is üzemel világszerte, ami két szempontból is kulcsfontosságú. Egyrészt a felfedezések megerősítése miatt: ha két detektor közel azonos időpontban észlelt hasonló jelet, akkor az valószínűleg tényleg valamilyen asztrofizikai forrásból származott, és nem csak helyi hatásról, például egy kisebb földmozgásról van szó. Másrészt a több detektor általi észlelés fontos a forrás meghatározásának szempontjából is. A lézerinterferométerek ugyanis nemcsak egy irányból, hanem szinte bármerről képesek érzékelni a hullámokat. Ez abból a szempontból jó, hogy több jelet észlelhetünk, másrészt viszont nagyon megnehezíti a forrás pozíciójának meghatározását. Több detektor használatával azonban a hullámok véges terjedési sebességét kihasználva háromszögletes módszerrel mégis behatárolható, hogy melyik égterületről jöhetett a jel.

A gravitációs hullámok kutatásának jelenlegi legérzékenyebb eszközei a két amerikai LIGO- (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) detek-

tor, amelynek karjai 4 km hosszúak (1. ábra). A LIGO-detektorokkal szorosan együttműködik az olaszországi Virgo-, és az ezeknél jóval kisebb németországi GEO600-detektor. Jelenleg tesztelés alatt áll egy új, kriogenikus detektor Japánban (KAGRA), valamint Indiában is épül egy újabb LIGO-detektor.



**1. ábra.** A LIGO két gravitációshullám-detektora Hanfordban és Livingstonban (LIGO; CC BY licenz)

A LIGO-detektorok először 2015. szeptember 14-én észleltek gravitációs hullámokat, amelyek egymás körüli keringő két fekete lyuk összeolvadásából származtak. A 29 és 36 naptömegű fekete lyukak összeolvadása után egy nagyobb, 62 naptömegű fekete lyuk jött létre, vagyis a folyamat során 3 naptömegnyi energia sugárzódott ki gravitációs hullámok formájában, mindez egytized másodperc alatt. Így ez az emberiség által észlelt legnagyobb teljesítményű folyamat! Az összeolvadás tőlünk kb. 1 milliárd fényév távolságban történt, vagyis a gravitációs hullám már egymilliárd éve úton volt felénk.

A LIGO első két megfigyelési időszaka alatt (amelyekre O1 és O2 néven hivatkoznak), vagyis 2017 szeptemberéig tíz másik gravitációs hullámot is sikerült detektálni, amelyek közül egy neutroncsillagok összeolvadásából, míg a többi az első felfedezéshez hasonlóan fekete lyukak összeolvadásából keletkezett. Az észlelések új ablakot nyitottak az Univerzumra: mivel a gravitációs hullámok az elektromágneses jelektől teljesen független információhordozók, általuk olyan folyamatokat ismerhetünk meg, amelyeket más, hagyományosabb eszközökkel képtelenek lennénk. Ezt az áttörést ismerték el, amikor a LIGO-kollaboráció három vezető személyisége, Rainer Weiss, Kip Thorne és Barry Barish elnyerte a 2017-es fizikai Nobel-díjat.

Rögtön az első felfedezések újdonságokkal szolgáltak a fekete lyukak jobb megértéséhez. Mind ez ideig nem tudtuk, hogy vajon két fekete lyuk ténylegesen összeolvadhat-e egymással, valamint olyan tömegű fekete lyukakat sikerült így

megfigyelni, amilyeneket korábban még nem találtunk. A röntgenkettősök megfigyeléséből kb. 5–20 naptömeg közötti tömegű fekete lyukakat fedeztünk fel, míg a galaxisok közepén lévő fekete lyukak tömege ezeknél nagyságrendekkel nagyobb. A LIGO által észlelt folyamatokban pedig 60–80 naptömegű fekete lyukak is keletkeztek, ám az továbbra is válaszra váró kérdés, hogy vannak-e például néhány ezer naptömegű fekete lyukak.

Jelenleg a LIGO harmadik megfigyelési időszaka zajlik, amelynek során már eddig is sok érdekes eseményt észleltek a detektorok. A műszer érzékenységét folyamatosan növelik, valamint várhatóan néhány éven belül a japán KAGRA-detektor is megkezdí működését, így a következő évtizedben szinte mindennaposá válhat a gravitációs hullámok észlelése.



**2. ábra.** Az Event Horizon Telescope felvétele az M87 szupernagy tömegű fekete lyukáról (ESO; Wikimedia Commons)

A fekete lyukak megfigyelésének másik közelmúltbeli újdonsága az Event Horizon Telescope rádióteleszkóp-hálózat eredménye. A 2009-ben indított nagyszabású projektben tízéves munka után, 2019 áprilisában mutatták be az első felvételt, ami egy fekete lyukról készült a nagyközönségnek. A kép az M87 óriás elliptikus galaxis közepén lévő fekete lyukról készült (2. ábra). A felvételen a fekete lyuk

akkréciós korongja jól kivehető, előtte pedig tulajdonképpen a fekete lyuk „árnyékát” láthatjuk. Ez a kép jóval több, mint pusztán egy érdekesség, az általános relativitáselmélet jóslatait is lehetett általa tesztelni, és ismét megbizonyosodhatunk róla, hogy az kiállja a kísérletek próbáját: tényleg ilyen képet várnánk egy nagy tömegű, forgó fekete lyukról. Az Event Horizon Telescope kollaboráció az adatokból meg tudta határozni a fekete lyuk tömegét is, amelyre kb. 6,5 milliárd naptömeget kaptak. Ez nem teljesen egyezik meg az objektum körül áramló gáz megfigyeléséből számított értékkel, így érdekes asztrofizikai kérdéseket is felvet az elkészült kép. A kollaboráció tervei szerint pedig hamarosan a Tejútrendszer közepén lévő fekete lyukról is elkészül a felvétel.

A gravitációs hullámok észlelése és a VLBI-technológia alkalmazása tehát máris sok fontos kérdés megválaszolásában segített a fekete lyukakkal kapcsolatban, az elkövetkező években pedig mindkét új módszertől további fontos eredményeket várhatunk.

Munkámat az Emberi Erőforrások Minisztériumának ÚNKP-18-3 pályázata támogatta.



# A CSILLAGÁSZAT GAIA KORA

## THE GAIA AGE OF ASTRONOMY

Szabados László

az MTA doktora, kutató professor emeritus

Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Budapest  
szabados@konkoly.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az Európai Űrügynökség Gaia-űrszondájának sikeres működése valódi korszakváltást hoz a csillagászatban. A Gaia jelenleg is végzi asztrometriai méréseit, ám az eddig nyilvánosságra hozott adatok alapján is számos helyen át kell írni a csillagászati tankönyveket, kézikönyveket. A tanulmány az űrasztrometria bemutatása után a Gaia projektet ismerteti, és néhány példával érzékelteti, hogy milyen tudományos áttörésekhez vezettek a Gaia eddigi mérési adatai.

### ABSTRACT

The success of the Gaia space probe of the European Space Agency results in a new revolution in astronomy. Gaia is still performing astrometric measurements but based on the available data several chapters of astronomy textbooks and handbooks have to be revised. Following the introduction into space astrometry, this paper describes the Gaia project and shows several examples of breakthroughs in astronomy owing to astrometric measurements by Gaia.

**Kulcsszavak:** asztrometria, csillagászat, Gaia, parallaxis, távolság

**Keywords:** astrometry, astronomy, Gaia, parallax, distance

### ASZTROMETRIA A FÖLDRŐL

Az *asztrometria* az égitestek helyét és látszó égi mozgását vizsgálja. A 19. század közepéig, az asztrofizika kialakulásáig az asztrometriai mérések jelentették magát a csillagászatot. Később, már a 20. században a kozmológia hasított ki magának újabb szeletet a csillagászat „tortájából”. Azonban a csillagászat

bármely részterületével foglalkozó szakemberek sem boldogulhatnak az asztrometria nélkül, amire az asztrometria másik elnevezése is utal: fundamentális csillagászat.

Egy égitest térbeli helyzetét hat adat írja le: megfelelően választott koordináta-rendszerben mért három koordinátaérték, továbbá a három koordinátairány menti mozgást jellemző adat. Az égi világban azonban már a pillanatnyi koordináták mérése sem egyszerű. És itt nem arról van szó, hogy a Föld tengely körüli forgása miatt minden csillag, galaxis és a naprendszerbeli kisebb-nagyobb égitestek látszó helye folyton változik az égen. A koordináta-rendszer alkalmas megválasztásával az éggömbön elfoglalt hely, azaz két koordinátaérték egyszerűen megadható, csak a mérési pontosság szüntelen növelésére van szükség, mivel a jelenleg működő óriástávcsövekkel észlelhető leghalványabb csillagok felületi sűrűsége elképesztően nagy is lehet az égen. A fő gond a „térbeliségre” jellemző harmadik koordinátával van, hiszen azt is meg kell mérni, hogy a csillag (galaxis, kozmikus köd, kisbolygó stb.) milyen távol van tőlünk az adott látóirány mentén. Amíg a távolság nem ismert, a szóban forgó objektum fizikai tulajdonságai (mérete, tömege, sugárzási teljesítménye) is bizonytalanok.

A távolságot a csillagászatban a geodéziában használt háromszögelés jól bevált módszerével határozzák meg. Egy szakasz („alapvonal”) két végén elhelyezett műszerrel megméri, hogy a kiszemelt tereptárgy milyen irányban látszik, majd a szakasz hossza és a teodolittal mért két szög ismeretében egyszerű trigonometriai számolással adódik a tereptárgy távolsága a mérőeszköztől. Ugyanígy érzékeli az emberi szem is a távolságot. A szem esetében az alapszakasz végpontjai a két pupilla közepe. Azt a jelenséget, hogy felváltva bal és jobb szemmel nézve a közelebbi tárgyak elmozdulni látszanak a háttérben levőkhez képest, *parallaxis*nak nevezik. Minél távolabbi objektumot vizsgálunk, annál kisebb a parallaktikus elmozdulás. Földi tárgyak esetében jól mérhető ez a szög. Az égitestek világában viszont a Földön megszokottnál sok-sok nagyságrenddel nagyobb távolságok jellemzőek, a parallaxisból eredő szögműködés pedig ugyanennyi nagyságrenddel csökken. A csillagászatban tehát extrém pontos mérésekre van szükség, még akkor is, ha az alapszakasz hossza ugyancsak nagyságrendekkel meghaladja a geodéziái méréseknél megszokott értéket. A csillagászok számára a Föld Nap körüli keringése ugyanis kb. 300 millió kilométer hosszú alapszakaszt biztosít (ennyi a földpálya átmérője). E szakasz két végpontjába fél év különbséggel kerül a Föld, ekkor lehet elvégezni a megfelelő szögmérést. (Persze máskor is lehet mérni, csak figyelembe kell venni a Föld pillanatnyi helyzetét.)

A kozmikus távolságmérés nehézségét fokozza az a tény, hogy földi távcsövekkel nem lehet abszolút szögeket mérni a szükséges pontossággal, csupán a távcső látómezejében látszó égitestek pozíciója közötti szögműködést. Parallaktikus eredetű elmozdulása viszont a látómezőbe kerülő minden objektumnak van, a

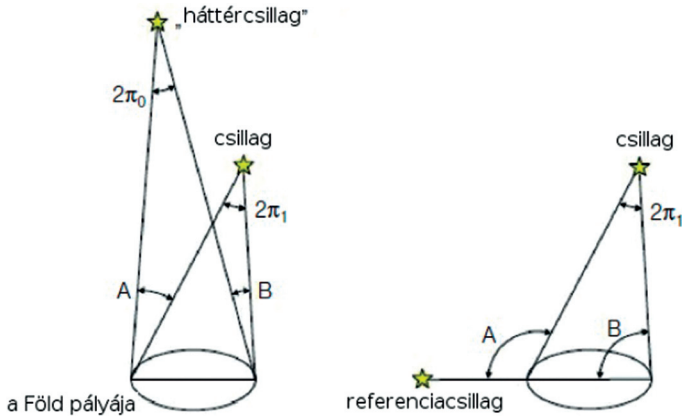
távolabbiaknak kisebb, a közelebbieknek nagyobb szögérték. De ez a „nagyobb” is egészen csekély számérték: a Naphoz legközelebbi csillag, a Proxima Centauri parallaxisa kisebb 1 ívmásodpercnél. Így érthető, hogy a csillagászati parallaxis-mérések csak az 1830-as években vezettek először sikerre. Az egészen kis szögkülönbségekből meghatározott távolság bizonytalansága ugyanis egészen nagy lehet a szögmérés hibája miatt.

A parallaxismérés módszerének fő előnye az, hogy geometriai (trigonometriai) alapon nyugszik, és teljesen független a vizsgált égitestek tulajdonságaitól. Földi távcsővel végzett mérések esetén a pontosság legfeljebb 0,01 ívmásodperc, így a parallaxismérés csupán 200–300 fényév távolságig használható. Összehasonlításképpen: a Tejútrendszer átmérője kb. százezer fényév. Földfelszíni távcsövekkel végzett parallaxismérésből ezért csak néhány ezer csillag távolságát sikerült megállapítani, a kapott távolságértékeket pedig többnyire nagy hiba terheli.

Mivel a távolság ismerete a csillagászatban alapvető, a csillagászok kénytelenek voltak kidolgozni más távolságmeghatározási módszereket is. E módszerek közös vonása az, hogy a vizsgált objektumok valamilyen fizikai jellemzőjén, tehát bizonyos előfeltevéseken alapulnak, így nem tisztán geometriai jellegűek, és bizonyos típusú égi objektumokra vagy azok csoportjaira alkalmazhatók. E módszerekkel viszont sikerült a távolságmeghatározás kiterjesztése az extragalaxisok világába is. A csillagászok eddig már száznál több módszert ötlöttek ki a kozmikus távolságok megállapítására, ezzel a Világegyetem feltérképezésére, ám azzal is tisztában kell lenni, hogy e módszerek jó része kevésbé megbízható eredményt szolgáltat a távolságra – csakúgy, mint a hagyományos parallaxismeghatározás.

## ASZTROMETRIA AZ ŰRBŐL

A parallaxismérés pontosságának fokozására létezik ugyan triviális megoldás, de a megvalósítás egészen a legutóbbi évtizedekig technikai nehézségekbe ütközött. A parallaktikus elmozdulás mértéke akkor mérhető pontosan, ha a vizsgált csillag koordinátáit az égbolton egészen más irányban látszó referenciacsillagokéihoz viszonyítjuk. Földi távcsövek használatával ez lehetetlen, egyrészt a távcsövek kis látómezeje miatt, másrészt a földi légkörben fellépő fénytörés (refrakció) hely- és időfüggésének bizonytalan ismerete következtében. A megoldás ezért az, hogy a pozícióméréseket a földi légkörön kívül kell végezni, és nem hagyományos távcsővel, hanem olyan optikai elrendezést megvalósítva, amellyel egymástól egészen eltérő irányban levő égi fényforrások helyzetének mérése is lehetséges (1. ábra). Ez az igény vezetett az *űrasztrometria* kialakulásához.



1. ábra. A parallax mérésének elve. Balra a relatív parallaxis, jobbra az abszolút parallaxis meghatározásának sematikus ábrázolása látható (URL1)

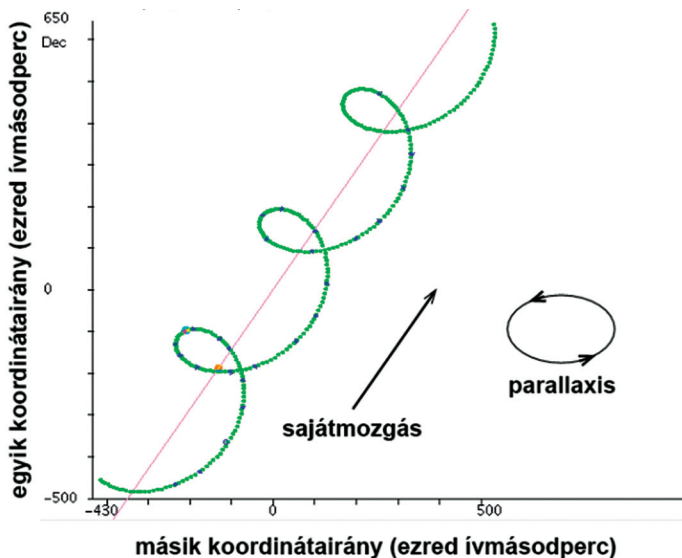
Az űrcsillagászati projektek elképesztően magas költsége miatt kielezett verseny folyik a különféle csillagászati témák művelői között a tekintetben, hogy milyen méréseket végző űrszondák megvalósítását hagyják jóvá. A kozmológia, a bolygó kutatás és más népszerű és sokak által művelt témák mellett az asztrometriával foglalkozók száma alacsony, a kis létszámú társaság érdekérvényesítő képessége pedig csekély. Így egy asztrometriai célú űrszonda szükségességének elfogadtatásához az is kellett, hogy a más témákban érdekeltek közül néhányan „átszavazva” inkább egy asztrometriai szonda kifejlesztését támogassák, lemondva saját kutatási területük prioritásáról.

Pontosan ez történt az Európai Űrügynökség (ESA) illetékes tudományos bizottságában, amikor az 1980-as évek elején felvették az ESA programjába a legelső asztrometriai célú mesterséges holdat, a *Hipparcos*, amelynek sikeres működése és eredményessége látványosan érzékeltette az űrasztrometriában rejlő lehetőségeket, egyben felkeltette az égi pozíciómérés pontosságának fokozása iránti igényt is. Ezek együttesen vezettek el az újabb asztrometriai űrszonda, az ugyancsak európai *Gaia* megvalósításához – a *Hipparcos* után negyed századdal.

## A HIPPARCOS

Az űrasztrometriában úttörő *Hipparcos* 1989 és 1993 között végezte méréseit Föld körüli pályán keringve. Neve az ókori csillagászat kiemelkedő alakja, az i. e. 2. században élt görög Hipparkhosz nevére emlékeztet, de a szonda elnevezése valójában a **H**igh **P**recision **P**arallax **C**ollecting **S**atellite (nagy pontosságú parallaxisgyűjtő hold) megfelelő betűiből képzett betűszó.

Az abszolút parallaxis meghatározásának elősegítésére az éggömb két jelentősen eltérő irányában látszó csillagokat észlelték egyidejűleg a mindössze 29 cm tükörátmérőjű távcsővel. A két látóirány 58 fokos szöveget zárt be egymással. Tekintettel arra, hogy minden égitest mozog a térben, meg kell oldani a térbeli mozgás okozta koordinátaváltozás elválasztását a parallaktikus eredetű látszó elmozdulás hatásától. A kétféle effektus szeparálásához legalább három éven át kell rendszeresen mérni egy-egy égitest égi pozícióját (2. ábra). A Föld Nap körüli keringése során kialakuló parallaktikus elmozdulás egyéves periódussal ismétlődve rátevédik a csillag egyedi mozgásának égi vetületére, az ún. *sajátmozgás*-ra. A Hipparcos ezért három évet kissé meghaladó időszakon át végezte 118 000 előre kiválasztott csillag pozíciójának mérését. Így egy-egy csillagról nagyjából száz időpontra vonatkozó mérési adat állt rendelkezésre a program befejeztével.



2. ábra. A parallaktikus elmozdulás és a sajátmozgás elkülönítéséhez legalább hároméves pozíciómérési sorozat szükséges (URL2; M. Richmond nyomán)

Ezek alapján két nemzetközi kutatócsoport egymástól függetlenül és egymásétól eltérő módszerrel öt asztrometriai adatot határozott meg a programban szereplő minden csillagra: az égi vonatkoztatási rendszerben érvényes két koordinátaértéket (1991,25 epochára, a mérési időszak közepére vonatkozóan), a sajátmozgás két koordinátaírány menti komponensét, továbbá az égitest távolságára utaló parallaxis értékét. A programért felelős vezetők előre eldöntötték, hogy az adatfeldolgozás után kapott végeredményt csak akkor tekintik elfogadhatónak, ha azonos eredményre jut az adatredukálást végző két csoport. Mivel ez a kedvező helyzet

következett be, 1997-ben közreadták a Hipparcos-katalógust, benne az addigi legpontosabb asztrometriai adatokkal. A közölt koordináták és a parallaxisérték pontossága 0,001 ívmásodperc, a sajátmozgásoké pedig 0,001 ívmásodperc/év.

A pozíciómérés során nemcsak annak időpontját rögzítették, hanem a vizsgált égitest pillanatnyi fényességét is, így a Hipparcos-katalógus értékes fotometriai adatbázisként is szolgál. Kifejezetten fotometriai célú űrszondák azonban csak a 21. század első évtizedétől segítik a csillagászatot (lásd Pál András tanulmányát e lapszám 889. oldalán).

A parallaxisból kapott távolság alapján az egyes csillagok luminozitása (fényteljesítménye) is pontosan meghatározható, de csak a közeli csillagokra, mert néhány ezer fényéves távolság esetén a parallaxis bizonytalansága már azonos nagyságrendű magának a parallaxisnak a számértékével. A luminozitás ismerete viszont fontos a csillagok szerkezetének és fejlődésének megértése miatt is. A cél tehát az, hogy minél távolabbi csillagok parallaxisa is pontosan ismert legyen. A Hipparcos megmutatta, hogy az űrsztrometria jó úton jár, de a pontosság nagymértékű fokozása szükséges.

A Hipparcos eredményei közül néhányat itt is érdemes megemlíteni. A programcsillagok helyzete és mozgása alapján kimutatták, hogy a Tejútrendszer küllős spirálgalaxis. Ez azt jelenti, hogy galaxisunk centruma közelében nem egyenletesen oszlanak el a csillagok, a centrumot átszelő „küllő” két végpontjából indulnak ki a spirálkarok. A Tejútrendszer peremvidékén is talált újdonságot a Hipparcos. Kiderült, hogy galaxisunk fősíkja valójában nem sík, hanem egyik szélén lehajlik, az azzal ellentétes oldalon pedig felfelé konyul, mint egy kalap karimája. A csillagok ilyen furcsa eloszlása a Tejútrendszer tözsomszédságában található törpegalaxisok létevel, illetve gravitációs hatásukkal magyarázható.

Az űrszonda fotometriai mérései alapján pedig nyilvánvalóvá vált, hogy a csillagok közül minden tizediknek időben változik a fényessége, és egy bizonyos hőmérsékletértéknél hidegebb felszínű csillagok mindegyike ilyen, ún. változócsillag.

Régóta ismert, hogy a csillagok között többségben vannak azok, amelyek nem magánosak, hanem két vagy több csillagból álló rendszer tagjai. A csillagok ez esetben a rendszer tömegközéppontja körül keringenek. A Hipparcos a programcsillagok 10%-át vizuális kettősnek észlelte, azaz komponenseire tudta bontani a kettős rendszert. A pozíciómérésekből ráadásul 235 kettőscsillag tagjainak keringési pályáját is meg tudták határozni.

## A GAIA – NAPJAINK LEGFONTOSABB ŰRCSILLAGÁSZATI PROJEKTJE

A Gaia előkészítése már akkor megkezdődött, amikor a Hipparcos még javában mért, de az új asztrometriai projekt jóváhagyása és megvalósítása hosszú időt vett igénybe, így a Gaia nagyjából negyedszázaddal a Hipparcos után kezdett

mérni. A kivitelezés során fellépett nehézségeket csupán egyetlen példával érzékeltetem. A Gaia projekt tervének körvonalazódásakor még GAIA volt a neve, a Global Astrometric Interferometer for Astrophysics kezdőbetűiből alkotott betűszóként. Csakhogy a szakemberek hosszas próbálkozások után belátták, hogy a kívánt milliomod ívmásodperces mérési pontosságot a jelenlegi technikával nem tudják az interferometria űrbeli alkalmazásával elérni, ezért a Hipparcosnál már jól bevált mérési módszernél maradtak: a csillagok átvonulási időpontját és helyzetét rögzítik egy nagy méretű (1 gigapixeles) CCD-érzékelőre érkező jel alapján. Mivel a betűszó így aktualitását veszítette, a GAIA névből Gaia lett.

A Gaia sok tekintetben túlszárnyalja elődjét, a Hipparcost:

- Mérési programján 118 000 csillag helyett 1,6 milliárd égi forrás szerepel, és a Tejútrendszer csillagainak nagyjából egy százaléka mellett több tízezer kisbolygót és félmillió kvazárt is észlel.
- A mérési pontosság a Hipparcos ezred ívmásodperces értékéhez képest nagyjából két nagyságrendet javult, sőt a fényesebb csillagokra a néhány milliomod ívmásodperces pontosság is elérhető. Így akár a Tejútrendszeren kívüli, közeli extragalaxisok legfényesebb csillagainak távolságát is meg lehet határozni a trigonometrikus parallaxisuk alapján.
- A mért objektumok térbeli mozgását illetően a Hipparcos-adatokból csak a sajátmozgás két komponensét (az éggömb érintősíkjában látszó mozgást) lehetett meghatározni, míg a Gaia fedélzetén levő spektrográffal legalább 15 magnitúdóig a vizsgált égitestek látóirányú (az éggömb érintősíkjára mérőleges) sebessége is meghatározható a színekvonalak Doppler-eltolódása alapján. Ez lehetővé teszi a Tejútrendszer dinamikai térképének megalkotását is: a háromdimenziós térkép mellett a vizsgált csillagok térbeli mozgása is feltérképezhető, abból pedig következtetni lehet galaxisunk múltjára és jövőjére.

A 2013 végén indított Gaia 2019 nyarán már befejezte az eredetileg öt évre tervezett mérési programját, de az ESA támogatásával tovább folynak a mérések. Az elképesztő mennyiségű adat feldolgozása javában zajlik. A Gaia első adatki-bocsátása (Gaia DR1) 2016 szeptemberében még csak az első 14 hónapban végzett méréseken alapult, de az ekkor közölt asztrometriai adatok már pontosabbak voltak a végső Hipparcos-katalógusban szereplőknél. A második adatki-bocsátás (Gaia DR2) pedig korszakos jelentőségű a csillagászatban, a 2018. április óta elérhető adatbázis ugyanis egyebek között a következőket tartalmazza:

- 1,7 milliárd csillag égi pozíciója és fényessége,
- 1,3 milliárd csillag parallaxisa és sajátmozgása,
- 7 millió csillag átlagos látóirányú sebessége,
- 161 millió csillag felszíni hőmérsékletének értéke,
- 77 millió csillag mérete és fényteljesítménye.

Mivel ezeket az adatokat a mérési időszak első 22 hónapja során végzett mérésekből kapták, egyedi csillagokra még nem feltétlenül megbízhatóak az értékek. Csillagok csoportjait vizsgálva viszont már szinte azonnal rengeteg jelentős eredmény született: új csillaghalmazokat találtak galaxisunkban, sikerült kimutatni a Tejútrendszer kísérő törpegalaxisok sajátmozgását, sőt a Nagy-Magellán-felhő forgását is, a korábbiaknál pontosabban meghatározták a tejútrendszerbeli fényelnyelés mértékét, a csillagok szisztematikus mozgásából pedig becslést végeztek a galaxisunk össztömegére (beleértve a sötét anyagot is), ami 1,5 billió naptömegnek adódott, messze felülmúlva a korábban becsült értéket. Arra is fény derült, hogy a Tejútrendszer kb. 10 milliárd éve egy egész törpegalaxist kebelezett be.

A Gaia DR2 tartalmát részletező 2018-as folyóiratcikk azóta az egyik legtöbbször idézett tanulmány az egész csillagászatban. Szerzői között a Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet Gaia Adatfeldolgozó és -elemző Konzorciuma (DPAC) munkájában hosszabb-rövidebb ideje részt vevő kutatói is szerepelnek.

A következő adatkibocsátások során pedig egyre pontosabb és részletesebb adatok kerülnek nyilvánosságra, tovább fokozva a Gaia szerepét napjaink csillagászati forradalmában.

## IRODALOM

URL1: [https://mta.hu/tudomany\\_hirei/mar-elerheto-a-tejutrendszer-keszulo-haromdimenzios-terkepe-106850](https://mta.hu/tudomany_hirei/mar-elerheto-a-tejutrendszer-keszulo-haromdimenzios-terkepe-106850)

URL2: [https://mta.hu/tudomany\\_hirei/itt-a-valaha-volt-legnagyobb-csillagadatbazis-nyilvanos-a-gaia-urtavcso-masodik-adatkozlese-108663](https://mta.hu/tudomany_hirei/itt-a-valaha-volt-legnagyobb-csillagadatbazis-nyilvanos-a-gaia-urtavcso-masodik-adatkozlese-108663)



# MAGYARORSZÁG ÉS AZ EURÓPAI DÉLI OBSZERVATÓRIUM

## HUNGARY AND THE EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY

Ábrahám Péter

az MTA doktora, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Budapest  
abraham@konkoly.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

A csillagászat az egyik leginkább nemzetközi tudomány, ez abban is megnyilvánul, hogy az egyre nagyobb teljesítményű, egyre drágább távcsöveket több ország összefogásával építik, és a Föld legjobb asztrolímájú helyeire telepítik. Európa rendkívül sikeres nemzetközi csillagászati szervezete az Európai Déli Observatórium (ESO), amelynek kettős küldetése világszínvonalú obszervatóriumok közös létrehozása és fenntartása, valamint a tagországok tudományos együttműködésének elősegítése. Magyarország csillagászati jövőképének évtizedek óta központi eleme az ESO-hoz való csatlakozás. Bár erre még kormányzati jóváhagyás hiányában nem került sor, jelenleg is sok szálon kötődünk az ESO-hoz, a világszínvonalú chilei optikai-infravörös-rádiótávcsövek használatától az ESO szakértői bizottságaiban való részvételig és a műszertechnikai együttműködésig. Mindez bizonyítja, hogy a magyar csillagászat megérett az ESO-tagságra. A csatlakozási folyamat előnyeinek bemutatására a Magyar ESO Konzorcium 2019 elején széles körű felmérést végeztetett a magyar technológiai szektorban, kimutatva, hogy jó néhány magyar vállalkozás érdeklődik az ESO tenderei iránt, és általuk az éves tagdíj legalább 30%-a visszahozható az országba. Ezekre az érvekre alapozva 2019. február óta hivatalos csatlakozási javaslat fekszik az Innovációs és Technológiai Minisztérium asztalán.

### ABSTRACT

Astronomy is one of the most international fields of natural sciences, meaning also that modern telescopes are built in collaboration of countries and are placed at the most favourable astroclimatic locations worldwide. Europe has a very successful intergovernmental astronomical organization, the European Southern Observatory (ESO), which has a double mission: construction and operation of world-leading observatories, and promotion of scientific collaboration among member states. Becoming a member of ESO is perhaps the most important milestone on the future roadmap of Hungarian astronomy. While its governmental approval is still lacking, we already have multiple links to ESO: we regularly apply and carry out observations with ESO's high-performance optical-infrared-radio telescopes in Chile, are invited to various ESO expert committees, and collaborate on instrument development. All these facts demonstrate that Hungarian astronomy has reached the level of ESO compatibility. To explore the economical aspects of the membership, in 2019 the Hungarian ESO Consortium surveyed the Hungarian technology sector and revealed a number of companies interested in ESO tenders, implying that at least

30% of the annual fee could flow back to the country via orders from companies. Based on all the above arguments, in 2019 February a proposal was submitted to the Ministry of Innovation and Technology, to start official negotiations about ESO membership.

**Kulcsszavak:** csillagászat, ESO, óriástávcsövek, nemzetközi együttműködés, technológiai fejlesztés

**Keywords:** astronomy, ESO, giant telescopes, international cooperation, technological developments

### MEGFIGYELŐCSILLAGÁSZAT, NEMZETKÖZI EGYÜTTMŰKÖDÉSBEN

A csillagászat születése óta nemzetközi tudomány, ma sincs értelme magyar csillagászatról, legfeljebb Magyarországon végzett csillagászati kutatásokról beszélni. A csillagos égbolt nem osztható fel az országok között, még az sem mond sokat egy ország csillagászati kutatásairól, hogy az északi vagy a déli féltekén helyezkedik-e el. A nemzetközi jelleget tovább erősíti, hogy az egyre nagyobb teljesítményű, egyre drágább távcsöveket csak több ország összefogásával lehet megépíteni, és a Föld legjobb asztroklimájú helyeire érdemes telepíteni.

Mivel ilyen helyszín Európában nem található, több európai ország tart fenn megfigyelési bázist más kontinensen, gyakran a déli féltekén. A legnagyobb és legsikeresebb megfigyelési bázist azonban nemzetközi összefogásban hozták létre. Ez az Európai Déli Obszervatórium (European Southern Observatory, ESO), amelyet 1962-ben öt európai ország alapított, mára pedig már tizenhat tagja van (a közelmúltban csatlakozott országok: Csehország 2007, Ausztria 2009, Lengyelország 2014, Írország 2018). A kormányközi szervezet kettős küldetést vall magának: olyan világszínvonalú obszervatóriumok létrehozása és fenntartása, amelyek meghaladnák az egyes országok lehetőségeit; valamint a tagországok tudományos együttműködésének elősegítése. Magyarország nem tagja az ESO-nak.

Az ESO jelenleg három nagy obszervatóriumot tart fenn részben vagy egészben, mindegyiket Chilében. A legelső volt az 1969 óta működő La Silla optikai-infravörös obszervatórium. Bár itt a mai napig sok értékes kutatás zajlik, az ESO jelenleg legnagyobb teljesítményű távcsövei, a Very Large Telescope már nem itt, hanem az 1999-ben megnyílt Paranal Obszervatóriumban működnek. A négy, egyenként 8,2 m tükörátmérőjű teleszkóp mindegyike önmagában is a legnagyobbak közé tartozik, de lehetőség van a távcsövek összekötésére, az interferometriai módszerek segítségével így akár egy 200 m tükörátmérőnek megfelelő szögfelbontást is el lehet érni. A Chajnantor-fennsíkon felépített ALMA-rádió-antenna-rendszer egyharmad arányban tartozik az ESO-hoz. Legújabbán pedig Paranalról alig 20 km-re az ESO elkezdte a világ legnagyobb távcsöve, a 39 m tükörátmérőjű Extremely Large Telescope (ELT) megépítését.

## AZ ESO MINT A MAGYAR CSILLAGÁSZATI JÖVŐKÉP KÖZPONTI ELEME

A Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Csillagászati Intézete több mint ötven éve működteti a legnagyobb magyarországi obszervatóriumot a Mátrában. Bár a Pizskéstetői Obszervatórium sok eredményt szolgáltat, és az utóbbi években jelentős felújításokon ment át, hosszabb távon behatárolja műszereink teljesítőképességét a derült éjszakák száma, a légkör átlátszósága és vízgőztartalma, valamint a környező települések által okozott fényszennyezés. A Pizskéstetői Obszervatóriumban az adottságainak legjobban megfelelő észlelések folynak (időbeli változások, tranzienis jelenségek követése, naprendszerbeli égitestek megfigyelése). Azonban a hazai csillagászat kutatási profilja ennél lényegesen szélesebb, és évtizedek óta folyamatosan igényli a hozzáférést nagytávcsövekhez, a Magyarországról a légkör vízgőztartalma miatt elérhetetlen infravörös színképtartományhoz és az itthon nem alkalmazható megfigyelési technikákhoz (például: polarimetria, interferometria). Mindezt csak nemzetközi együttműködésben lehet megvalósítani, így magától értetődő, hogy a magyar csillagászat jövőképének legalább két évtizede központi eleme az ESO-hoz való csatlakozás.

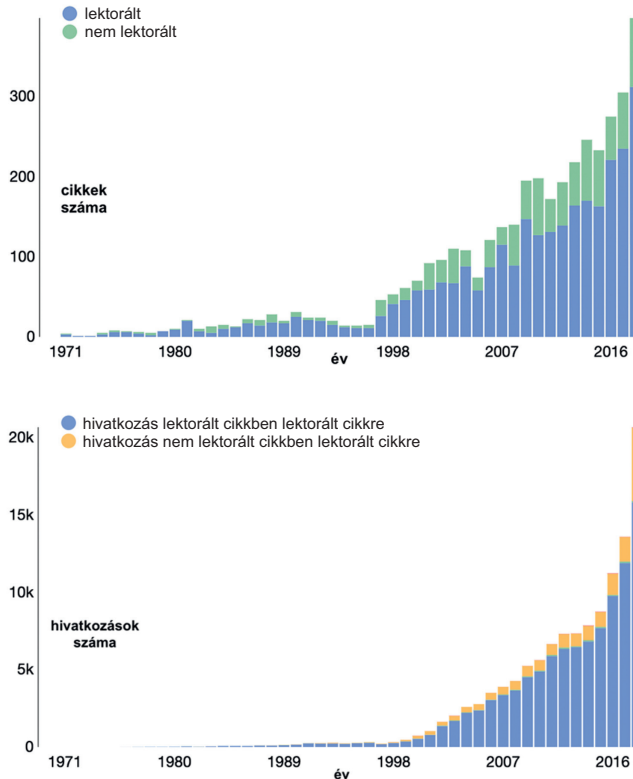
Magyarország ESO-hoz történő csatlakozásának kérdése az ESO korábbi főigazgatója, Catherine Cesarsky 2003-as magyarországi látogatása óta változó intenzitással napirenden van. 2016 júniusában az ESO akkori főigazgatója, Tim de Zeeuw Magyarországra látogatva találkozott a magyar csillagászati közösséggel, és megtekintette a Pizskéstetői Obszervatóriumot. Az ESO 2017-ben kinevezett jelenlegi főigazgatójával, Xavier Barçons-nal is megtörtént a személyes kapcsolatfelvétel. A magyar kormányzati szervekkel is történtek egyeztetések, amelyek eddig sikertelenek voltak a belépési díj és az éves tagdíj biztosításával kapcsolatos kérdések miatt.

Az ESO a csillagászati kutatás legsikeresebb nemzetközi szervezete, világvezető mind a tudományterületén, mind pedig az alkalmazott műszaki-ipari technológia tekintetében. A magyarországi csillagászat számára az ESO-hoz való csatlakozás sok területen kínálna jelentős előnyöket:

- rendkívül sokoldalú műszerpark, optikai–infravörös–(szub)milliméteres hullámhossztartomány, folyamatos műszerfejlesztések, észlelési támogatás,
- hozzáférés nagytávcsövekhez,
- az ESO tulajdonában lesz hamarosan a világ legnagyobb távcsöve (ELT),
- nincs agyelszívás, a kutatók a saját intézetükből vesznek részt az ESO munkájában, viszont a tagság gyakran feltétele külföldi posztdoktori kutatók idevonzásának,
- fokozza az egyéb asztrofizikai programok (ESA, LIGO) eredményességét,
- nemcsak távcsőidőt biztosít, hanem beleszólást enged az európai csillagászat jövőjébe, és iskolát nyújt a projektalapú kutatómunka, gondolkodásmód elsajátításához,

- oktatási programok: ESO Summer Astrocamp; ESO Summer Research Programme; ESO Student Programme, ESO Postdoc Fellowship.

Magyarország részt vesz és jelentős szerepet vállal több jelentős nemzetközi csillagászati projektben, mint a European Space Agency (ESA) asztrofizikai missziói vagy a Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) gravitációs-hullám-detektor. Ezek a programok élvonalbeli adatokat szolgáltatnak, azonban többnyire behatárolt hullámhossztartományban és kisszámú megfigyelési móddal, így a rájuk épülő tudományos programok a teljes asztrofizikának csak kis részét fedhetik le. Az ESO ettől eltérő filozófiát követve igyekeznek minden fontos megfigyelési technikára lehetőséget adni, hogy egy adott objektumot vagy csillagászati jelenséget minél több szempont alapján, minél teljesebben meg lehessen vizsgálni. Ezért az ESO nem helyettesíthető a fent említett programokkal, viszont a tudományos kutatás szempontjából ideálisan kiegészítik egymást.



**1. ábra.** Magyar csillagászok által vezető szaklapokban publikált cikkek számának növekedése (fent), illetve a magyar szerzőségű publikációk idézettségének emelkedése (lent), éves bontásban (az Astrophysics Data System interaktív oldalon összegyűjtött adatok alapján)

Az ESO főigazgatója legutóbbi látogatásakor, 2016-ban áttekintést kapott a magyar csillagászat elmúlt évekbeli gyors ütemű fejlődéséről, amely megmutatkozik a publikációs szám és idézettség gyors emelkedésében (1. ábra), valamint az elnyert nagypályázatok és díjak számában (4 ERC, 7 MTA Lendület, 1 TÁMOP, 2 GINOP, nagy presztízsű egyéni díjak). A mintegy száz szakcsillagász és száz egyetemi vagy doktori hallgató az ESO-csatlakozást követően várhatóan évi öt-tíz nyertes magyar távcsőidő-pályázatot fog majd benyújtani, így az ESO műszerein alapuló hazai publikációk száma várhatóan jelentősen megemelkedik. Tim de Zeeuw kiemelte, hogy a magyar csillagászat szakmai színvonalát tekintve megérett az ESO-tagságra, és az ESO részéről szívesen látott tagjelölt.

### KAPCSOLATOK MAGYARORSZÁG ÉS AZ ESO KÖZÖTT

Annak ellenére, hogy nem vagyunk ESO-tagország, az elmúlt években folyamatos együttműködés alakult ki Magyarország és az ESO között. Hazai kutatók rendszeresen pályáznak megfigyelési lehetőségre az ESO távcsövein, és az évi két szemeszter mindegyikében átlagosan két-három pályázatot nyernek el. 2014-től öt évig futott egy sikeres MTA Lendület program, amely az ESO ALMA rádióantenna-rendszerével végzett mérésekre alapozta tudományos kutatásait (Kóspál Ágnes). Rendszeresen jelennek meg ESO-mérésekre alapozott publikációk magyar szerzők tollából, részt veszünk az ESO által szervezett konferenciákon, és benne vagyunk több ESO-érfelmérésben. Időnként magyar csillagászok utaznak La Sillára vagy Paranalra megfigyeléseket végezni. Felkérésre rendszeresen végzünk szakmai szakértő munkát az ESO számára. Több magyar csillagász volt tagja a La Silla/Paranal távcsőidő-elosztó bizottságnak (Ábrahám Péter, Kiss László, Kóspál Ágnes, Maria Lugaro, Szabó Róbert) vagy az ALMA távcsőidő-bizottságnak (Kóspál Ágnes). Az ESO Studentship programban több magyar doktori hallgató tölthetett el egy-két évet az ESO garchingi (Németország) központjában.

A kapcsolatok akár impresszívnek is tekinthető jelenlegi szintje sok magyarországi kutató áldozatos munkáját takarja. Azonban fontos leszögezni, hogy az ESO-műszerekhez való hozzáférésünk saját jogon nem lehetséges, csak ESO-tagországbeli kollégákkal való együttműködésekön keresztül érhető el. Ennek esetlegessége, a hozzáférési szabályok jövőbeni szigorítása komoly kockázati tényező számunkra, és az ESO-tól sem várható el, hogy egy, a közös fenntartásba nem befizető országnak hosszú távú korlátlan hozzáférést biztosítson az eszközeihez. Ezért az eddigi kapcsolat eredményeire alapozva – amelyek bizonyítják, hogy Magyarország megérett a tagságra – a jövőbe vezető út egyértelműen a teljes jogú ESO-tagság. Ez adna csak alanyi jogú pályázási lehetőséget a világ legmodernebb távcsöveinek használatához, valamint az ESO Tanács és más bizottságok tagjaként beleszólást a további fejlesztésekbe, az európai csillagászat jövőjébe.

## MAGYAR IPARI BESZÁLLÍTÓK LEHETŐSÉGEI AZ ESO-BAN

Az ESO mellett, hogy a csillagászat egyik legnagyobb tudományos központja, folyamatosan fenntartja és fejleszti a megfigyelési infrastruktúráját. A civilizációtól távoli helyszíneken világszínvonalú berendezések üzemeltetése, új generációs műszerek létrehozása és az ELT számára az új Armazones Observatórium kialakítása rengeteg külső beszállítót igényel. A teljes jogú tagság lehetőséget teremt a magyar gazdasági szereplők számára, hogy részt vegyenek az ESO tendereiben, és az éves tagsági díj egy részét megrendeléseiken keresztül visszahozzák az országba.

Arra, hogy magyarországi műszaki tevékenységgel sikeresen hozzá lehet járulni akár a legmagasabb technológiai szintet képviselő ESO-műszerfejlesztésekhez is, jó példa a Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet (CSFK Csillagászati Intézet) részvétele az ESO új, másodgenerációs infravörös interferométere, a MATISSE (Multi AperTure mid-Infrared SpectroScopic Experiment) létrehozásában. Az intézet mérnökei érdemben hozzájárultak a műszer termális viselkedésének modellezéséhez, megterveztek és Magyarországon legyártattak egy tesztelésre szolgáló optikai kamerát, és szimulálták a szállítás során várható mechanikai igénybevételt. Az elvégzett munka elismeréseként a Csillagászati Intézet garantált megfigyelési lehetőséget kapott a MATISSE-műszeren.

Hogy megbízható képünk legyen arról, hány magyarországi vállalkozás mutatna érdeklődést az ESO tendereiben való részvételre, 2019 elején kérdőíves felmérést és ipari hatástanulmányt végeztük az olyan cégek körében, amelyek bejegyzett tevékenységi köre átfedi az ESO tenderkiírásainak témáit. Tíz vállalkozástól kaptunk vissza támogató levelet, amelyben kimondottan kifejezik érdeklődésüket az ESO tendereiben való részvételre, ha Magyarország csatlakozik a szervezethez. Vizsgálataink alapján, összevetve az érdeklődő cégek tevékenységi körét az elmúlt évek ESO-tendereinek tematikai megoszlásával és a tenderek összegével, úgy látjuk, hogy már az első évtől az éves tagdíj legalább 30%-os visszatérülése várható Magyarország számára a vállalkozásokon keresztül.

A közvetlen megrendeléseken túl a magyar ipar jelentős tapasztalatot és *know-how*-t kaphat az ESO-val való együttműködésekön keresztül, különösen a következő *high-tech* témakörökben: ipari automatizálás és rendszerintegráció; mesterséges intelligencia alkalmazása; mintázatkeresés nagy adatbázisokban; adatgyűjtés, -feldolgozás, -elemzés; valós idejű beágyazott rendszerek, *high performance computing*; lézertechnológia; speciális fémötvözetek; anyagtudomány; detektáló és képalkotó rendszerek fejlesztése; GPS-alapú időstandard.

## A MAGYAR CSATLAKOZÁSI FOLYAMAT ÁLLÁSA

Annak elősegítésére, hogy Magyarország mielőbb teljes jogú tagként csatlakozhasson az ESO-hoz, és utána a szervezeti tagság valóban elősegítse a magyar csillagászat további fejlődését, a következő szervezetek 2017. január 26-án szándéknyilatkozatot írtak alá a Magyar ESO Konzorcium megalapításáról (zárójelben az aláírók):

- MTA CSFK KTM (Kiss L. László),
- ELTE Csillagászati Tanszék (Tóth L. Viktor),
- ELTE Atomfizikai Tanszék (Frei Zsolt),
- ELTE Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék (Csabai István),
- ELTE Gothard Asztrofizikai Observatórium (Szabó M. Gyula),
- Szegedi Tudományegyetem Fizika Intézet és Bajai Observatórium (Vinkó József),
- MTA XI. Fizikai Tudományok Osztálya Csillagászati és Űrfizikai Tudományos Bizottság (Szabados László).

A Magyar ESO Konzorcium javaslatot készített Magyarország kormánya számára az ESO-csatlakozásról, amelyhez az ESO-adminisztrációtól megkapta a magyar belépés pénzügyi feltételeit. Ennek alapján a csatlakozáskor Magyarország egyszeri belépési díjat fizet, amellyel megváltja a szervezet vagyonából arányosan rá eső részt. Az arányosítás a nettó nemzeti jövedelem (NNI) alapján történik, amely szerint Magyarország részesedése az ESO költségvetéséből 2018-ban 0,67% volt, 2019-ben mintegy 0,69%. Az egyszeri belépési díj a fentiek alapján hozzávetőleg 8,5 millió euró, amelynek kifizetése hosszabb időszakra, akár tíz évre széthúzható. Ezenkívül a belépés után az ESO működési és fejlesztési költségeire éves tagdíjat kell fizetni, amelynek összege kevesebb mint 1,3 millió euró évente.

A Magyar ESO Konzorcium javaslatát az elmúlt évek során több alkalommal is benyújtotta a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalhoz, részben a hivatal által nemzetközi szervezetekben való tagságra kiírt pályázat keretében, részben közvetlenül, rendkívüli elbírálást kérve. Az utóbbi eljárást az az szükségessé teszi, hogy az ESO 2019-ben áttekintette a további tagjelöltekkel kapcsolatos eljárásrendjét, és ennek során megvitattak egy olyan javaslatot is, miszerint az 1%-os részesedést el nem érő tagjelölteknek nem teljes jogú tagságot ajánlanak, hanem egy tudományos partnerségi programot. Amennyiben a jövőben ez megvalósul, az Magyarország számára komoly visszalépés lenne, mivel a partnerség nem tenné lehetővé a magyar gazdasági vállalkozások részvételét az ESO tenderein, így az éves tagdíjból semmi nem lenne visszapályázható. Hogy Magyarország még teljes jogú tagként léphessen be a szervezetbe, a csatlakozási szándék miniszteri szintű mielőbbi bejelentése szükséges, ez indokolta a csatlakozási javaslat és a már em-

lített ipari hatástanulmány újabb benyújtását az NKFIH-nak 2019. február 19-én. A kézirat lezárásáig a javaslatra hivatalos válasz nem érkezett.

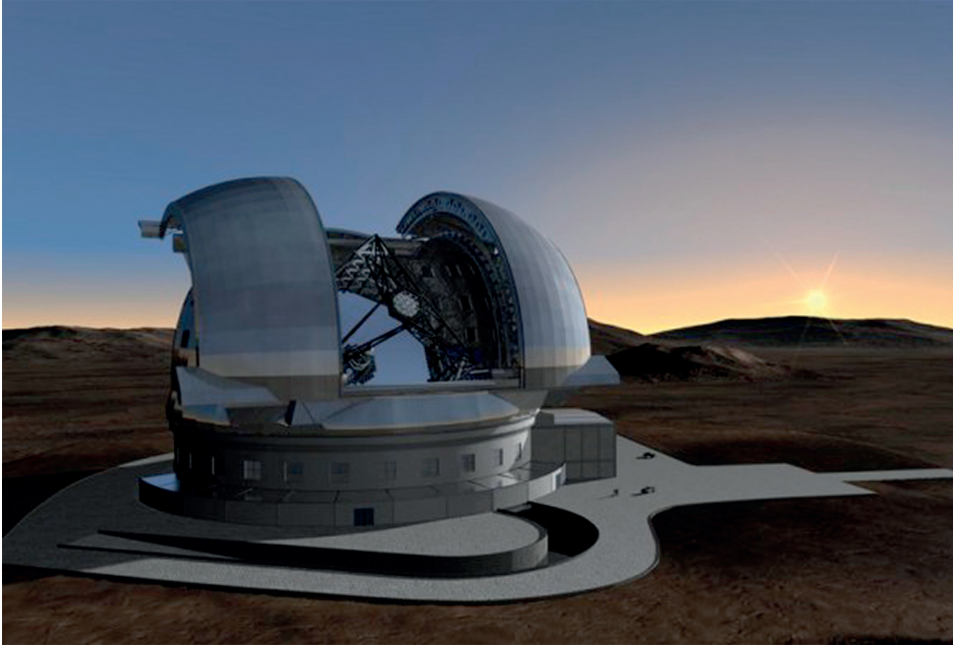
Az ESO-csatlakozás és az azt követő felzárkózási időszak minél sikeresebbé tételére a magyar csillagászközösség már most is sok mindent megtehet. A legfontosabb az ESO műszereinek rendszeres használata (többnyire ESO-tagországbeli kollégákkal együttműködve), hiszen így épül be fokozatosan az ESO a magyar csillagászati kultúrába. Fontos, hogy az egyetemi oktatásban hangozzék el minél több információ az ESO-ról, legyen a fiatal generáció számára magától értetődő az ESO műszereire való pályázás. Ha mód nyílik rá, kezdeményezni kell a műszerfejlesztésekben való magyar részvételt. A személyes kapcsolatok kiépítését segíti az ESO által szervezett konferenciákon, iskolákon való részvétel. Nagy előrelépés, hogy Magyarország bekerült az ESO ismeretterjesztő programjába, így most már az eso.org oldalon a magyar nyelv is kiválasztható, és az ESO sajtóközleményeit folyamatosan fordítjuk magyarra Szabó Róbert vezetésével. Nem lehet eléggé hangsúlyozni az ESO Studentship Programme-ban való rendszeres magyar részvétel jelentőségét. E kétoldalú képzési formában egy magyarországi egyetem doktori programjába beiratkozott hallgató egy-két éves vendégkutatását finanszírozza az ESO. A Garchingban vagy Santiago de Chilében töltött idő során a hallgató kapcsolatrendszert épít, és elsajátítja néhány élvonalbeli ESO-műszer használatát. Szinte felbecsülhetetlen annak a pozitív következménye, ha a magyarországi csillagász PhD-hallgatók jelentős százaléka részt venne ebben a képzésben, s a következő kutatógeneráció már magától értetődően használná az ESO berendezéseit. Végül nagyon fontos annak a hangoztatása és megértése, hogy az ESO-csatlakozás nemcsak a műszereken való megfigyelési lehetőség megszerzéséről szól, hanem ennél sokkal több: az ESO olyan szervezet, amely oktatási programjain, konferenciáin, technikai és tudományos projektjein keresztül a legmodernebb kutatási módszerekre tanítja a részt vevő tagállamokat.

## AZ ELT ÉS A METIS

Az ESO által a Paranal Observatóriumban üzemeltetett négy egyforma, 8,2 m tükörátmérőjű nagy távcső már most is a megfigyelési csillagászat egyik legnagyobb teljesítményű műszeregyüttese. A továbblépés érdekében azonban már elkezdődött a 39 m tükörátmérőjű Extremely Large Telescope megépítése Paranal szomszédságában (2. ábra). A Föld legnagyobb távcsöve tulajdonosaként az ESO 2024 után világvezető pozíciót foglal el, és ebben részesülhet Magyarország is tagsága esetén. Az új óriástávcső műszereinek fejlesztése már folyik. A CSFK Csillagászati Intézet mérnökei egy most induló holland–magyar együttműködés keretében hozzájárulnak az ELT közép infravörösben észlelő műszere, a Mid-infrared ELT Imager and Spectrograph (METIS) megépítéséhez. Reményeink sze-



rint a műszer elkészültét és az ELT „első fényét” Magyarország már az európai csillagászközösség teljes jogú tagjaként ünnepelheti.



**2. ábra.** Az ESO ELT távcsövének látványterve. A 2024 után elkészülő óriástávcső a világ csillagászatának zászlóshajója lesz (ESO)

# 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 pontos

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 színeképvonalainak 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 felismeréseiért).

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 példakkal 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 űrtávcsövek 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 színeképelemző 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 bolygó légkörben 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 űrtávcsöve, 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 hűtőrádiátorok 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 CHEOPS-hoz 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 kerin-gési 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>

## Tanulmányok

# A FEJLŐDÉS-GAZDASÁGTANTÓL A MULTIDISZCIPLINÁRIS FEJLŐDÉSTAN FELÉ<sup>1</sup>

## FROM DEVELOPMENT ECONOMICS TOWARD A MULTIDISCIPLINARY SCIENCE OF DEVELOPMENT

Szentes Tamás

az MTA rendes tagja, professor emeritus, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest  
tamas.szentes@uni-corvinus.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

A második világháború után a *fejlesztés-gazdaságtan* mint a harmadik világ gyengén fejlettségével foglalkozó sajátos tudományág jelent meg, többé-kevésbé elkülönülten a közgazdaságtanon belül vagy azon kívül. Amíg a konvencionális ortodox elméletek a gyengén fejlettséget belső tényezőkkel magyarázták, az ellentétes heterodox elméletek a külső okokkal. A harmadik világ felgyorsult differenciálódása és a globalizálódás hatása mindinkább nyilvánvalóvá tette, hogy a gyengén fejlettséget és általában a fejlődést, amelynek nemcsak gazdasági, hanem számos más aspektusa is van, egyaránt meghatározzák a különféle, egymással kölcsönhatásban lévő belső és külső tényezők. A fejlesztés-gazdaságtan nem lehet megfelelő elnevezés a fejlődés széles, a fejlett országokra is vonatkozó témaköre számára, amely egy multidiszciplináris társadalomtudományi ágazatot kíván. Sőt, a globális problémák fényében, mint amilyen különösen a fejlődés fenntarthatósága, egy mindent átfogó multidiszciplináris fejlődéstanra lenne szükség, amely nemcsak a fejlődést elősegítő tényezőkre és körülményekre koncentrálna, hanem a fejlődési folyamatot megszakító olyan váratlan eseményekre is, mint a globális válságok, természeti katasztrófák, világjárványok stb., és vizsgálja azt is, hogyan kerülhetők el, illetve hogyan lehet hatékonyan leküzdeni következményeiket.

### ABSTRACT

After the Second World War ‘development economics’ appeared more or less separately both within and outside economics, as a special division of science focusing on the underdevelopment of the Third World. While conventional, orthodox theories explained the latter by internal causes, the opposite heterodox conceptions by external ones. The accelerated differentiation of the Third World and the effects of globalisation have made increasingly obvious that underde-

<sup>1</sup> E cikk megírására Csaba Lászlónak *A fejlődéstan apoteózisa* címmel a *Magyar Tudomány* ez évi első számában megjelent írása készített. Cikkemben a megállapítások nagy részének részletes kifejtését főként az irodalomjegyzékben felsorolt könyveim tartalmazzák.

velopment as well as development in general, which involve not only economic but also a great many other aspects, are determined both by various internal and external factors interacting with each other. Development economics cannot be the adequate title for the wide topic area of development, related to the advanced countries as well, which requires a multidisciplinary social science division. Moreover, in the light of common international problems, such as especially sustainability of development, an all-embracing multidisciplinary science of development is needed, which focuses not only on factors and conditions promoting development but also on unexpected events interrupting it, such as global crises, natural catastrophes, pandemics, etc., and investigates how to prevent them or overcome their consequences efficiently.

**Kulcsszavak:** kivonásos módszer, unilineáris fejlődés, aszimmetrikus függőségek, gazdasági-társadalmi dezintegráció, centrum-periféria, globalizáció, fenntartható fejlődés

**Keywords:** subtraction approach, unilinear development, asymmetrical interdependencies, economic and social disintegration, centre-periphery, globalisation, sustainable development

A 'fejlődés' fogalma – legáltalánosabb értelemben és minden élő organizmusra vonatkozóan (így az egyes emberek esetében éppúgy, mint az egyes társadalmi közösségek, országok, régiók és az egész emberiség esetében is) – azt a jobbitó folyamatot jelenti, amely egy alacsonyabb szintű minőségből a minőség magasabb szintjeihez vezet, mégpedig a változó természeti és társadalmi, illetve nemzetközi környezethez való igazodás kényszere miatt, illetve céljából. Minthogy tehát minőségi váltást, illetve váltásokat foglal magában, meg kell különböztetni a 'növekedés' fogalmától, amely csupán mennyiségi változást, gyarapodást fejez ki. Ez utóbbi ugyan nélkülözhetetlen feltétele a fejlődésnek, de lehet éppenséggel azzal ellentétes irányú, illetve hatású is. (Példa erre a rosszindulatú daganat növekedése valamely élő emberi szervezetben.) A fejlődés folyamatában a magasabb minőségi szintnek nemcsak az elérése, de a megtartása is állandó megújulást kíván.

A fejlődési folyamatnak és e folyamat indítékainak, előrelendítő, illetve akadályozó tényezőinek, valamint hatásainak és következményeinek a vizsgálata régóta foglalkoztatja a tudomány művelőit – az élő természettel, a növényzettel, állatvilággal, valamint magával az emberrel foglalkozó tudósokat éppúgy, mint az emberi közösségeket tanulmányozó társadalomtudomány művelőit.

A *modern közgazdaságtannak*, különösen előzményeinek a *főbb elméleti irányzatai* (a merkantilista és a fiziokrata koncepcióktól kezdve a klasszikus közgazdaságtanon és a marxi politikai gazdaságtanon át a neoklasszikus és a keynesi elméleti irányzatig) már korábban is foglalkoztak az egyes országok gazdaságának, illetve általában a nemzetgazdaságok fejlődésének problematikájával<sup>2</sup> (és

<sup>2</sup> Michael Paul Todaro szerint „...azt is lehetne állítani, hogy Adam Smith volt az első »fejlődés-gazdász«, és hogy az ő 1776-ban megjelent *Nemzetek gazdagsága* című munkája volt a gazdasági fejlődésről szóló első értekezés...” (Todaro, 1997, 7.).

többnyire kitértek a különböző, illetve az ideálisnak tartott gazdasági rendszerek kérdésére is).

A második világháború után azonban a 'fejlődés-gazdaságtan' (illetve 'fejlődés-tanulmányok'<sup>3</sup>) elnevezéssel megjelent tudományágazat (miként a *komparatív gazdasági rendszerek tana*, vagyis a gazdasági rendszerek összehasonlító elemzése is) *sajátos tartalmú és témakörű tudományágazatként némileg önállósult* – részben a közgazdaságtanon belül, többnyire annak fő áramlata (mainstream) ortodox nézeteit és szemléletét tükrözve, részben azon kívül, más társadalomtudományi ágazatok heterodox irányzatához kapcsolódva. Eredetileg csupán a gazdaságilag elmaradott, *gyengén fejlett*, illetve fejlődő országok, vagyis a harmadik világ fejlődési problematikájára vonatkoztatott diszciplínaként jelent meg, vagyis *mind földrajzi, mind tematikai értelemben korlátozott tudományágazatként*.<sup>4</sup>

A konvencionális közgazdaságtan neoliberais *fő áramlatán* belüli fejlődés-gazdaságtan korai irodalma a társadalmak fejlődését általában a *gazdasági növekedés-sel* azonosította, és a történelmi előzményektől<sup>5</sup> éppúgy, mint a nemzetközi viszonyoktól elvonatkoztatva kezelte.

A *történelmi megközelítés kiiktatása* a vizsgált jelenség *kész adottságként* való értelmezésével járt együtt. Ez mutatkozott meg a gyengén fejlett országok elmaradottságának kizárólag vagy döntően különféle *belső tényezőkkel*<sup>6</sup> vagy azok *sajátos, ördögi körben*<sup>7</sup> összekapcsolódó mechanizmusával való magyarázataiban. A nemzetközi viszonyoktól és világgazdasági hatásoktól való elvonatkoztatás *a kritikai szemlélet kiiktatását* is jelentette.

Az ökonomista szemléletnek tökéletesen megfelelt a fejlettségnek, illetve elmaradottságnak az a gazdaságra leegyszerűsítő értékelése és számokban kifejezett mérése, amely az *egy főre eső GDP* mutatószámát alkalmazta. Ez egyszersmind *a mennyiségi szemlélet érvényesülését* is jelentette.

<sup>3</sup> Azok, akik a *fejlődés-gazdaságtan* (development economics) kifejezést eleve ökonomista szemléletet kifejező elnevezésnek tartották, illetve tartják, már korábban is inkább a 'fejlődés tanulmányok' (development studies) elnevezést alkalmazták. Mások viszont a fejlődés-gazdaságtannak a *hagyományos közgazdaságtantól* eleve eltérő természetét és az ökonomista szemlélettel való szakítását hangsúlyozzák.

<sup>4</sup> Todaro szerint a fejlődés gazdaságtana „sem több, sem kevesebb, mint a korunkbeli szegény, gyengén fejlett, harmadik világhoz tartozó nemzetek gazdaságtana” (Todaro, 1997, 7).

<sup>5</sup> A sokáig bestsellernek számító könyv szerzője, Harvey Leibenstein azzal kezdte a gazdasági elmaradottság okának magyarázatát, hogy „vegyük ki az intellektuális kérdést a történelmi összefüggésekből” (Leibenstein, 1957, 3.).

<sup>6</sup> A gazdasági elmaradottság okaiként leggyakrabban a következő belső tényezőket említették: *a természet mostohasága, a túlnépesedés, a munkaerő gyenge minősége, a nép elmaradottsága, a tőkehiány, a belső piac szűkössége.*

<sup>7</sup> Az elmaradottság, illetve szegénység *ördögi köre* koncepciójának legkifejezőbb megfogalmazása szerint „egy ország azért szegény, mert szegény” (Nurske, 1952, 256.).

A fejlődés-gazdaságtan e konvencionális irodalmára jellemző volt az is, amit André Gunder Frank (1967) „kivonásos megközelítési módnak” (subtraction approach) nevezett el. Ez azt jelenti, hogy a már fejlett országok egyfajta idealizált és általánosított modelljének tipikus vonásai listájából mintegy *kivonják* a gyengén fejlett fejlődő országok egyfajta negatív értelemben *idealizált* és általánosított modelljének tipikus vonásait. Az utóbbiaknál megjelenő mínuszok (vagyis hiányok) és pluszok (vagyis fejlődésgátló tényezők) halmaza adja az elmaradottság magyarázatát. Ez a *kivonásos módszer* nemcsak azért kifogásolható, mert az egyik oldal *idealizált* modelljét veti egybe a másik, degradált oldallal, hanem azért is, mert *történelmietlen és tudománytalan* az a feltevés, hogy az ily módon *kivonással* összehasonlított országmodellek *egymástól függetlenül*, szuverén módon jöttek létre és alakultak, nem pedig a globalizálódó világgazdaságon belüli kölcsönhatások közepette.

Bizonyos értelemben hasonló szemlélettel jelentek meg olyan *történelmi magyarázatok* is, mint például Walt Whitman Rostow művében (1960), amelyek a fejlődés *unilineáris jellegét* tételezték fel, vagyis *univerzálisan* (minden ország esetében) azonos és többé-kevésbé *egyenes vonalú* pályán előrehaladó folyamatként értelmezték, és így a harmadik világ országainak elmaradottságát a fejlődés egyik korábbi, természetes szakaszaként fogták fel. Az ilyen *szakaszelméletek* szemlélete azért történelmietlen, mert figyelmen kívül hagyja azt, hogy a fejlődésben *későn jövők*, illetve felzárkózni törekvők számára nemcsak a technikai fejlődés, hanem a már magasabb fejlődési szakaszban lévő országok létezése és hatása miatt is megváltoztak a körülmények.

A valóság mindinkább rácafélt a történelmietlen, a megfigyelhető jelenségeket kész adottságokként, értelmező és a nemzetközi viszonyoktól is elvonatkoztató elméleti koncepciókra. Így azután előtérbe kerültek a konvencionális *ortodox* nézetekkel ellentétes, a harmadik világ országainak elmaradottságát a gyarmatosítás következményeként értelmező (Rodney, 1974), illetve azoknak a fejlett kapitalista országoktól való függőségével magyarázó és a fennálló tőkés világrendet elutasító, vagyis rendszerszemléletű<sup>8</sup> *kritikai*, illetve *heterodox felfogások*.

Azonban ezek egy részét is a nagyfokú leegyszerűsítés jellemezte, amennyiben a külső tényezőknek csupán a káros hatását, a függésnek csak egyirányú jellegét hangsúlyozták, figyelmen kívül hagyva a kettős hatásokat és az interdependenciákat<sup>9</sup>. Így nem derülhetett fény *a függőség különféle formáiból adódó*, annak egyirá-

<sup>8</sup> Ez utóbbiak a *poszt-keynesiánus reformista irányzat*, illetve a latin-amerikai *dependencia iskola* némely jeles képviselőjének (pl. Thomas Balogh, Hans Singer, Albert Otto Hirschman, François Perroux, Raúl Prebisch, Celso Furtado, Theotônio dos Santos), valamint egyes *neomarxista*, illetve *újbaloldali* teoretikus (pl. André Gunder Frank, Samir Amin, Immanuel Wallerstein, Arghiri Emmanuel) írásaiban jelentek meg.

<sup>9</sup> Minthogy az interdependencia (kölcsönös függőség) fogalma a felek azonos mértékű függésének feltételezését sugallja, az egyenlőtlen helyzetű felek közötti kölcsönös, de nem egyenlő mértékű függést az 'aszimmetrikus interdependencia' fogalmával lehet kifejezni.

nyúsága és intenzitása csökkentésére felhasználható *manőverezési lehetőségekre*. A függőség alternatívájaként pedig a *függetlenség*, a gazdasági függés felszámolására az autarkia anakronisztikus, nemcsak a globalizáció, hanem a belső struktúrák miatt is irreális politikája, a *lekapcsolódás* (de-linking), a fejlett országokkal való gazdasági kapcsolatok megszakítása jelent meg célkitűzésként. Ugyanakkor ezeknek az elméleti irányzatoknak a *kritikai szemlélete* előrelépést jelentett az elmaradottság okainak elemzésében és így a fejlődés-gazdaságtan történetében is.

A garmati rendszer összeomlását követő évtizedekben egyre inkább felgyorsult a *harmadik világ differenciálódása*. Egyes fejlődő országok (mint például a délkelet-ázsiai *kis tigrisek*) sikeres fejlődése, mások fejlődési kudarca (mint például a *legkevésbé fejlett országok* sorába visszaesőké) mindinkább rávilágított arra, hogy a fejlődést, illetve a fejlődésbeli lemaradást a *külső és a belső tényezők együttesen, kölcsönhatásban* határozzák meg. Ez a külső és belső tényezők közötti kölcsönhatás különösen vonatkozik a világgazdaságban létrejött, *különbféle formákban megnyilvánuló interdependenciák és az adott országon belüli gazdasági-társadalmi integráció, illetve dezintegráció* közötti összefüggésekre.

A világgazdaságban kialakult, *terjedő és mélyülő interdependenciák*, amelyek megkülönböztethetően, de egymással is összefüggésben éppúgy fellelhetők a nemzetközi kereskedelem és munkamegosztás<sup>10</sup>, mint a nemzetközi tőke-, technológia-, információ- és munkaerő-áramlás, illetve migráció<sup>11</sup>, valamint az

<sup>10</sup> A nemzetközi munkamegosztás rendszerében az erősebb vagy gyengébb *strukturális pozíció* és ezzel a specializációból származó előnyök realizálhatóságának mértéke is attól függ, hogy az adott nemzetgazdaságban hol és milyen széles területen található *hiányzó láncszemek*, illetve kialakultak-e és milyen mértékben a korra jellemző, dinamikus értelemben vett húzóágazatok, *döntő láncszemek*. A gazdasági és technológiai fejlődés nyomán sokasodnak az újratermelési folyamat horizontális szférái és vertikális láncszemei, a nemzetközi munkamegosztás és szakosodás következtében viszont egyre több hiányzó láncszem képződik – a természeti adottságoktól függetlenül is – még a legnagyobb és legfejlettebb gazdaságokban is. Ezért változnak a húzóágazatok, illetve az értéklánc *döntő láncszemei*.

<sup>11</sup> A különösen Afrikában hagyományos, kontinensen belüli vándormunka-rendszernek és az *új típusú nemzetközi migrációnak* a kibocsátó országok, illetve országon belüli közösségek, szektorok fejlődésére gyakorolt hatása annyiban hasonló, hogy a legfontosabb erőforrást, az emberi munkaerőt vonják el, ezáltal újabb elvándorlásokra készítve és ily módon konzerválva az elmaradottságot. Ezt csak a későbbi visszaáramlás enyhítheti, annak mértékétől és a visszatérő munkaerőnek másutt szerzett hasznos tapasztalataitól, képzettségétől, minőségjavulásától is függően, valamint a visszatéréskor magával vitt vagy távolléte alatt rendszeresen hazautalt jövedelem nagysága.

Lényeges különbség viszont nemcsak az, hogy az új típusú nemzetközi migráció nagyrészt interkontinentális, és ezért is kisebb a visszaáramlás aránya, hanem az is, hogy zömében már iskolázott fiatalok tömeges kiáramlását és a fejlett országokban való remélt letelepedését jelenti. Ez a kibocsátó országok számára súlyosabb fejlődési hátrányt okoz, és egyszersmind a fiatal migránsok oktatására fordított erőforrások elvesztésével is együtt jár. E hátrányt és veszteséget némileg ellensúlyozhatja ugyan a migránsok jövedelme egy részének rendszeres hazautalása, ez viszont az *aszimmetrikus interdependenciák egy újabb pénzügyi változatát* jelenti. A nemzetközi

adós-hitelezői és a monetáris viszonyok terén, igen *aszimmetrikus* szerkezetűek, vagyis *nem egyenlő partnerek közötti kölcsönös függőségek*. A gyengén fejlett országok az aszimmetrikus interdependenciák rendszerében általában alárendelt, kedvezőtlenebb és a fejlett partnerekkel szemben nagyobb mértékben függő és sebezhető helyzetben vannak.

A *gazdasági-társadalmi dezintegráció* a gazdaságnak is és a társadalomnak is a kettészakadását, a gyengén fejlett országokban egy viszonylag modern szektor és a múltból fennmaradt hagyományos szektor tartós együttlétét, *dualizmusát* jelenti, és olyan *függőségi és funkcionális viszonyt* testesít meg, amelyben az elmaradott hagyományos szektor a modern szektornak az alárendelt (főként olcsó munkaerővel és nyerstermékekkel) kiszolgálója. Ez a dezintegráció és funkcionális viszony erősen hat nemcsak a belső piac és a tőkeképződés, vagyis a megtakarítási és beruházási hajlam alakulására, hanem a munkaerő minőségére, sőt a népesedésre, a demográfiai tendenciára is. Mindezekben felül nem csekély a hatása a társadalmi rétegződésre, szubkultúrák kialakulására, az elit magatartására, a kormányzati politikára és annak változásaira, a bürokrácia és a korrupció terjedésére stb. is. Egyszersmind szükségessé teszi a gazdaság és társadalom állapotának, fejlődésének nemcsak makroszintű, hanem szektorokra, illetve rétegekre lebontott, azok változásait figyelő mikroszintű vizsgálatát is.

A harmadik világ felgyorsult differenciálódása mindinkább nyilvánvalóvá tette az elmaradottság egyoldalú magyarázatai és az ökonomista szemlélet tartahatatlanságát, következésképpen azt is, hogy a fejlettség, illetve elmaradottság színvonalának mérésére az egy főre eső GDP mutatószáma – bármennyire is szükséges, de – semmiképpen sem elégséges.<sup>12</sup> A szélsőséges nézetek háttérbe szorulása, illetve revidálása egyfajta *konstruktív eklekticizmus* irányzata számára nyitott teret.<sup>13</sup>

A fejlődés-gazdaságtan témakörét és helyzetét viszont más fejlemények is módosították. *A világgazdaság első globális*<sup>14</sup> válsága az 1970-es évek első felében

---

migrációnak persze sok más következménye, kedvező vagy kedvezőtlen hatása is van, amelyekre e cikk keretében nincs mód kitérni. (Ehelyett lásd a *Magyar Tudomány* 2019/1 számában megjelent vonatkozó cikkeket.)

<sup>12</sup> Az egy főre eső GDP mutatószámának kiegészítésére más gazdasági mutatószámok, sőt egyszerre több, nem gazdasági mutatószámokat is felölelő olyan összetett index alkalmazására is sor került, mint amilyen a Human Development Index. A fejlettségi szint mérésére azonban önmagában véve egyetlen mutatószám sem lehet megfelelően pontos és megbízható.

<sup>13</sup> Az ellentétes álláspontok megmaradtak ugyan, de jobbra már csak a hangsúlyban különböztek, miközben a fennálló nemzetközi viszonyok és gazdasági rend kritikája és megreformálásának igénye éppúgy, mint egyes fejlődő országok korrump kormányzatának bírálata egyre inkább elfogadottá vált. Ugyanakkor nemcsak a közgazdaságtanon belül, hanem az államok gyakorlatában nemzetközileg is a neoliberális maradt a fő irányzat.

<sup>14</sup> Amíg az 1929-es válság annak *nemzeti* epicentrumából a nemzetközi kapcsolatok révén tovaterjedő válság volt, az 1970-es évek válsága már a világgazdaság strukturális és intézményi

*súlyosan érintette a fejlett országokat is.* Egyszersmind aláásta azt a feltételezést is, hogy a fejlődés-gazdaságtan csupán a gyengén fejlett országokra, vagyis a harmadik világra vonatkozhat, a fejlett országokra nem, mivel azok már az *önfenntartó gazdasági növekedés* szakaszában vannak, nem szorulva rá minőségi, konkrétan strukturális és intézményi változásokat is felölelő *fejlődésre*. Ráadásul, a globalizálódás és a regionális integráció nyomán, továbbá a rendszerváltozások következtében is (miként a volt *szocialista* országokban), valamint a tudományos és technológiai forradalmak és a transznacionális társaságok globális beruházási politikája folytán a *strukturális és intézményi változások* mindenütt szükségessé váltak.

A tudományos-technológiai forradalmak korában már nemcsak a dinamikus iparágak rangsora és a húzóágazatok, *döntő láncszemek* anyagi termelés vertikumán belüli helye változik, hanem a széles értelemben vett, vagyis az elosztás és fogyasztás megismétlődését és a vonatkozó információk áramlását is magában foglaló újratermelési folyamat technológiája is. A *kutatási és fejlesztési kapacitások* válnak mindinkább és általában is a strukturális pozíciót és a fejlődési ütemet is meghatározó *döntő láncszemekké*, illetve tényezőkké. Az ezen a téren mutató markáns aszimmetria csökkentése a termelési struktúrák módosításánál is nagyobb és hosszabb távú feladatot, a szellemi erőforrások, a képzés, oktatás és kutatóhálózat fejlesztését és a modern információs technológia széles körű alkalmazását írja elő.

A természetes nyersanyag- és energiamegtakarító, illetve -helyettesítő technológiák megjelenése és elterjedése, továbbá az elektronika, illetve elektronizáció újabb fejleményei, az informatika és a kommunikáció rohamos fejlődése, a robottechnika, valamint a biotechnológia új vívmányai stb. már nemcsak a természeti feltételek és földrajzi helyzet nyújtotta viszonylagos előnyöket szorította háttérbe, hanem az alacsonyabb bérszínvonal által szerezhető komparatív előnyöket is. Nevezetesen azokkal a további fejlődést és a világgazdasági pozíciót is meghatározó előnyökkel szemben, amelyeket a *szellemi erőforrások és a K+F-* (kutatási és fejlesztési) *kapacitások* birtoklása és az azokhoz kapcsolódó *mikroelektronika* fejlettsége biztosíthat.

A *globalizáció* nyomán kiéleződő világpiaci verseny és a transznacionális társaságok globális beruházási politikája, valamint a neoliberalizmus hatása kikezdte a fejlett nyugati országokban a II. világháború után kifejlődött *jóléti állam és szociális piacgazdaság* vívmányait, sőt egész rendszerét is. Egyre markánsabban mutatkoztak meg a *dezintegráció* jelenségei és hatásai (néhány iparágak kitelepítése miatt vagy a zömében migránsokból álló szubproletariátus gyarapodása következtében). A volt „szocialista” országokban pedig a rendszerváltás folytán teljességgel összeomlott a társadalombiztosítás korábbi rendje, és egy szűk társadalmi réteg tör-

---

válságaként értelmezhető, amennyiben végső soron a világgazdaság egyenlőtlen viszonyaiból fakadó strukturális egyensúlytalanságnak és a globalizálódással nem kompatibilis nemzetközi intézményi rendszer működési zavarának volt a következménye.



ténelmileg páratlan gyorsaságú meggazdagodása mellett újra megjelent a tömeges szegénység, munkanélküliség és hajléktalanság. Így a gazdagság és a szegénység, a jólét és a nyomor kettőssége, *a fejlettség és az elmaradottság, a centrum és a periféria dichotómiája* a fejlett nyugati és a volt „szocialista” országok társadalmának éppúgy jellemzőjévé vált, mint a világgazdaság egészének.

E fejlemények fényében *a fejlődés-gazdaságtan már nem maradhatott a fejlődő országok* sajátos esetére *leszűkített témakör*. A fejlődés tartalmának és mikéntjének kérdése a már fejlett és a volt „szocialista” országokra is vonatkoztatandó, vagyis általános, sőt egyre inkább globális problémaként jelent meg. *Változások* következtek be nemcsak a fejlődés-gazdaságtan helyzetében és a szemléletmódban<sup>15</sup>, hanem *a fejlődés követendő modelljének, illetve útjának a megítélésében* is. A „létező szocializmus”, vagyis a szovjet modell a fejlett országok kapitalizmusát bírálók számára sem lehetett többé követendő példa. Másfelől egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy a fejlett országok modellje és fejlődésútja korántsem olyan, amilyen világszerte követhető lenne. Annak anomáliái (a társadalmi egyenlőtlenségek mélyülése, a *fogyasztói társadalom* mértéktelen pazarlása, a spekuláció és korrupció növekvő szerepe, a politikai demokrácia torzulása, az erkölcsi és kulturális hanyatlás, az erőszak és a pornográfia terjedése stb.) bírálatában megszületett a *rosszul fejlődés* (maldevelopment) fogalma is.

A fejlett országoknak a meg nem újítható természeti erőforrásokkal való rablógazdálkodása fényében, valamint a gyengén fejlett országoknak nemcsak a mind súlyosabbá váló demográfiai, *túlnépesedési* problémájával, hanem a már fejlettek példáját, főként iparosodását és fogyasztási szokásait követő fejlődésével kapcsolatban is már az 1970-es és 1980-as években felvetődött *a természeti környezet károsításának, illetve a természeti erőforrások kimerülésének veszélye*.<sup>16</sup> A későbbiekben mindinkább globális problémává vált a fejlődés meglévő típusának és eddigi menetének *kedvezőtlen ökológiai hatása*, és újabban a már megtapasztalt *klimaváltozás* és gyakoribbá váló természeti katasztrófák ügye.

Mindez felvetette általában is a fejlődés fenntarthatóságának kérdését. A ’fenntartható fejlődés’ fogalma és követelménye kezdetben meglehetősen leszűkített,

<sup>15</sup> Mindinkább háttérbe szorult az a neoliberais felfogás is, amely a közgazdaságtan *mainstreamjét* még változatlanul uralta. A nemzetközi fejlődésszakadék okaival, a gyengén fejlett országok helyzetével, illetve a tömeges szegénység globális jelenségeivel foglalkozó tudósok közül még azok is, akik korábban neoliberais nézeteket vallottak (mint például a Nobel-díjas Paul Krugman), mindinkább kritikai álláspontot foglaltak el a *Washington Konszenzusként* elhíresült, a Világbank és különösen a Nemzetközi Valutaalap (IMF) segélyezési, illetve hitelezési politikájában megjelent elvekkkel, az eladósodott fejlődő országok számára előírt követelményekkel szemben.

<sup>16</sup> Lásd nemcsak a Római Klub jelentéseit, hanem az Egyesült Nemzetek Kereskedelmi és Fejlesztési Konferenciája (UNCTAD) egyik szakértői bizottságának a fejlődés és a természeti környezet kapcsolatával foglalkozó egykori értekezletét. Ez utóbbi már akkor hangsúlyozta az ökológiai problémának a gyengén fejlettséggel, illetve a forráshiányokkal való összefüggését.

pusztán ökológiai értelmezést nyert. Mindinkább nyilvánvalóvá vált azonban, hogy az ökológiai problémák (miként más olyan globális problémák is, mint a világgazdasági válságok, a terrorizmus globalizálódása, a járványok gyors terjedése, a tömeges nemzetközi migráció) nagyon is összefüggnek a nemzetközi és az országokon belüli fejlődési egyenlőtlenségekkel, az elmaradottság és szegénység, másfelől a kirívó luxus és felelőtlen pazarlás jelenségeivel stb. Ezért a természeti környezet védelme, a természeti katasztrófák elleni védekezés és a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás, valamint a világjárványok megelőzése, illetve leküzdése egyszerre mind gazdasági, társadalmi, politikai, sőt kulturális feltételeket és követelményeket is támaszt. Sőt, nemcsak nemzetközi megállapodásokat és országokon belüli társadalmi egyetértést igényel, hanem összefogást és minden szinten, így mikroszinten és az egyének szintjén is, konkrét cselekvést, illetve magatartás-változást.

Ma már e globális problémák fényében nemcsak a fejlődés fenntarthatóságának, hanem egyáltalán az *emberiség fennmaradásának* a kérdése is felvetődik, amennyiben azok megoldására nem kerül időben sor. Mindez új és sokkalta összetettebb, valamint változó tartalmat ad a fejlődés problematikájának, amely a társadalomtudomány *határain* (?) is túlmenő multidiszciplináris és holisztikus szemléletű vizsgálatot kíván.

#### NÉHÁNY KÖVETKEZTETÉS, ILLETVE TANULSÁG

1. Az emberi társadalom nemcsak alkalmazkodni kénytelen a változó környezethez és természeti körülményekhez, hanem a saját tevékenysége által okozott problémák megoldására újabb és újabb ismeretek és technikák kimunkálására, alkalmazására, majd az ennek nyomán is képződő újabb *kihívások* megválaszolására is kényszerül. Ebből következik a *fejlődési folyamat*, amely magasabb minőségi szintekhez vezet, de *soha nem lehet befejezett*, nem korlátozódhat csak a gazdaságra, és nem egyszerűsíthető le a mennyiségi növekedés folyamatára.
2. Mivel a társadalmi fejlődés *az élet minden területét érintő*, a gazdasági, politikai, intézményi, szociális, egészségügyi, kulturális, sőt morális viszonyokkal, a technikai-technológiai haladással és a természeti környezet változásával is összefüggő, valamint és nem utolsósorban a nemzetközi viszonyok alakulásától, a globalizáció hatásaitól is függő folyamat, ezért a fejlődés problematikája eleve *multidiszciplináris vonatkozású*. Következésképpen tudományos vizsgálata legalábbis interdiszciplináris szemléletet kíván, és nemcsak elemzésében, hanem a megoldásokra irányuló cselekvésekben is minden szintnek jelentősége és egymással összefüggő szerepe van.
3. Miként az emberi szervezet sem fejlődhet csupán egyes testrészek fejlődése, megfelelő tápellátása esetén, úgy az emberi társadalomnak, mind az egyes

- országok társadalmának, mind pedig a világ társadalmának a fejlődése sem lehetséges egyes rétegeknek, csoportoknak, illetve országoknak a fejlődés folyamatából és eredményeiből való tartós kirekesztése vagy kimaradása mellett. A fejlődés voltaképpen csak akkor lehet általános, ha az egyes országokon belül *a társadalom minden rétegére, nemzetközileg, illetve világszinten pedig minden országra kiterjed*, mindinkább biztosítva az esélyek egyenlőségét, a gyengén fejlettek felzárkózását, és minden szinten fenntarthatónak bizonyul ökológiailag, vagyis a természeti környezet károsodását kizárva, valamint gazdaságilag, társadalmilag és politikailag is.
4. A fejlődés kutatásában különösen fontos, de társadalomtudományi elemzésekben általában is nélkülözhetetlen követelmény *a történeti megközelítés és a holisztikus látásmód*, valamint *az oksági összefüggéseknek a dialektikus kauzalitás értelmében való feltárása* (vagyis az oknak és az okozatnak a hely és az idő függvényében történő meghatározása, és felcserélődésüknek, továbbá az okozat visszahatásának, valamint általában a részek és az egész közötti dialektikus kölcsönhatásoknak a figyelembevétele).
  5. Nem kevésbé szükséges és nélkülözhetetlen *a kritikai szemlélet*, mégpedig nemcsak a mindenkori kutatási eredmények, elméletek és módszerek vonatkozásában, hanem a fennálló viszonyok, társadalmi magatartások, kormányzati politikák, nemzetközi kapcsolatok stb. értékelésében is, de elfogultság, egyoldalúság, pártpolitikai vagy ideológiai befolyásoltság nélkül. A társadalomtudománynak egyébként is természetes és sajátos feladata a mindenkori gyakorlat bírálata, ami javításokra, jobb megoldásokra serkent.
  6. A világgazdaság kibontakozása óta *az egyes országok fejlődése egyaránt függ* (bár nem azonos mértékben) *belső és külső tényezőktől*. Következésképpen *a nemzetközi fejlődésszakadék* kialakulását és fennmaradását is egyaránt meghatározzák a részek, vagyis az egyes országok, illetve régiók fejlődésének egymásétól eltérő belső adottságai, feltételei, módozatai, valamint az ezeket befolyásoló, serkentő vagy gátló külső tényezők, illetve a világgazdasági rendszer egészének mozgásából fakadó hatások – miközben a globális *interdependenciák*, vagyis a világméreteket öltő kölcsönös függések egyre erősebbé és szövevényesebbé válása a részek viszonylagos autonómiáját mindinkább korlátozza.
  7. A világgazdaságban, annak résztvevői között kialakult kölcsönös függőségek általában *nem egyenlő partnerek közötti interdependenciák*, vagyis nem szimmetrikus szerkezetűek sem az áramlások, sem az állományok, sem pedig a partnerre gyakorolható befolyást és ellenőrzést jelentő tartós viszonyok intenzitása tekintetében. Így a nemzetközi kapcsolatokból származó viszonylagos előnyök és hátrányok, viszonylagos nyereségek és veszteségek sem egyenlően oszlanak meg a partnerek között. A nem egyenlő partnerek közötti egyenlőség általában növeli az egyenlőtlenséget.

Ezért az egyes országok fejlődése és világgazdasági pozíciójának javítása mindig is feltételezte az aszimmetrikus interdependenciák kedvezőbb oldala felé törekvést, illetve azoknak – a fejlettebb partnerek irányában is – a szimmetrikusabbá tételét.

8. A világgazdasági folyamatokból való kimaradás azonban, amelyet az elszigetelés idéz elő, még annál is kedvezőtlenebb hatású a nemzeti fejlődésre nézve, mint a nemzetközi interdependenciák rendszerében alárendelt szerepet és reprodukáló gyengén fejlettséget előidéző *perifériás* típusú fejlődés.
9. A fejlett országokhoz képest lemaradó országok gyengén fejlettsége és annak újratermelődése összefügg *belső gazdaságuk és társadalmuk dezintegrálódásával*. Újabbban a fejlett országok gazdaságában és társadalmában is jelei mutatkoznak a dezintegrációnak, ami esetükben is különféle, a nemzeti fejlődést gátló hatásokat von maga után. A globalizáció és a regionális integráció ugyan együtt jár a részt vevő országokon belüli dezintegráció veszélyével, ez azonban nem végzetes.

A mindjobban globalizált világgazdaságon belül *a nemzeti fejlődés sikerének egyik feltétele tehát a gazdaság és társadalom dezintegrációjának elkerülése, illetve felszámolása, vagyis a belső integrálódás*, illetve annak megőrzése. Ez mindenekelőtt a gazdaságon belüli *input–output* kapcsolatok fejlődésétől és a társadalmon belüli egyenlőtlenségek csökkenésétől, a társadalmi kohézió növekedésétől függ.

10. Az egyes országok fejlődését illetően a fenti néhány általános történelmi tanulság természetesen olyan *további tanulságokkal egészítendő ki*, amelyek a fejlődésnek más, nem kevésbé fontos politikai, intézményi, szociális, kulturális, morális, sőt szociálpszichológiai tényezőire, illetve feltételeire is vonatkoznak.
11. A fejlődés-gazdaságtan eddigi története és átalakulása – a fejlődési folyamat nemcsak gazdasági, hanem más aspektusainak, összetevőinek, illetve meghatározottságának fokozott figyelembevételével és a fejlődés problematikájának már nemcsak a harmadik világ országaira, hanem minden országra vonatkoztatásával, valamint vizsgálatának a makro-, vagyis országszinten kívül mindinkább a mikro- és globális szintre is kiterjesztésével – voltaképpen egy *multidiszciplináris társadalomtudományi fejlődéstan* kibontakozását jelzi.

Ezért a fejlődés-gazdaságtan elnevezés helyett, amely a szakirodalomban és az oktatásban is leginkább meghonosodott, de a fejlődéstanulmányok fogalma helyett is, amelyet sokan esettanulmányokként értelmeznek, helyesebb a *multidiszciplináris társadalomtudományi fejlődéstan* fogalmát alkalmazni az említett igen széles témakört felölelő tudományág elnevezésére. Annak ellenére is, hogy egy ilyen multidiszciplináris tudományág általános elfogadottsága nem kis akadályokba ütközik mind a meglévő nomenklatúrák és

akkreditációs szabályok, mind pedig az ezeket befolyásoló unidiszciplináris szűklátókörűség folytán.<sup>17</sup>

Ugyanakkor már a fenti értelemben vett *társadalomtudományi fejlődéstan*-nak, nem pedig a fejlődés-gazdaságtannak, a nemzetközi elismertségét jelezte korábban Gunnar Myrdal, később Amartya Sen Nobel-díja, és újabban ekként fogható fel a legutóbb díjazottaknak, Esther Duflo, Abhijit Banerjee és Michael Kremer kutatóknak a globális szegénység enyhítésére irányuló kísérleti tevékenységük, terepmunkájuk és annak a politikai hatása értékeléseként ebben a kitüntetésben részesítése (Csaba, 2020). Ez az elismerés akár a fejlődéstan megdicsőülésének is tekinthető, még ha a szóban forgó kitüntetés közgazdasági Nobel-émlékdíj is.

12. Még ha általánosan (így hazánkban is) elfogadottá válna és intézményesülné is a multidiszciplináris társadalomtudományi fejlődéstan, ma már ez sem lenne elegendő. A fejlődés kérdésével ugyan saját határain belül számos tudományág foglalkozik, így nemcsak az orvostudomány (az ember fejlődésével) és az antropológia (az egyes emberfajtákéval), valamint a biológia, illetve az állattan és a növénytan (az evolúcióval és az állatok és növények fejlődésével), hanem a geológia (Földünkével és szárazföldek, tengerek, folyók stb. kialakulásával) és a csillagászat (a bolygókéval stb.) is, azonban nincs még olyan tudományterület (kivéve bizonyos fokig az ökológiát és az evolúció tanát), amely a fejlődésnek az említettek által vizsgált jelenségei között meglévő bonnyolult, sőt változó összefüggéseket és kölcsönhatásokat kutatná.

Márpedig a fejlődés fenntarthatóságának, sőt az emberiség fennmaradásának, mindinkább égető problémája fényében egyre nagyobb szükség lenne egy olyan, *széles értelemben vett multidiszciplináris fejlődéstudományra*, amely túlmegegy a fentiekben jellemzett társadalomtudományi fejlődéstanon. Hiszen nemcsak a természeti erőforrások kimerítésének veszélye és a gazdasági válságok ciklikus ismétlődése, hanem a természet romboló erőinek megnyilvánulása, a természeti katasztrófák gyakorisága és súlyosbodása, az ökológiai egyensúly megbomlása, a klímaváltozás, valamint a nemzetközi fejlődésszakadékkal összefüggő tömeges migráció, a globalizálódó terrorizmus, továbbá a világjárványok megjelenése stb. is súlyos problémát jelent a fejlődés szempontjából általában és minden szinten.

<sup>17</sup> Akadémiánkon belül a tudományos bizottságok számának és taglétszámának – a *köztestületi akadémia* koncepciójával ellentétes – korlátozása és a szavazati jogú tagságnak csupán egyetlen bizottságban való megszerezhetősége eleve a multidiszciplináris bizottságok hátrányát okozza.

Egyébként hazánkban is létesült már egy valóban széles értelemben vett multidiszciplináris kutató és oktató intézet, nevezetesen a globális és országos problémákkal éppúgy, mint regionális kérdésekkel, így  *kreatív városok* kutatásával is foglalkozó kőszegi nemzetközi intézet, az Institute of Advanced Studies (IASK).

Ezért *minden tudományterület fejlődéssel*, illetve a fejlődés fenntarthatóságával *foglalkozó művelőinek* egy ilyen multidiszciplináris fejlődéstudomány keretében megvalósuló *együttműködése* lenne csak képes az említett és más fejlődési problémák összefüggéseinek eredményes kutatására és megfelelő megoldások feltárására. Természetesen, mindazoknak az új fejleményeknek, eredményeknek, alternatív megoldásoknak a figyelembevételével, amelyeket egyebek mellett a számítástechnika, elektronika, informatika, robottechnika, a biológia és genetika fejlődése, a geológiai és az űrkutatás vagy éppen az újabb csillagászati és archeológiai felfedezések mutatnak fel, és amelyek új megvilágításba helyezhetik az emberiség fejlődésének (sőt, Földünkének is) a történetét és jövőjének várható alakulását is.<sup>18</sup>

Mivel pedig az emberiség fejlődéstörténete egyszersmind a rajta kívül álló vagy éppen saját maga által okozott kedvezőtlen változások ellenében a fennmaradásért vívott küzdelmek története is, korunkban pedig a fejlődés fenntarthatósága már az emberi faj fennmaradásának feltétele is, ezért egy új, multidiszciplináris fejlődéstudománynak már nem elegendő – még országszinten sem – csupán a fejlődés mozgatóerőit, dinamikus tényezőit, pólusait és tovagyűrűző hatásait biztosító kapcsolódások meghatározására összpontosítania.<sup>19</sup> Ezen túlmenően behatóan kell vizsgálnia *a fejlődési folyamat megszakadásával együtt járó váratlan események, válságok, terrortámadások, illetve háborús cselekmények és a mind gyakrabban bekövetkező természeti katasztrófák, valamint világjárványok elleni védekezés és a megfelelő reagáló és átalakító képességek*<sup>20</sup> intézményi biztosításának módozatait, továbbá a széles körű együttműködésnek<sup>21</sup>, valamint a

<sup>18</sup> Sajnos, az említett új problémáknak a kutatása ma még inkább csak szórványosan és elkülönülten folyik, ha egyáltalán, ami a multidiszciplinaritás már említett korlátainak is köszönhető. Ilyen egyebek között a pályázatok rendszerében az a meglehetősen általánossá vált követelmény, hogy a kutatás majdani, várható eredményét előre meg kell határozni.

<sup>19</sup> Ma már nemigen kell bizonygatni, hogy egy ország gazdasági fejlődésének legfőbb hajtóereje az emberi tényező, különösen a szellemi tőke, következőképpen a kutatási és fejlesztési kapacitások mértéke, a tovagyűrűző hatás pedig elsősorban az input–output kapcsolódások (forward and backward linkages) kiterjedésétől és intenzitásától függ. Az sem igen vitatható, hogy a nemzetközi munkamegosztásba való bekapcsolódásnak, és így a komparatív előnyök szerinti szakosodásnak kedvező a hatása, miként a külföldi tőke előbbieket elősegítő beruházásainak is. Ugyanakkor viszont a válságok és katasztrófák hatása is súlyosabb lehet a profilváltást korlátozó túlzott szakosodás és az input–output kapcsolódások kiterjedtsége következtében.

<sup>20</sup> A koronavírus-járvány által okozott gazdasági nehézségeket (keresletcsökkenés, beszállítások elmaradása stb.) azok a vállalatok tudták leginkább legyőzni, a leállást és az elbocsátásokat elkerülni, amelyek képesek a gyors profilváltásra, új termékek, illetve szolgáltatások kínálatára.

<sup>21</sup> A globális válságok, természeti katasztrófák és világjárványok még inkább megkérdőjelezik a versenyképesség (competitiveness) konvencionális értelmezését, amely voltaképpen az egymás rovására szerzett előnyök, egyfajta *zéró összegű játék* koncepcióját tükrözi. Ideje lenne a latin eredetű szó értelmének megfelelő tartalmat adni e kifejezésnek, amely voltaképpen valamire irányuló *együttes törekvést* jelent, vagyis olyan versengést, mint például a teniszmérkőzésben, ahol aligha lehet győzelmet elérni együttműködő partner nélkül.

megszakadt fejlődési folyamat újraindításának, vagyis egyfajta *előre menekülésnek* a feltételeit is.

Egy ilyen multidiszciplináris fejlődéstudomány a diszciplináris elkülönültség helyett nemcsak multidiszciplináris együttműködést kíván művelőitől, hanem számos paradigma felülvizsgálatát és olyan kérdések új megvilágításba helyezését is, mint például az egyén és a közösség, a politika és a gazdaság, az állam és a piac, a nemzet és világtársadalom stb. viszonya. Mindehhez és mindezekzen felül különösen nagy szükség van *a még ismeretlen felfedezésének* szenvedélyes vágyától fűtött kutatásokra és (ahol lehet) kísérletekre is.

## IRODALOM

- Csaba L. (2020): A fejlődéstan apoteózisa (Közgazdasági Nobel-díj, 2019). *Magyar Tudomány*, 181, 1, 90–95. DOI: 10.1556/2065.181.2020.1.9, [https://mersz.hu/hivatkozas/matud\\_f33302#matud\\_f33302](https://mersz.hu/hivatkozas/matud_f33302#matud_f33302)
- Frank, A. G. (1967): *Sociology of Development and Underdevelopment of Sociology*. *Catalist*, 3, University of Buffalo
- Leibenstein, H. (1957): *Economic Backwardness and Economic Growth*. New York
- Nurske, R. (1952): Some International Aspects of the Problem of Economic Development. *The American Economic Review*, May, Repr. In: Agarwala, A. N. – Singh, S. P. (eds.) (1958): *The Economics of Underdevelopment*. London: Oxford University Press
- Rodney, W. (1974): *How Europe Underdeveloped Africa*. Washington: Howard University Press, <http://abahlali.org/files/3295358-walter-rodney.pdf>
- Rostow, W. W. (1960): *The Stages of Economic Growth. A Non-Communist Manifesto*. Cambridge: Cambridge University Press, <https://www.cia.gov/library/readingroom/docs/CIA-RDP78-03062A001100030001-6.pdf>
- Szentes T. (2002): *Globalizáció, regionális integrációk és nemzeti fejlődés korunk világgazdaságában*. Szombathely: Savaria University Press
- Szentes T. (2002): *World Economics 1. Comparative Theories and, Methods of International and Development Economics*. Budapest: Akadémiai Kiadó
- Szentes T. (2003): *World Economics 2. The Political Economy of Development, Globalisation and System Transformation*. Budapest: Akadémiai Kiadó
- Szentes T. (2011): *Fejlődés-gazdaságtan*. Budapest: Akadémiai Kiadó
- Todaro, M. P. (1997): *Economic Development*. London–New York: Longman

# FENNTARTHATÓSÁG – FENNTARTÁSOKKAL

## SUSTAINABILITY–WITH RESERVATIONS

Bársony István

villamosmérnök, kutatóprofesszor, az MTA rendes tagja  
Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet, Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest  
MTA Kiváló Kutatóhely  
barsony.istvan@energia.mta.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a napjainkban tapasztalható klímaváltozás tükrében a megcélzott globális „karbonsemleges” gazdaság és társadalom ellátását biztosító megújuló energiai eszközpark megteremtése kapcsán tárgyal pár elgondolkodtató szempontot a „fenntartható fejlődésről”.

### ABSTRACT

The paper suggests a few aspects to be considered on the way of creating the means for renewable energy supply towards a global ‘carbon-neutral’ economy and society targeting a ‘sustainable development’ in view of the climatic changes experienced today.

**Kulcsszavak:** üvegházhatás, karbonsemlegesség, megújuló energiaellátás, nyersanyagbázis

**Keywords:** greenhouse-effect, carbon-neutrality, renewable energy supply, raw materials

### BEVEZETÉS

A Covid–19 koronavírus megjelenéséig a világháborúk után született generációk joggal mondhatták magukról, hogy a történelem eddigi legszerencsésebb korszakában éltek Európában. Az emberiséget korábban megtizedelő járványok, éhínség, háborúk az életükben jobbra már csupán politikai-gazdasági kihívást jelentettek, amelyek nemzetközi egyezményekkel kordában tarthatók voltak. Mindennapi életükben valamennyi területen élvezhették a globalizált világ teljes individuális szabadságot biztosító technológiai vívmányait az internettől a személyes mobilitásig. Ennek azonban ára volt és van! A *Global Footprint Network* szervezet évente kiszámítja, hogy a Föld lakossága mely naptári dátumig



fogyasztja el bolygónk erőforrásaiból azt a hányadot, amely egy naptári év alatt megújulni képes, azaz amelyet a természet pótolni tud. Ezt követően már az évmilliók alatt „elraktározott” erőforrások felélése folyik. A legaggasztóbb, hogy ez a nap, amely 2019-ben már június 28-ra esett, egyre közelebb kerül az évkezdet-hez (GFN, 2019). A „rablógazdálkodás” – elsősorban a vízzel és az energiaforrásokkal, de a bányakincsekkel, a környezetkárosító anyagok termelésével is – tehát egyre gyorsuló ütemű.

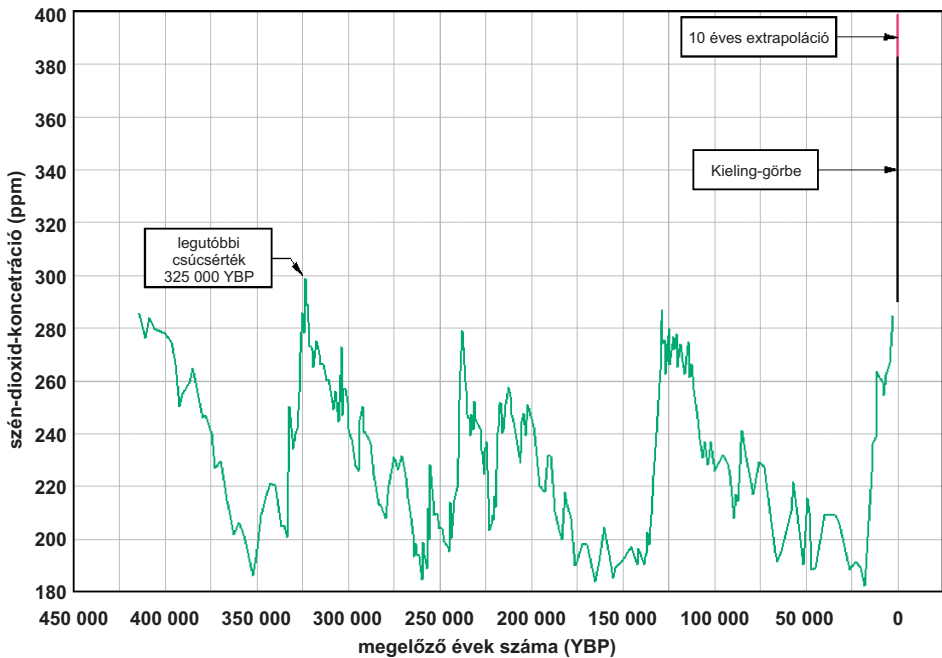
Közhelyszámba megy, hogy a technológia robbanásszerű fejlődése közepette az emberiség jószerivel tudomást sem vesz arról, hogy bolygónk erőforrásai nem végtelenek. A technológiai vívmányokhoz való hozzáférés eredményeképpen a megtermelt javak 80%-át csupán a népesség 15-20%-a élvezi, ami óriási egyenlőtlenségek forrása a Földön. Az igazságtalan eloszlás akkor is kezelhetetlen társadalmi-gazdasági feszültségekhez vezetne, ha a lokális és globális politikai érdekvégyesítők gátlástalan profitszerzésük érdekében nem aknáznák ki ezeket saját hasznukra. Túlnépesedett bolygónkon ráadásul pont az elmaradott, természetileg is hátrányos helyzetű földrajzi régiókban növekszik robbanásszerűen a népesség. A legkritikusabb veszély a túlfogyasztás, a mértéktelen pazarlás és a hulladéktermelés. Ha a világon valamennyien a svájci állampolgárok mai életszínvonalán szeretnék élni, ahhoz a Föld tartalékainak mintegy három és félszeresére lenne szükség.

### HŐMÉRSÉKLETEMELKEDÉS, KLÍMAVÉDELEM

A Föld eltartó képessége szervesen összekapcsolódik a természeti környezet védelmével és a klimatikus viszonyokkal. Az időjárási ciklikusságok földünk történetében természetes jelenségnek tekinthetők, az üvegházhatás természetes folyamat. A Föld ökoszisztémájában a Nap sugárzási spektrumából elnyelt, illetve a világűrbe lesugárzott energiahányad között évmilliók alatt alakult ki az egyensúly, ezt befolyásolta az ember a „konzervált” energia nagyléptékű hasznosításával. A karbonkibocsátás növekedésében tehát a fosszilis energia felszabadítása, az erdőirtás, az intenzív mezőgazdálkodás és állattenyésztés, a bányászat hatása mind-mind tetten érhető. Uralkodó felfogás szerint a kozmológusok a tapasztalt globális hőmérséklet-emelkedést, a klímaváltozást döntően a szén, kőolaj, földgáz elégetésével a légkörbe juttatott szén-dioxid-többlet több száz évig érvényesülő üvegházhatásának számlájára írják.

Kétharmad részben vízzel borított bolygónk hőmérsékletének szabályozásában döntő befolyással bírnak a víz halmazállapot változásai; a termikus egyensúly kialakulásában a kulcsszerepet a víz–vízgőz–felhő–csapadék–körforgás játssza. A leghatékonyabb üvegházhatású gáz maga a vízgőz, elpárolgásával a felszínről hatalmas hőmennyiséget juttat a légkörbe. A kondenzált pára felhőket alkot,

amelyek a besugárzás elől leárnyékolják a felszínt, és a kondenzációs hőt nem földközélszintben, hanem a magasabb légrétegekben adják le. Az ember által termelt, nem kondenzálódó üvegházgázok (köztük a  $\text{CO}_2$ ) kibocsátásának hatása erre a folyamatra szuperponálódik. A víz természetes körforgásában működik egy negatív visszacsatolási mechanizmus, amely ennek az addicionális emisszióknak a hőmérséklet-emelő hatását a hidrológiai körforgás felgyorsításával folyamatosan kompenzálja. Ennek a ciklusnak a lokális felgyorsulásával szembesülünk az extrém időjárási körülmények kialakulásakor. Ezért a szkeptikus klímakutatók (Miskolczi, 2014) óvatosságra intenek abban, hogy mennyiben írható a klímaváltozás kizárólag az emberiség számlájára. Még ha nem is teljes mértékben, ahogy azt ma a zöld politikai szereplők sugallják, az emberi tevékenység szerepe tagadhatatlan a lokális szélsőséges természeti folyamatok triggerelésében.

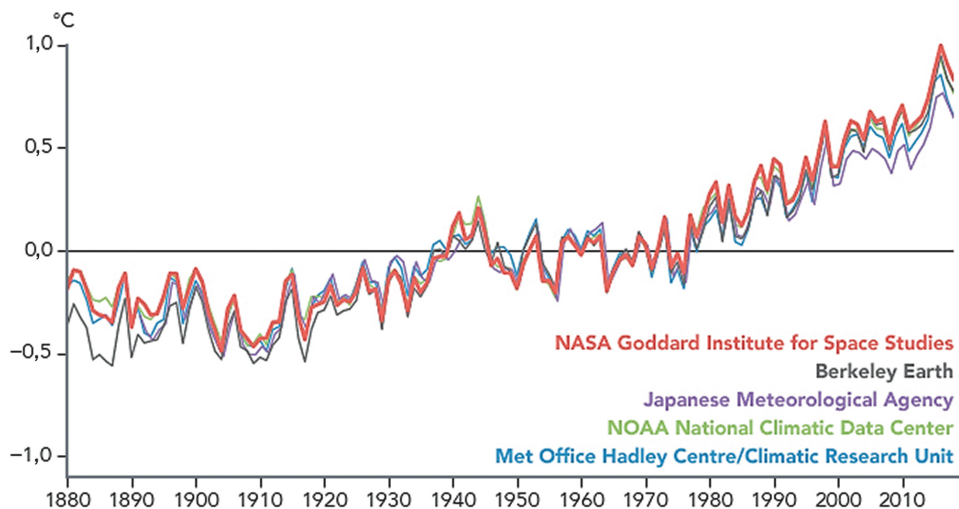


**1. ábra.** A légköri szén-dioxid-koncentráció értékeinek (ppm) változása az elmúlt 450 000 év során az Antarktisz jegébe zárt légbuborékok analízise és napjaink megfigyelései alapján (NOAA, 2018) a következő tíz évre extrapolált értékekkel (Kieling-görbe), aminek az érvényességét sokan vitatják

Az emberi tevékenység káros hatását a légköri  $\text{CO}_2$ -koncentráció változásával szokás igazolni. Az *1. ábrán* látható, hogy a sarki jégbuborékokban mért szén-dioxid-koncentráció értéke az elmúlt négyszázezer évben ciklikusan változott ugyan mintegy 50%-nyit, de nagyjából 1950-ig nem haladta meg a 300 ppm

maximális szintet. Az iparosodás és a mobilizáció általánossá válása következtében ez idő tájt viszont megindult egy máig töretlen emelkedés, ami inkább exponenciális, mintsem reverzibilis folyamatnak látszik. Ma 416 ppm-nél járunk. A légkör összetételének ilyen változása hosszabb távon az intenzívebb fotoszintézises biomassza-termelés révén akár még pozitív hatással is lehetne a földi vegetációra. Rövid távon azonban az utóbbi évek szélsőséges időjárási katasztrófái, melyekről a mindent behálózó internetes híradások jóvoltából napi szinten értesülünk, ráirányították a figyelmet a fejlett országok ipari tevékenységéből származó szennyezés globális hatására.

A NASA szerint eddig az éves globális középhőmérséklet alapján 2016 volt a legmelegebb év az emberiség történetében, bár 2019-ben ez a rekord is igencsak megdőlt. A 140 év egymástól független, megbízhatónak feltételezett mérései átlaghőmérsékleti adataiból szerkesztett görbéken (a 2. ábrán) az utóbbi harminc évben valószínűsíthető egy emelkedési tendencia. Klímakutatók a fenti jelenségekre épülő, de rendkívül divergáló klímamodelljeik alapján erre hivatkozva kongatják a vészharangot, és prognosztizálják még súlyosabb természeti katasztrófák bekövetkeztét, amennyiben nem cselekszünk azonnal a „klíma” védelmében.



2. ábra. A globális éves középhőmérséklet anomális eltérése az 1961–1990 közötti időszak átlagától, 160 év „megbízhatónak, függetlennek tekintett” műszeres mérései alapján (Williams, 2018). Ez a „hoki-görbe” néven elhíresült adatsor, amelyre a klímakutatók a vészforgatókönyveket alapozzák

A technológiai fejlődés lokálisan és globálisan is mindig növekvő energiafelhasználás mellett valósult meg. Így van ez még akkor is, ha racionális fogyasztás-csökkenéssel helyel-közzel sikerül javulást is elérni. A *BP Statistical Review of*

*World Energy* 2019-es tanulmánya szerint a világ energiafelhasználása 2018-ban például már 2,9%-kal nőtt, ami a 2010 óta mért átlagos 1,5% növekedés duplája. Az energiafelhasználás növekményét csak kisebb részben fedezték a megújulók, a növekmény javarészt földgáz égetéséből származik. A legnagyobb fogyasztók – Kína, az Egyesült Államok és India – együtt az energianövekmény több mint kétharmadáért felelősek. Az USA energiafelhasználása harminc év óta most nőtt a legnagyobb mértékben.

A felmelegedés egyik nem elhanyagolható mellékhatása, hogy a Föld egyre nagyobb részén válik elkerülhetetlenné a klímaberendezések tartós használata. Márpedig felmérések szerint (Bryant, 2019) a légkondicionáló berendezések áramfogyasztása már jelenleg is a világ teljes elektromosenergia-felhasználásának 9%-át teszi ki, és 2050-re a légkondicionálás az energiafogyasztás 12,5%-át emésztí majd fel. A világszerte várható 140%-os növekedés összemérhető az Európai Unió teljes elektromosenergia-igényével! Ennek a többletnek csak egy részét állítják majd elő napenergiával. Így nem meglepő, hogy az üvegházhatásért 80%-ban felelősnek tartott globális szén-dioxid-terhelés is hétéves rekordot jelentő mértékben, 2%-kal nőtt 2018-ban (BP, 2019). Az Eurostat kimutatása szerint hazánk részesedése az összeurópai szén-dioxid-kibocsátásban csupán 1,4% (URL1). Az egy főre jutó fajlagos CO<sub>2</sub> kibocsátásunk elsősorban a nukleáris energiafelhasználás miatt pedig csaknem 47%-nyival marad el a világtól.

Az elsivatagosodás, az eltartóképesség lokális eróziója, a járványok és a szegénység elől milliók kelhetnek útra, hogy a fejlett országokban keressenek megélhetést. Ilyen, Európát érintő tömeges „menekültáradat” lehetőségével például az Európai Unió által már bő évtizede megrendelt tanulmányban is számoltak (URL1). A jelenség politikai-gazdasági-társadalmi hatásait napjainkban tapasztaljuk.

A szükségszerűség mellett a „klímaváltozás elleni harc” valódi lehetőség úgy mond a „karbonsemlegesség” (low carbon society) megvalósítására! Ez a politika által erősen preferált fejlődési irány a tőke számára kiemelkedően profitábilis új piacok megnyitásával kecsegtet, bár befektetésintenzív innovációt, új termelési struktúrák meghonosítását igényli. Viszont az új munkahelyek teremtésétől, az innovációtól elvileg nagyobb társadalmi igazságosság megvalósulása is remélhető. Az eddigi érvek alapján is nyilvánvaló, hogy az energiafogyasztás racionalizálása mellett tehát forradalmi változásokra van szükség az energiaellátásban. A következő évtizedekben mind az energiatermelésben, mind a közlekedésben le kell építeni a fosszilis tüzelőanyagok felhasználását. Ehhez az elektromos energia-szolgáltatásban és a mobilitásban is át kell térni a szén-dioxid-kibocsátás-mentes (karbonsemleges) energiafelhasználásra. A fenti érvrendszer tehát mind a gazdasági, mind a társadalmi elvárások szempontjából vonzó. Így marketing céllal ezekre a – jobbára szimpatikus – érvekre hivatkozva tudnak a feltörekvő zöld politikai pártok és civil mozgalmak növekvő mértékben teret nyerni.

A „klímavédelemben” mint általános társadalmi célban mára közmegegyezés van, anélkül hogy kellő mélységben ismernénk a háttérben meghúzódó bonyolult összefüggésrendszert. Márpedig ez korunk talán legégetőbb tudományos kihívása! A tudományos viták lefolytatása és korrekt bizonyítékok nélkül a „fenntartható fejlődés” hangoztatása sajnos csupán üres szlogen marad.

### A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK NYERSANYAGHÁTTERE

A „tisztá” energiatermelés, -tárolás és -továbbítás csúcstechnológiai megoldásai a periódusos rendszer tekintélyes elemkészletét tartalmazó ásványkincsek nagyléptékű bányászatára, feldolgozására vannak utalva. Ebben a cikkben csupán a fenti, nem lebecsülendő kihívásban rejlő veszélyeket próbáljuk felvázolni – főleg a University of Technology Sydney Institute for Sustainable Futuresnek az Earthworks számára készített *Responsible Minerals Sourcing for Renewable Energy* című tanulmánya (Dominish et al., 2019) adatai alapján (3., 5–9. ábra, illetve 1–5. táblázat). A teljes tanulmány letölthető az alábbi címről: URL2.

Az energiamixben az 1. táblázat szerint ma a legjelentősebb energiahordozók a szén, a földgáz, a nukleáris energia és a vízenergia. Részarányuk kisebb mértékben növekszik 2050-ig, viszont a kőszén szerepe tovább nő! A megújuló energiaforrások közül a *jelenlegi növekedési ráta mellett* a fotovoltaikus (PV) naperóművek, illetve a széleróművek részesedése a mai 23%-ról csupán 34%-nyira prognosztizálható 2050-re.

Az e-mobilitás rohamos elterjedésével számolva a 2. táblázat alapján a mai 1–6 millió közötti elektromos járműállománnyal szemben 2050-re 281 milliónyi elektromos gépjármű lesz üzemben világszerte. A kétszázszoros növekedés alapján értelemszerűen a jelenlegi 100 GWh körüli értékről 20 TWh-ra nőne a gépjárművekbe épített energiatároló kapacitás is. A nagyléptékű energiatárolás kérdése tehát az érdeklődés homlokterébe került, amit mi sem bizonyít jobban, mint a lítium-akkumulátor kutatás-fejlesztésért odaítélt 2019-es kémiai Nobel-díjak.

Amennyiben a Föld átlagos légköri hőmérsékletében a jelenlegi, meglehetősen divergáló klímamodell-számítások alapján (IPCC, 2017) maximum 1,5 °C emelkedést engednénk meg, 2050-re valamennyi fosszilis tüzelőanyagot, azaz CO<sub>2</sub>-emissziót száműznünk kellene a rendszerből. Mivel politikai nyomásra a nukleáris eróműveket is ki kellene iktatni az energiatermelésből, az energia-előállítás összetétele a megújulók részarányának drasztikus ütemű növelésével alakulna ki (lásd 3. táblázat). Az ehhez szükséges technológiai fejlesztés becslés szerint 13%-os globális energiafelhasználás-növekedéssel jár! Az energiamix valószínűleg még így sem lenne teljesen karbonmentesnek tekinthető – például a biomassza mint „megújuló energiaforrás” elégetése miatt, de a légkörben elvileg minimalizálható lenne az emberi tevékenység számlájára írható üvegházhatású gázok aránya.

**1. táblázat.** A világ elektromosenergia-termelésének becstült összetétele a jelenleg érvényesülő trendek, a megújulók növekvő szerepének figyelembevételével TWh-egységekben (Dominish et al., 2019 nyomán)

Áramtermelés TWh/év	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Kőszén (és nem megújuló hulladék)	7 662	8 334	8 942	10 237	11 389	12 495	13 083	13 589
Lignit	1 780	1 767	1 773	1 803	1 832	1 901	1 962	1 982
Földgáz	5 743	6 179	6 998	8 159	9 294	10 428	11 422	12 285
Olaj	877	739	633	512	446	382	330	287
Dízel	122	122	125	131	137	141	148	153
Nukleáris	2 545	2 991	3 218	3 452	3 638	3 825	4 018	4 218
Hidrogén	0	0	0	0	1	1	1	1
Megújuló előállítású H <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
Vízenergia	3 888	4 299	4 684	5 202	5 583	5 964	6 320	6 667
Biomassa (és újratermelődő hulladék)	471	649	785	953	1 082	1 211	1 354	1 514
Geotermikus	80	104	130	178	230	281	344	426
Szoláris termikus	9	25	38	58	94	130	183	260
Óceáni ár-ápany	1	2	4	7	16	25	37	53
Szél	838	1 394	1 948	2 431	2 894	3 358	3 856	4 389
Fotovoltaikus energia	247	662	1 057	1 460	1 826	2 192	2 645	3 209
<b>Összes megújuló</b>	<b>5 534</b>	<b>7 133</b>	<b>8 645</b>	<b>10 290</b>	<b>11 725</b>	<b>13 160</b>	<b>14 740</b>	<b>16 517</b>
Összes megtermelt	24 262	27 266	30 333	34 584	38 461	42 332	45 702	49 032
<b>Megújulók aránya</b>	<b>23%</b>	<b>26%</b>	<b>29%</b>	<b>30%</b>	<b>30%</b>	<b>31%</b>	<b>32%</b>	<b>34%</b>

**2. táblázat.** A táblázat az elektromos („karbonmentes”) meghajtású globális járműpark adatait, valamint az ehhez igényelt akkumulátorkapacitás változását mutatja (Dominish et al., 2019 nyomán)

Járművek száma (ezer db)	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Akkumulátoros hajtású (BEV)	1 074	5 596	12 952	27 619	47 396	72 691	144 325	218 591
Hálózatról tölthető hibrid (PHEV)	56	441	1 377	3 759	8 326	16 070	28 221	46 683
Haszonjármű (CV)	102	432	1 209	3 001	4 800	6 004	7 016	7 480
Autóbusz	184	368	1 061	2 429	4 283	5 991	7 067	7 914
Összes elektromos hajtású	1 416	6 837	16 600	36 807	64 805	100 756	186 628	280 668

Akkumulátorkapacitás (GWh)	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Akkumulátoros hajtású (BEV)	41	224	557	1 326	2 465	4 143	8 659	13 553
Hálózatról tölthető hibrid (PHEV)	0	3	11	38	100	209	395	700
Haszonjármű (CV)	26	130	423	1 200	2 160	3 002	3 859	4 488
Autóbusz	9	22	61	128	227	311	382	453
Összes akkumulátorkapacitás	76	378	1 053	2 691	4 951	7 665	13 295	19 194

**3. táblázat.** A táblázat azt a drasztikus energiaösszetétel-változást szemlélteti, amit 1,5 °C globális középhőmérséklet-emelkedés megengedése esetén a következő három évtizedben el kellene érniünk a kibocsátásmentes energiaszolgáltatáshoz – beleértve a nukleáris erőművek leállítását (Dominish et al., 2019 nyomán)

Áramtermelés TWh/év	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Kőszén (és nem megújuló hulladékok)	7 662	8 334	8 942	10 237	11 389	12 495	13 083	13 589
Lignit	1 780	1 767	1 773	1 803	1 832	1 901	1 962	1 982
Földgáz	5 743	6 179	6 998	8 159	9 294	10 428	11 422	12 285
Olaj	877	739	633	512	446	382	330	287
Dízel	122	122	125	131	137	141	148	153
Nukleáris	2 545	2 991	3 218	3 452	3 638	3 825	4 018	4 218
Hidrogén	0	0	0	0	1	1	1	1
Megújuló előállítású H <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
Vízenergia	3 888	4 299	4 684	5 202	5 583	5 964	6 320	6 667
Biomassa (és újratermelődő hulladékok)	471	649	785	953	1 082	1 211	1 354	1 514
Geotermikus	80	104	130	178	230	281	344	426
Szoláris termikus	9	25	38	58	94	130	183	260
Óceáni ár-árpály	1	2	4	7	16	25	37	53
Szél	838	1 394	1 948	2 431	2 894	3 358	3 856	4 389
Fotovoltaikus energia	247	662	1 057	1 460	1 826	2 192	2 645	3 209
<b>Összes megújuló</b>	<b>5 534</b>	<b>7 133</b>	<b>8 645</b>	<b>10 290</b>	<b>11 725</b>	<b>13 160</b>	<b>14 740</b>	<b>16 517</b>
Összes megtermelt	24 262	27 266	30 333	34 584	38 461	42 332	45 702	49 032
<b>Megújulók aránya</b>	<b>23%</b>	<b>26%</b>	<b>29%</b>	<b>30%</b>	<b>30%</b>	<b>31%</b>	<b>32%</b>	<b>34%</b>



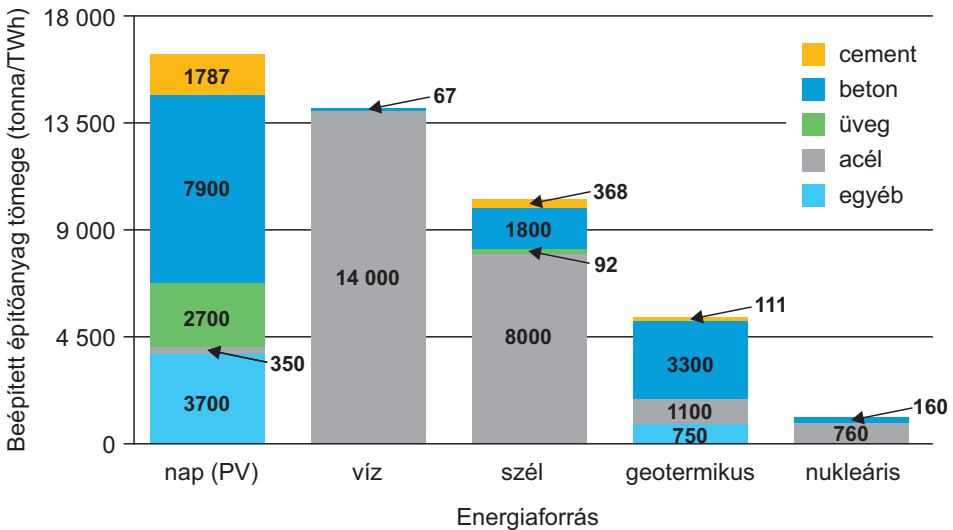
**4. táblázat.** A táblázat a 1,5 °C globális középhőmérséklet-emelkedési korlát betartásához szükséges elektromos járműfejlesztés és energia-tárolókapacitás felfutását mutatja a következő három évtizedben az egyes járműkategóriákban (Dominish et al., 2019 nyomán)

Járművek száma (ezer db)	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Akkumulátoros hajtású (BEV)	1 345	10 158	102 132	284 926	495 630	677 357	772 588	916 469
Hálózatról tölthető hibrid (PHEV)	85	2 889	55 147	129 023	183 240	158 563	92 885	56 932
Haszonjármű (CV)	102	1 333	10 673	40 600	81 416	87 430	90 078	91 248
Autóbusz	184	368	1 061	2 429	4 283	5 991	7 067	7 914
Összes elektromos hajtású	1 716	14 748	169 014	456 978	764 570	929 341	962 618	1 072 563

Akkumulátorkapacitás (GWh)	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Akkumulátoros hajtású (BEV)	51	406	4 392	13 676	25 773	38 609	46 355	56 821
Hálózatról tölthető hibrid (PHEV)	0	17	441	1 290	2 199	2 061	1 300	854
Haszonjármű (CV)	26	400	3 736	16 240	36 637	43 715	49 543	54 749
Autóbusz	9	29	229	782	1 148	1 354	1 497	1 595
Összes akkumulátorkapacitás	87	852	8 797	31 989	65 757	85 740	98 695	114 019

A tárgyalóasztalon lévő klímaegyezmények, az ENSZ és az EU ilyen radikális átállást sürgetnek, aminek azonban komoly ára van. A központosított energiatermelés és -elosztás aligha járna energiamegtakarítással. Bár a városiasodó ipari társadalmakban egy ilyen gyorsütemű fejlesztés a javuló levegőtisztaság következtében pozitív hatással lenne a lakosság egészségi állapotára, a szükséges technológiai fejlesztés egyértelmű nyertesei a tőkeerős gazdaságok lesznek. A megfelelő kutatás-fejlesztési potenciál és gyártási *know-how* birtokában ők lesznek képesek az egész világpiacot ellátni a szükséges eszközökkel. Kárvalottjai lesznek viszont azok a társadalmak, melyek a fosszilis energiahordozók bányászatára, nyersanyagkincsük kiaknázására, az ezeket hasznosító ipar fejlesztésére építették gazdaságukat.

A 2. táblázat adataihoz képest egy ilyen drasztikus „kibocsátásmentes” energia-szenárióval az ausztrál kutatók szerint 2050-re optimálisan egymilliárd járművel kellene számolnunk az e-mobilitásban. A darabszám növekedése miatt a szükséges tárolókapacitást (lásd a 4. táblázat alsó fele) is 250-szeresére kellene növelni. Ezek óriási számok, jóllehet a vázolt fejlesztés aligha hozná jobb helyzetbe a fejletlen, harmadik országbeli milliárdokat.



**3. ábra.** Az egyes energiaellátási megoldásokkal egy-egy TWh-nyi kapacitás létesítésénél fellépő fajlagos anyagszükséglet ábrázolása (DOE, 2015 nyomán).

Meglepő a megújuló energiaforrások (napelem, szélkerék) telepítésének tetemes cement, beton, acél, üveg és egyéb hagyományos építőanyag-szükséglete a nukleáris energia-előállítás anyagigényével szemben.




A napelem-erőműveknél az anyagfelhasználás a nukleáris technológiához képest csaknem 18-szoros!

A napenergia közvetlen, illetve közvetett „valós idejű hasznosítását” jelentő két legfontosabb fajtája a fotoelektromos energiaátalakítás és a szélgenerátorok alkalmazása. Egy új német tanulmány szerint a szélerőművek – megfelelő támogatási politika esetén – elvileg egész Európa ellátását megoldhatnák (Rydberg et al., 2019). A fotovoltaiikus energia-előállításban is vannak arra mutató jelek, hogy a jelenlegi 22–36%-os energiaátalakítási hatékonyság a Rice University újabb szén nanocsöves kutatási eredményei szerint (Gao et al., 2019) az infravörös hányadnak a látható fotonspektrumba konvertálásával elvileg akár 80%-ra is emelhető.

A 3. ábrán szembetűnő, hogy ma az azonos energiamennyiség előállítására képes energiaforrások létesítésének fajlagos anyagigénye (t/TWh) a hagyományos (cement, beton, acél, üveg és egyéb) anyagokból milyen óriási eltérést mutat! A megújuló előállítása csupán jóval nagyobb anyaghányaddal lehetséges, például ugyanazt az energiamennyiséget napelem-erőművekből az atomerőművek fajlagos anyagigényének csaknem 18-szorosával lehet kinyerni. Ezzel párhuzamosan nő a területigény is!

**5. táblázat.** A tölthető elektrokémiai telepek, a napelemek és a szélerőművek gyártásában igényelt kémiai elemválaszték áttekintése. Az alapvető félvezető és ritkaföldfém anyagigényen túl tetemes átmeneti fém, nemesfém-, valamint réz- és alumíniumszükséglet mutatkozik (Dominish et al., 2019 nyomán)

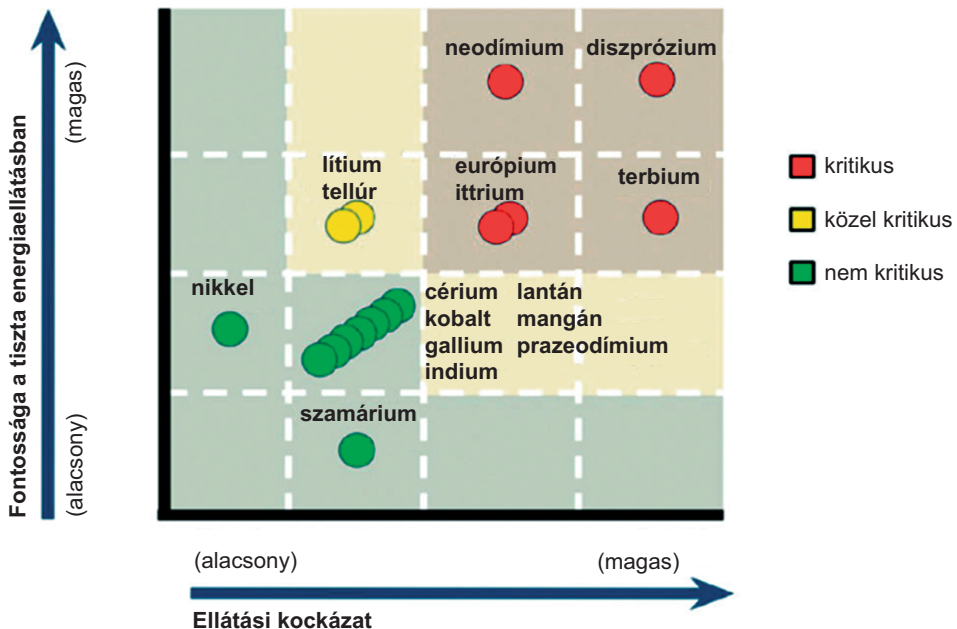
(EV: elektromos jármű; PMG: permanens mágnesgenerátor; Non-PMG: teljesítménykábelezés)

	 Elektrokémiai elemek			 Napelemek			 Szélerőművek	
	Li-ion	Li-S	EV	c-Si	CuInGaSe	CdTe	PMG	Non-PMG
alumínium	×	×		×	×	×	×	×
kadmium						×		
kobalt	×							
réz	×	×		×	×	×	×	×
diszprózium			×				×	
gallium					×			
indium					×			
lítium	×	×						
mangán	×							
neodímium			×				×	
nikkel	×							
ezüst				×				
szelén					×			
tellúr						×		

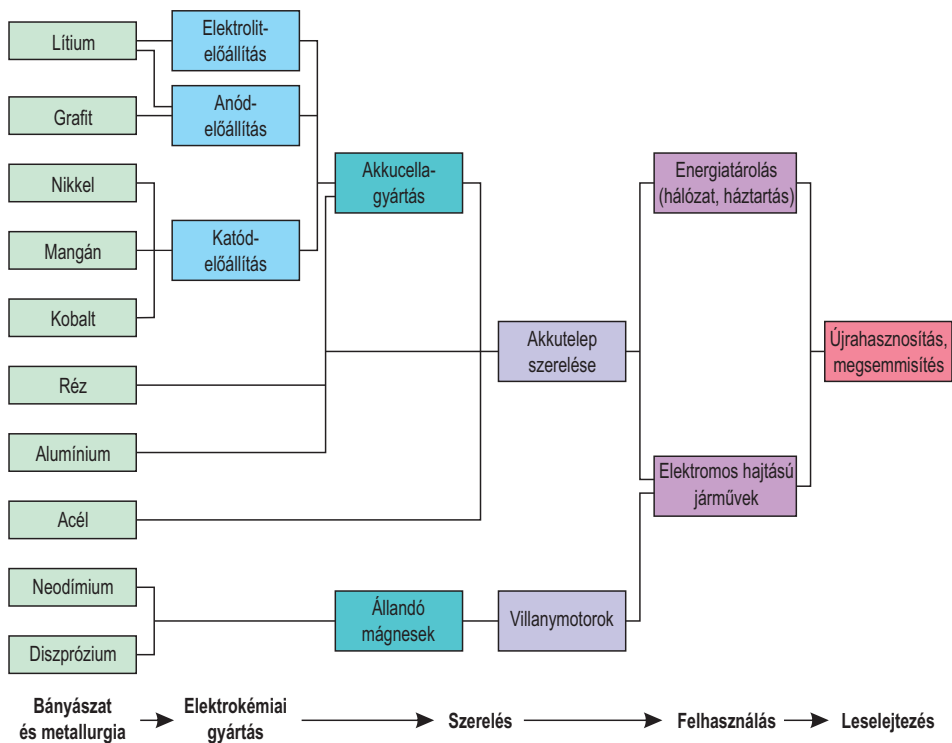
A fenti két fő megújuló energiaforrás közismert hendikepje, hogy az időjárás, illetve a napszakok függvényében szakaszos, ingadozó teljesítményű energiaszolgáltatást tesznek csak lehetővé, azaz a folytonos ellátáshoz a felhasználás idejéig szükség van átmeneti energiatárolásra.

Nagy léptékben az energiatárolást víztározók feltöltésével potenciális energia formájában, illetve kémiai energiatárolással, tölthető akkumulátorokkal oldják meg. Utóbbiak egyben az elektromobilitás kulcseszközei. Ezért tehát elegendő, ha az energiatároló akkumulátorok, a fotovoltaikus napelemek (PV) és a szélerőművek gyártása során felhasznált anyagválasztékra fókuszálunk (5. táblázat).

A ma legnagyobb volumenben gyártott eszköztípusokat figyelembe véve a tekintélyes elemválasztékban a vezető fém (Al, Cu, Ag) és átmeneti fém (Co, Ni, Mn), félvezető PV-anyagok (Si, Ga, Cd, Te, In, Se, S, Ce) mellett számos ritkaföldfém (Nd, Dy, Eu, Y, Tb, Sm, Ce, La), valamint a Li szerepel. Ahogy a 4. ábra mutatja, ezek folyamatos biztosítása nem kis probléma elé állítja a gyártóipart az ambiciózus tervek megvalósításában már középtávon is (2015–2025).



4. ábra. A tiszta energiaforrások gyártásában felhasznált nyersanyagok, kémiai elemek fontossága az ellátási biztonság kockázatosságának függvényében (DOE, 2015 nyomán)

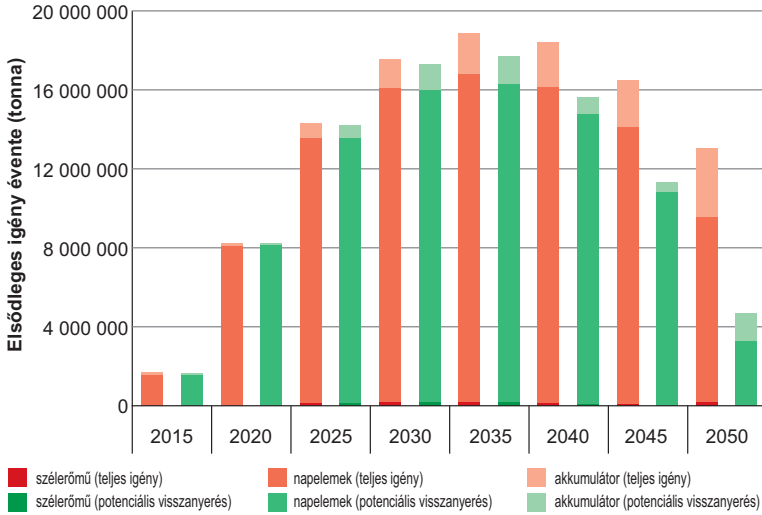


**5. ábra.** A lítium-ion akkumulátor előállítási folyamata és életciklusa a nyersanyagbányásztól a leselejtezésig, illetve újrahasznosításig (Dominish et al., 2019 nyomán)

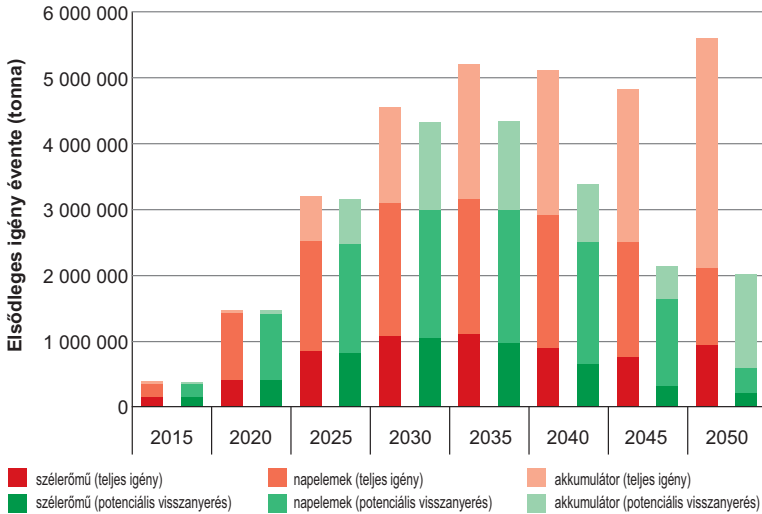
Az 5. ábrán a Li-ion akkumulátort felépítő nyersanyagok bányászatától és feldolgozásától kezdve követhető az eszköz életciklusa az elektrokémiai megmunkáláson, a végtermék gyártásán át a felhasználásig, majd a kapacitáscsökkenés során elért végső élettartam utáni megsemmisítésig. Az e-mobilitás követelményeinek már nem megfelelő, csökkent kapacitású akkumulátorok üzemben tartása háttértároló alkalmazásban akár a 30%-os tárolókapacitási szintig is indokolt és rentábilis lehet. Ezt követően a leselejtezett termékekből is vissza kell nyerni az értékes anyagokat. Az egyik legnagyobb Li-ion akku gyártó, a Tesla elkezdte egy recikláló üzem építését, amely a Gigafactory 1 gyárak számára állít elő kritikus másodlagos nyersanyagot (URL3). Az American Manganese cég új szabadalmazott eljárással, újra felhasználható formában vonja ki a Li-ion telepek katódjának összes összetevőjét, beleértve az eddig vissza nem nyert lítiumot is (URL4).

A két legközönségesebb vezető fém, az alumínium és a réz esetében is óriási igénynövekedéssel kell számolnunk a három alapeszköztípus gyártása esetében, nem is beszélve az energiatovábbításban jelentkező felhasználásról. A 6. ábra mu-

tatja a szélgenerátor-, a napelem-, illetve akkumulátorgyártással kapcsolatos éves alumíniumigényt tonnában a primer forrásból (sötét oszlopok) és a szekunder nyersanyag-járulékkal (világos adalékok) kiegészített mennyiségben. A mintegy tízszeres mennyiségi növekedés indokolja a másodlagos nyersanyag visszanyerését.

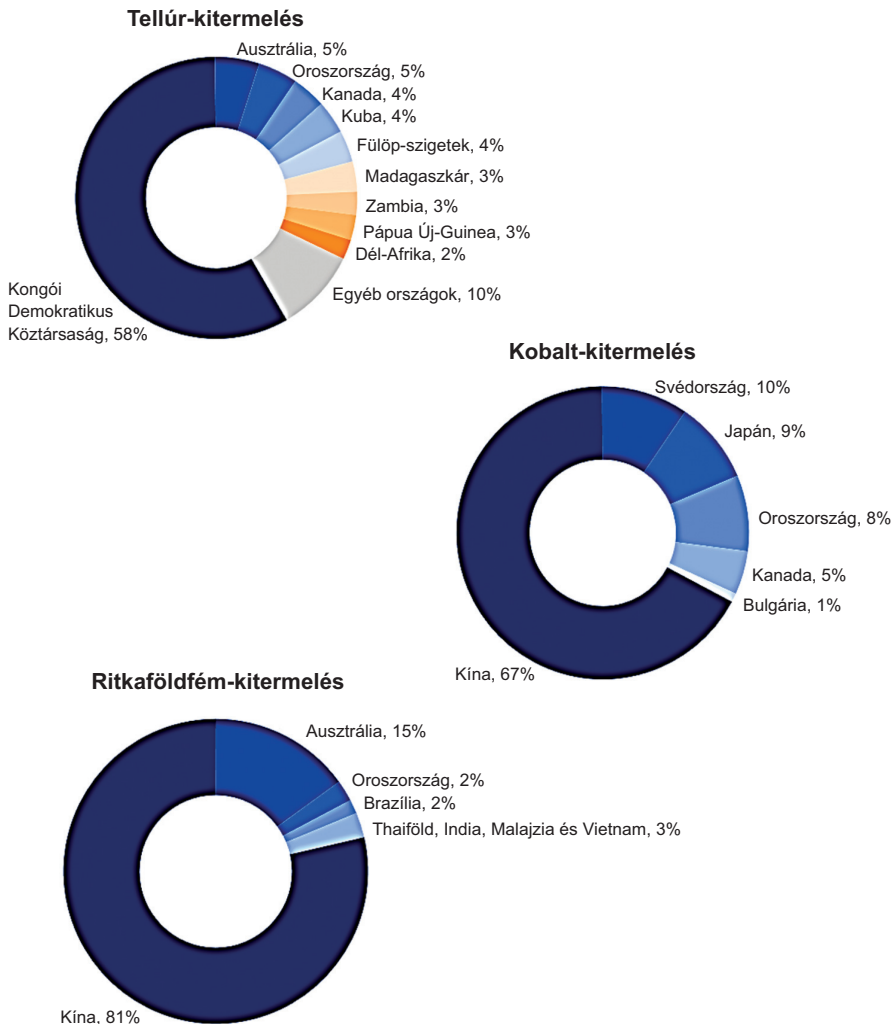


6. ábra. Az éves alumíniumfelhasználási igények várható alakulása az elsődleges és a másodlagos nyersanyagforrások figyelembevételével (Dominish et al., 2019 nyomán)



7. ábra. Az éves részfelhasználási igények várható alakulása az elsődleges és a másodlagos nyersanyagforrások figyelembevételével (Dominish et al., 2019 nyomán)

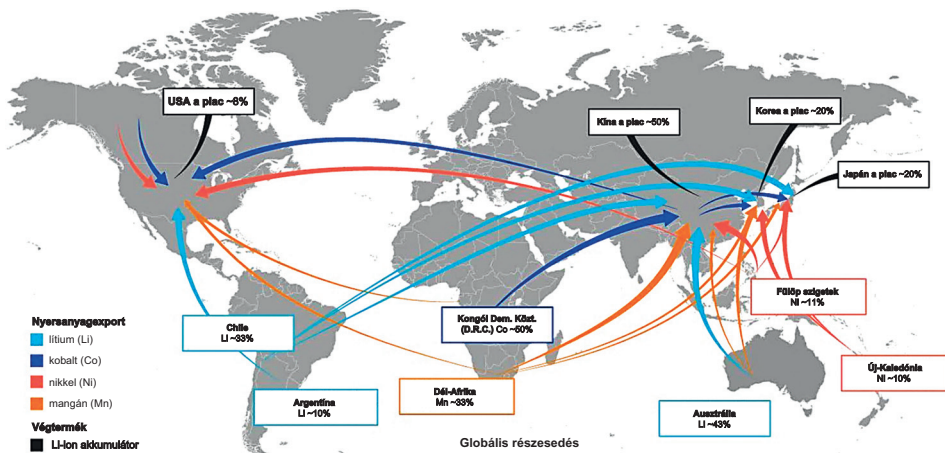
A prognosztizált 14-szeres rézigeny-növekedés a 7. ábra grafikonja szerint viszont mindhárom eszköztípusnál, a szélerőművek generátorainál, a napelem- és akkumulátorgyártásban is jelentős, ami indokolja a feltétlen visszanyerést. Nem lebecsülendő az energiaelosztó hálózat bővítésének nyersanyagigénye sem, különös tekintettel az akkumulátorok töltéséhez szükséges teljesítményelosztásra. A gazdag skandináv országokban (Norvégia, Svédország) az elektromos gépjárművek túlhajtott elterjesztése már ma is okoz ellátási zavarokat az elosztóhálózat túlterheltsége miatt.



**8. ábra.** A kobalt-, tellúr- és ritkaföldfém-lelőhelyek, illetve beszerzési források megoszlása országok szerint 2017-ben (Dominish et al., 2019 nyomán)

Ami az egyéb komponenseket illeti, a 8. ábra alapján megállapítható, hogy le-  
lőhelyük és előállításuk zömmel Kínában és a fejletlen vagy fejlődő afrikai, ázsiai  
és dél-amerikai országokban van. Egyes komponensek esetében szinte monopol-  
helyzettel állunk szemben.

Egy pillantást vetve a globális nyersanyaglelőhelyek geográfiai megoszlására,  
a 9. ábrán világossá válik a fentiekben rejlő drasztikus ellentmondás. Az USA,  
Kína és Délkelet-Ázsia a fő nyersanyagfelvevők, de ezzel együtt természetesen  
a legnagyobb energiafelhasználók is. Kína a saját nyersanyagforrásokhoz való  
kizárólagos hozzáférése folytán az északi félteke késztermékpiacon is uraló ipa-  
rosodott, gazdag országok között privilegizált helyzetben van. A feltörekvő tá-  
vol-keleti nagyhatalom és a volt gyarmattartó európai országok között a nyers-  
anyagbázis biztosítása, és a piacszerzés területén kibontakozó érdekütközések  
óriási geopolitikai biztonsági kockázatot is jelentenek, elsősorban a gyarmati  
szerződések máig ható korlátozásai miatt (lásd: *Françeafrrique; „...sans l’Afrique  
il n’y aura pas d’histoire de la France au XXIe siècle”* [Afrika nélkül Franciaor-  
szágnak nem lesz 21. századi történelme!] François Mitterrand, 1957).



9. ábra. A lítium-ion akkumulátorok táplálékláncában szereplő kritikus nyersanyagok globális kereskedelme. A szállítási útvonalak a kitermelő országokból a piacokra, azaz a Li-ion-cellák előállítási színtereire (Kína 50%, Dél-Korea 20%, Japán 20%, USA 8%) (Dominish et al., 2019 nyomán)

A fejlődő országok a 8. és 9. ábra tanúsága szerint viszont egy vonatkozásban igencsak közelről érintettek a folyamatban. Ők csupán a kritikus nyersanyagok energiafalu és rendkívül környezetkárosító bányászata és feldolgozása révén jutnak bevételhez. Ez fokozza egyoldalú kiszolgáltatottságukat, és konzerválja



gazdasági-társadalmi elmaradottságukat. Ráadásul pont ezeket a nagy demográfiai szaporodási rátájú déli földrajzi területeket sújtja leginkább a vízhiány, ami nemzetközi politikai feszültségek forrása is. A megélhetés fizikai veszélyeztetése a klímaváltozás és a politikai instabilitás következtében fokozza a migrációs kényszert.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Évszázadunkban az emberiség túlélési dilemmáját az alábbi két szélsőséges opcióval jellemezhetjük:

- *a folytonos gazdasági növekedés ökológiailag indokolt feladása* – ami akár gazdasági és szociális összeomlással fenyegethet, vagy
- *a gyorsuló technológiai fejlesztés töretlen folytatása* – még létezésünk alapfeltétele, a globális ökoszisztéma lerombolásának a kockázata árán is.

Nyilvánvaló, hogy a gyakorlatban egyik szélsőség sem járható. Egyesek a rövid távú szavazatszerzés érdekében lekicsinylik a veszélyt, és a második opciót helyezik előtérbe. Mások, például a Green New Deal keretében (Cortez, 2019) a klímaváltozást féken tartó nagyléptékű technológiai megoldások támogatására követelnek állami beavatkozást.

*Modus vivendit* csakis a „fenntartható fejlődés” jelenthet mind gazdasági, mind társadalmi téren, amit természetesen a nagypolitika is felismert. Csakhogy, mint láttuk, a voksok megszerzéséért folytatott versenyben a rendkívül komplex globális ökoszisztéma egy-egy elemének tudományosan megalapozatlan, „kampányszerű” fejlesztésével a környezetben is nagyobb kárt okozhatunk, mint a kezelni kívánt probléma maga. Az üdvözlendő napenergia-hasznosító nanotechnológiai fejlesztések mellett (Gao et al., 2019) a technológiai lehetőségek mindenhatóságának túlhangsúlyozása a káros folyamatok megfékezésében, például nanorendszer fejlesztése a légköri CO<sub>2</sub>-koncentráció globális megkötésére (Han–Zhien, 2019), sokszor a legkézenfekvőbb természetes megoldásokat szorítja háttérbe.

A *Science* 2019-ben ismertetett (Bastin et al., 2019) egy tudományos körökben sokat hivatkozott „felfedezést”, hogy *erdősítéssel is meg lehetne kötni (időszakosan) a szén-dioxid-felesleget!* Böven van még hasznosítható terület a glóbuszon, hiszen gyakorlatilag már csak Amazónia egy része borított 100%-ban őserdővel. Egymilliárd hektárnyi erdő ültetése a klímaféltők szerint is akár már középtávon kezelhetővé tenné a CO<sub>2</sub>-kibocsátás okozta globális felmelegedés eszkalációját.

A „klímavédelmi megoldások” globális léptékű alkalmazásánál tehát helyénvaló a tudományosan megalapozott, megfontolt előrehaladás, a fenntartható fejlődés érdekében indokoltak az óvatos fenntartások.

## IRODALOM

- Bastin, J-F. – Finegold, J. – Garcia, C. (2019): The Global Tree Restoration Potential. *Science*, 365, 6448, 76–79. DOI: 10.1126/science.aax0848, [https://www.researchgate.net/publication/334244294\\_The\\_global\\_tree\\_restoration\\_potential](https://www.researchgate.net/publication/334244294_The_global_tree_restoration_potential)
- BP (2019): *Statistical Review of World Energy*. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Bryant, C. (2019): Air Conditioning Is the World's Next Big Threat. *Bloomberg*. <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2019-06-28/air-conditioning-is-the-world-s-next-big-threat>
- Cortes, O. (2019): *Recognizing the Duty of the Federal Government to Create a Green New Deal*. February 5, 2019. <https://apps.npr.org/documents/document.html?id=5729033-Green-New-Deal-FINAL>
- DOE (2015): *An Assessment of Energy Technologies and Research Opportunities*. [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/Quadrennial-Technology-Review-2015\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/Quadrennial-Technology-Review-2015_0.pdf)
- Dominish, E. – Florin, N. – Teske, S. (2019): *Responsible Minerals Sourcing for Renewable Energy*. Report prepared for Earthworks by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney. [https://earthworks.org/cms/assets/uploads/2019/04/MCEC\\_UTS\\_Report\\_lowres-1.pdf](https://earthworks.org/cms/assets/uploads/2019/04/MCEC_UTS_Report_lowres-1.pdf)
- European Commission, Directorate General Home Affairs (2010): *Study on the Feasibility of Establishing a Mechanism for the Relocation of Beneficiaries of International Protection*. [https://ec.europa.eu/home-affairs/sites/homeaffairs/files/e-library/docs/pdf/final\\_report\\_relocation\\_of\\_refugees\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/home-affairs/sites/homeaffairs/files/e-library/docs/pdf/final_report_relocation_of_refugees_en.pdf)
- Gao, W. – Doiron, C. F. – Li, X. et al. (2019): Macroscopically Aligned Carbon Nanotubes as a Refractory Platform for Hyperbolic Thermal Emitters. *ACS Photonics*, 6, 7, 1602–1609. DOI: 10.1021/acsp Photonics 9b00452, <https://arxiv.org/pdf/1903.06063.pdf>
- GFN – Global Footprint Network (2019): <http://data.footprintnetwork.org/#/>
- Han, Y. – Zhien, Z. (2019): Nanostructured Membrane Materials for CO<sub>2</sub> Capture: A Critical Review. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 19, 6, 3173–3179. DOI: 10.1166/jnn.2019.16584, [https://www.researchgate.net/publication/330899697\\_Nanostructured\\_Membrane\\_Materials\\_for\\_CO\\_Capture\\_A\\_Critical\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/330899697_Nanostructured_Membrane_Materials_for_CO_Capture_A_Critical_Review)
- IPCC – UN Intergovernmental Panel on Climate Change (2017): *Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C, 2017*. An Indepth Report, Written by 2 500 Scientists from around the World. <https://www.ipcc.ch/sr15/about/>
- Miskolczi F. M. (2014): The Greenhouse Effect and the Infrared Radiative Structure of the Earth's Atmosphere. *Development in Earth Science*, 2, <http://www.seipub.org/des>
- NOAA – National Centers for Environmental Information (2018): *Ice Core*. [http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/icecore/antarctica/vostok/vostok\\_co2.html](http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/icecore/antarctica/vostok/vostok_co2.html)
- Rydberg, D. S. et al. (2019): The Future of European Onshore Wind Energy Potential: Detailed Distribution and Simulation of Advanced Turbine Designs. *Energy*, 182, 1222–1238. DOI: 10.1016/j.energy.2019.06.052, [https://www.researchgate.net/publication/329736422\\_The\\_Future\\_of\\_European\\_Onshore\\_Wind\\_Energy\\_Potential\\_Detailed\\_Distribution\\_and\\_Simulation\\_of\\_Advanced\\_Turbine\\_Designs](https://www.researchgate.net/publication/329736422_The_Future_of_European_Onshore_Wind_Energy_Potential_Detailed_Distribution_and_Simulation_of_Advanced_Turbine_Designs)
- Williams, B. (2018): Global Warming Still a Threat. *The Oracle*, 18 January 2017. <http://www.usforacle.com/news/view.php/1026643/Global-warming-still-a-threat>

URL1: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9779945/8-08052019-AP-EN.pdf/9594d125-9163-446c-b650-b2b00c531d2b>

URL2: [https://earthworks.org/cms/assets/uploads/2019/04/MCEC\\_UTS\\_Report\\_lowres-1.pdf](https://earthworks.org/cms/assets/uploads/2019/04/MCEC_UTS_Report_lowres-1.pdf)

URL3: <https://electrek.co/2019/04/16/tesla-battery-recycling-system/>

URL4: <https://americanmanganesec.com/news-publications-2/press-releases-2/>

# A BETEGSZEREP FELÉRTÉKELŐDÉSE A 21. SZÁZADI EGÉSZSÉGÜGYI ELLÁTÁSBAN: ÖNGONDOSKODÁS TÁMOGATÁSA, EGÉSZSÉG-MAGATARTÁS FEJLESZTÉSE KOMPLEX ELLÁTÁSI RENDSZERBEN

## INCREASING ROLE OF PATIENTS IN HEALTH CARE OF THE 21<sup>ST</sup> CENTURY: PROMOTING SELF-CARE, DEVELOPING HEALTH BEHAVIORS IN A COMPLEX CARE SYSTEM

Kósa István<sup>1</sup>, Kincses Gyula<sup>2</sup>, Soós Gyöngyvér<sup>3</sup>, Grózli Csaba<sup>4</sup>, Hohmann Judit<sup>5</sup>

<sup>1</sup>PhD, habilitált egyetemi docens, Szegedi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Preventív Medicina Tanszék, Szeged  
kosa.istvan@med.u-szeged.hu

<sup>2</sup>egészségpolitikus, az MTA Elnöki bizottság az egészségért tagja

<sup>3</sup>professor emerita, Szegedi Tudományegyetem Gyógyszerésztudományi Kar Klinikai Gyógyszerészeti Intézet, Szeged

<sup>4</sup>stratégiai és orvosigazgató, Magyar Szervátültetettek Szövetsége, Budapest

<sup>5</sup>az MTA levelező tagja, tanszékvezető egyetemi tanár, Szegedi Tudományegyetem,  
Gyógyszerésztudományi Kar Farmakognóziái Intézet, Szeged

### ÖSSZEFOGLALÁS

A 21. századi egészségügy fenntartható fejlődéséhez paradigmaváltás szükséges az orvoslásban és az orvos-beteg kapcsolatban. A várható élettartam emelkedésével, a krónikus betegek arányának növekedésével az egészségügyi költségek oly mértékben emelkednek, amellyel a társadalmi ráfordítások nem tudnak lépést tartani. Az ellátás csak új típusú ellátási rendszerekben valósítható meg, amelyeknek lényeges új eleme a betegek aktív bevonása a gyógyítás folyamatába. A passzív betegszerepen alapuló orvos-beteg kapcsolatot a kölcsönösségen, partnerségen alapuló viszonyra kell felváltania, melyben a beteg aktív szerepet játszik saját egészségének és betegségének menedzselésében. Ezen betegszerep kialakításához megfelelően tájékozott, egészségéért felelősséget érző egyénekre és ezen készségek kialakításáért felelős egészségügyi ellátó rendszerre van szükség. Az egészségértés fejlesztését az iskolákban kell elindítani, majd az élethosszig tartó tanulás részévé kell tenni. A krónikus betegségekben szenvedők növekvő ellátási igényének kezelésére speciális öngondoskodást támogató rendszerek életre hívása szükséges. Ilyen típusú rendszerkezdemények szakmai törekvések alapján hazánkban jelenleg is léteznek egy-egy betegcsoportra kiterjedően, azonban ezen megoldások összehangolatlanok, nem integrálódnak az ellátó struktúrába, működésük finanszírozása nem megoldott. A betegek öngondoskodásának erősítése érdekében hazánkban is egy egységes keretrendszert kell kiépíteni, mely megteremti a betegek befogadóképességéhez igazított betegdukáció feltételeit, kialakítja a krónikus betegségekben jellemzően nem nélkülözhető életmódváltás támogatásának

hatásos technikáit. Az öngondoskodás megteremtésében felértékelődik a betegszervezetek és a nem orvosi diplomás egészségügyi szakemberek – gyógyszerészek, MSC/BSC-diplomás ápolók, dietetikusok, gyógytornászok – tevékenysége. A rohamosan fejlődő infokommunikációs technológiák korábban súlypontilag kell építeni az életmódnak, a fiziológiai paramétereknek a beteg otthonában történő monitorozására, az ezen adatokra épülő intelligens döntéstámogató megoldások alkalmazására, illetve válogatott esetekben távkonzultációs lehetőségek kihasználására.

## ABSTRACT

The sustainable development of healthcare in the 21<sup>st</sup> century requires a paradigm shift in medicine and in doctor-patient relationships. As life expectancy rises, and the proportion of chronic patients increases, health-costs rise to the extent that social spending cannot keep with. Healthcare can only be achieved through new types of care systems, an important new element of which is the active involvement of patients in the healing process. The physician-patient relationship based on the passive role of the patient should be replaced by a relationship based on reciprocity and partnership, in which the patient plays an active role in managing his or her health and illness. Developing this role of patients requires well-informed individuals with health responsibilities and a health care system responsible for evolving these skills. Health literacy development needs to be started in schools and then integrated into lifelong learning. Special self-care support systems need to be put in place to address the growing need for care of people with chronic illnesses. Based on professional aspirations, initiatives for operable systems exist in Hungary for some group of patients at present, however, these solutions are not coordinated and not integrated into the healthcare structure, and financing their costs is not solved. To strengthen the self-care of patients, a unified framework must also be established in Hungary, which creates the conditions for patient education tailored to the capacity and skills of patients. Development of effective techniques is needed for supporting lifestyle changes that are typically essential in chronic diseases. The activities of patient organizations and non-medical graduate health professionals – such as pharmacists, graduate nurses, dieticians, physiotherapists – are highly valued in establishing self-care. In the age of rapidly evolving info-communication technologies, we must focus on monitoring lifestyle and physiological parameters in the patient's home, applying intelligent decision-support solutions based on these data, and utilizing remote consultation options in selected cases.

**Kulcsszavak:** öngondoskodás, egészségértés, betegedukáció, betegszervezetek, gyógyszerészi gondozás

**Keywords:** self-management, health literacy, patient education, patient organizations, pharmaceutical care

## 1. BEVEZETÉS

Korunk egészségügyének legnagyobb kihívása az orvosi ismeretek, orvosi technológiák robbanásszerű fejlődése kapcsán kialakuló drasztikus forrásigény-növekedés, amely komoly feszültségeket kelt a társadalmak számára még elvi-

selhető forrásallokációs szint kialakításakor is. A technológia fejlődése mellett fontos tényező a forrásigény-bővülésben az ellátást igénybevevők körének folyamatos bővülése, elsősorban az idős, krónikus betegségekben szenvedők arányának növekedésével, de szintén bővíti az ellátotti kört az egyre kiterjedtebben végzett szűrővizsgálatok keretében kiszűrt, korábban ellátás nélkül maradt betegtömegek ellátási körbe kerülése. A forrásigény-bővülés természetesen a humánerőforrás relatív hiányával is társul. Az igények és gazdasági lehetőségek diszkrepanciáját a fejlett világ társadalmi új egészségügyi ellátási modellekkel igyekeznek egyensúlyba hozni, melynek egyik fontos eleme a betegszerep átformálása.

Ezen kihívások új feladatok elé állítják a hazai egészségügyi döntéshozókat is. Az új megoldások között feltétlenül helyet kell hogy kapjon az egyének egészségaktivitásának és önállóságának javítása, a gyógyítási tér tudatos kibővítése a betegek irányába. A betegek bevonása a betegség kezelésébe javítja az ellátás hatékonyságát, minőségét és finanszírozhatóságát.

## 2. AZ ÖNGONDOSKODÁS FOGALMA ÉS FŐBB ELEMEI

A WHO (World Health Organization) meghatározása szerint az öngondoskodás az egyén, a család, a közösség azon képessége, mellyel elősegítik egészségük megőrzését, a betegség megelőzését, valamint menedzselik a betegséget, a megrokkant állapotot az egészségügyi szolgáltatások igénybevételével vagy anélkül. Szélesebb értelemben az öngondoskodás magában foglalja az általános és személyi higiénia, az egészséges táplálkozás, az ételvitel (sport, fizikai aktivitás), a környezeti (életkörülmények, szociális helyzet) és szocio-ökonómiai tényezők (jövedelmi viszonyok, kulturális közeg) aspektusait is. Az öngondoskodásnak három fő dimenzióját különböztetjük meg: családi, pénzügyi és egészségügyi öngondoskodás.

### 2.1. Családi öngondoskodás

Az öngondoskodás legstabilabb, legősibb eleme a család, amely egy pénzügyi, szolgáltatási és önellátási közösség, egyben a szociális-kulturális érzelmi biztonság alapeleme. A család mint a társadalmi integráció alapegysége, közösség vagy több közösség kapcsolatrendszerét jelenti, jellemzője az egymásrautaltság révén több generáción át fennálló gondoskodás egymásról, kölcsönös segítségnyújtás, ellátás biztosítása. A régmúlta visszatekintve évszázados hagyományok szerint a betegápolást elsősorban az otthoni élet nyugalmaért felelősséget viselő nők végezték. A nők társadalmi struktúrában megváltozott helye, általánossá váló munkavállalása miatt mára a betegről való gondoskodás és az otthoni betegápolás sok

családban gazdátlaná vált. Az állam gondoskodó szerepén szocializálódott családok jelentős része számára az állammal szembeni elvárásá vált ezen funkció családon kívüli, társadalmi ellátása.

## 2.2. Pénzügyi öngondoskodás

A pénzügyi öngondoskodás szociális biztonságot nyújt a lakosság számára a betegség miatt kialakult nehéz helyzetekben. Két fő formája az előtakarékoság elvű egészségpénztárak, illetve a kockázatkezelte magánbiztosítások. Az *egészségpénztárak* adókedvezménnyel támogatott takarékoskodási lehetőséget biztosítanak az életszakaszok pénzügyi terheinek kiegyenlítésére, olcsó biztosítással kiegészítve. Ezen megtakarításokat a lakosság általában tervezhető kiadásokra fordítja, a váratlan kiadások terhének időbeli elnyújtására ritkán használják. Az *egészségbiztosítások* feladata a nem tervezhető, nagyobb kiadások, a jövedelemvesztés elleni védelem kockázatközösségi bázison, céljuk a minőségi igények kielégítése. Az egészségpénztárakkal és egészségbiztosítással nem kezelhető kiadások egyedüli fedezete a lakossági vagyoni/jövedelem.

## 2.3. Egészségügyi öngondoskodás

Az egészségügyi öngondoskodás a betegek bevonását jelenti az egészségmegőrzési, betegségmegelőzési, gyógyítási tevékenységbe. Tudatosítja, hogy az egészséggel kapcsolatos döntéshozatal elsősorban az egyén, a beteg kezében van, ugyanis az egyén hoz döntést saját életmódjáról, betegségének menedzseléséről. Számos állapotváltozás megítélésében elsődleges észlelő maga a beteg. Az állapot életmódbeli faktorokkal való befolyásolásában szintén alapvető a beteg felelőssége. Hasonlóan kritikus a betegszerep a gyógyszeres terápia megvalósításában.

## 3. BETEGEDUKÁCIÓ

Az egyén egészséggel kapcsolatos döntéshozatali képességének kialakításához megfelelő informáltságra, motiváltságra van szükség. Ezen kulcsfontosságú funkció kialakításához nyitott egyének mellett egy információátadásra nyitott, megfelelő tudástranszfer technológiával rendelkező egészségügyi ellátó rendszerre is szükség van. Csak az *egészségértés* megfelelő szintjén lévő egyének lesznek képesek az *egészségtudatos életvitelre*. Hasonlóan, csak a kompetens betegektől várható el betegségük hatékony menedzselése.

Az *információátadás* során kritikus az információátadás módjának helyes megválasztása. Fontos, hogy a betegedukáció a beteg által könnyen befogadható nyelvezettel valósuljon meg, illeszkedve a beteg igényeihez. Törekedni kell arra,

hogy az egészségügyi személyzet által közvetített információk alternatív, a beteg által könnyen elérhető információforrás révén is elérhetők legyenek. Az egyoldalú ismeretátadás mellett a betegedukáció igen fontos része az ismeretek visszakérdezése, megbeszélése, a beteg egyéni élethelyzetére adaptálása, és ezen lehetőségek megbeszélése. A szemléltetés, a közösen végrehajtott bemutató kezelések a hatékony betegedukáció fontos eszközei. Ha a beteg igényli, mélyebb, a betegsége megértését célzó ismereteket kell közölni. Ha erre nincs befogadó készség, akkor mindössze a teendők megbeszélésére kell szorítkozni. Mindenképpen fontos a páciens együttműködését megnyerni, érdeklődését felkelteni, motiváltságát kivívni. A terápiahűség alapja egy bizalmi kapcsolat a beteg és kezelője/informátorra (orvos, gyógyszerész, egészségügyi szakember) között. Az edukációban a sorstársakat tömörítő betegszervezetek fontos szerepet játszhatnak.



1. ábra. Az egészség-öngondoskodás szinterei

### 3.1. Egészségértés

Az egészségértés az egészséggel kapcsolatos alapvető információk és szolgáltatások elérésének, értelmezésének és megértésének képessége, valamint ezen információk és szolgáltatások felhasználásának kompetenciája az egészség fejlesztése érdekében. Az egészségműveltség komponensei a *tárgyi tudás* az egészséggel és megelőzéssel kapcsolatban, a tudás *alkalmazásának* képessége és az *ítélőképesség* az új információk helyes megítélésére. Az egészségértés vonatkozik az



egészségügyi ellátással kapcsolatos kompetenciákra, a prevenció ismeretekre és egészségfejlesztési felkészültségre.

Egy nemzetközi kutatási program folytatásaként 2015-ben a felnőtt magyar lakosság körében 1008 fő részvételével végeztek felmérést, és megállapították, hogy minden második embernek problémás az egészségértése Magyarországon, azaz nehezen képesek feldolgozni és alkalmazni az egészséggel, a betegséggel, valamint azok kezelésével kapcsolatos információkat. A hazai egészségértés tendenciájában hasonlít a más európai országokban meglévő trendekhez (például Ausztria), azonban mértéke valamivel alacsonyabb annál (Koltay–Kun, 2016).

A limitált egészségértés következményei egyaránt érintik a prevenció és a betegségek kezelésének területét. Alacsonyabb részvételi arány tapasztalható alacsony egészségértésű egyének esetén egészségfejlesztési, betegségfelismerési programokon. Ezen csoportoknak kockázatosabb az egészségügyi döntéshozataluk, például nagyobb arányban dohányoznak. Amennyiben krónikus beteggé válnak, betegségüket kevésbé tudatosan kezelik, adherenciájuk rosszabb. Ez növeli az ellátó rendszerre háruló költségeket. Ugyancsak jelentősek a költségkihatásai a rossz egészségértés miatt megnövekedett időtartamú és gyakoribb kórházi kezeléseknél, de magasabbak a morbiditási, illetve korai halálozási mutatói is (Visscher et al., 2018).

### 3.2. Az egészségértés javításának eszközzrendszere

Az egészségértés egy átfogó nemzeti stratégia kidolgozása révén javítható, amely mindenki számára megfelelő hozzáférést biztosít az egészségügyi információkhoz. Kormány szintű és társadalom szintű problémakezelés szükséges, ami multiszektoriális feladat, túlmutat az egészségügy keretein, minden korosztályra kiterjedő hosszú távú programot képezve. Ezen stratégia alapja az oktatás, az egészségnevelés, amelynek kezdő lépéseit már egészen kisgyermekkoról, az óvodáktól alkalmazni kell. Az iskolákban a nemzeti alaptantervbe kell integrálni az egészségre nevelést. Az átadott információ minőségét és az információátadás módját, eszközeit úgy kell kialakítani, hogy életre szóló elköteleződés alakuljon ki az egészséges életmódhoz, betegségmegelőzéshez.

A felnőtt lakosság egészségműveltségi színtere a média, a tömegkommunikáció eszközzrendszerével fejleszthető elsődlegesen. A közmédiában olyan egészség-népszerűsítő műsorok közvetítése szükséges, amelyek a lakosság széles rétegeihez eljutva képesek felkelteni ezen rétegek érdeklődését a téma iránt. Az információ eljuttatásában a nyomtatott sajtó mellett támaszkodni kell az internetes, mobil eszközökön elérhető megoldásokra. Munkahelyi egészségügyi és jóléti programok ugyancsak hatékonyak lehetnek az egészséges életmód ösztönzésében, életviteli döntések javításában.

### 3.3. Információforrások, információközvetítés

Egyértelműen kijelenthető, hogy a lakosság tájékozódásának egyik legfontosabb eszköze ma az internet. A folyamatos internet-kapcsolattal rendelkező okostelefonok, számítógépek használata ma minden korosztály esetén szinte általános. A betegséggel kapcsolatban felkeresett első információforrás az internet.

Míg néhány évtizeddel ezelőtt a nyomtatott anyagokban, az írott sajtóban és a médiában ellenőrzött egészségügyi információk jelentek meg, mára az információk szakmai hitelessége egyáltalán nem garantált. Az internet terjedésével ellenőrizetlen, sok esetben körülírt piaci érdekeket szolgáló tartalmak tűnnek fel. Az információk sokaságában komoly nehézséget okoz a megbízható információk kiszűrése. A források kritikus értékelése, a hamis információk felismerésének képessége elsajátítható, de jelenleg a lakosság jelentős része nem rendelkezik ilyen típusú készséggel. A hiteles egészséginformációk biztosítása érdekében a megfelelő tartalmak minősítésére, jelölésére lenne szükség. A védjegyek, tanúsító bizonylatok megismertetése a lakossággal, épp úgy, mint ezen rendszerek menedzselése állami szerepvállalás nélkül ugyanakkor elképzelhetetlen. A tartalmak létrehozásának támogatására pályázati források biztosítása szükséges.

A betegek helyes tájékoztatását segíthetjük az áltartalmak elleni küzdelemmel, a tévinformációk, bizonytalan terápiák elleni fellépéssel is. Fontos lenne a káros tartalmak blokkolásának széles körű médianyilvánossága a közösségi média eszköztárának igénybevételével. A téves információval való károkozás jogi következményeit feltétlenül ki kell dolgozni, és be kell építeni a jogrendünkbe (Kincses, 2016).

Napjainkban az internetes egészségügyi információszerzés mellett egyre inkább terjed a közösségi problémamegoldás, amikor a betegek nemcsak vakon keresnek információt az interneten, hanem *online* közösségekké szerveződve egy kapcsolati hálót hívnak segítségül. Az online betegközösségek tapasztalatot, információt osztanak meg egymás között, segítve a jobb informálódást betegségükkel kapcsolatban. Bár egyértelműen hasznos és a betegeket támogató kapcsolatokról van szó, hazánkban az online betegközösségek népszerűsége a nyugati országokétól elmarad.

## 4. PREVENCIÓ

Az egészségértő személyek lesznek az alanyai az egészségükért tevő, betegségeket megelőző aktivitásoknak. A 2019. évi ENSZ-közgyűlés határozata is felhívta a figyelmet arra, hogy az egészségügyi rendszerek kormányzati politikájában a prevenciót kell priorizálni megfelelő népegészségügyi programokkal, képzéssel, egészségkommunikációval és az egészségműveltség növelésével (UN, 2019). A preventív intézkedések bázisa az egyének egészséggel kapcsolatos ismereteinek az élet során való folyamatos bővítése.

## 5. KRÓNIKUS BETEGEK ÖNGONDOSKODÁS-TÁMOGATÁSA

A krónikus betegségek gyakoriságának növekedése, a krónikus betegséggel való egyre hosszabb élettartam következtében ezen populáció ellátása emésztí immár fel a teljes egészségügyi költségvetés 70-80%-át a fejlett világ országaiban. A betegek terápiavezetésbe, betegségük kezelésébe való aktívabb bevonása, öngondoskodásuk támogatása akár 30 százalékkal is csökkentheti az ellátórendszerre nehezedő terhelést. Olyan megosztott ellátás kialakítására van szükség, amelynek nemcsak az egészségügy, hanem a beteg és a hozzátartozója is részese. A WHO 2002-ben állásfoglalást adott ki egy új típusú, a „beteggel konzultáló” ellátási rend szükségességéről, és ma már világszerte megfigyelhetőek azok a trendek, amelyek a megfelelően felkészített beteget tekintik saját maga elsődleges ellátójának (Pruitt et al., 2002). Az évtizedekig ellátást igénylő krónikus betegségek – magas vérnyomás, cukorbetegség, koszorúér-betegség stb. – akkor uralhatók hosszú távon, ha az ellátási folyamatba aktívan bevonjuk magát a beteget és környezetét.

### 5.1. Az öngondoskodásra építő betegellátás és a klasszikus „nyugati típusú” betegellátás filozófiai különbsége

A klasszikus nyugati orvoslás a betegségek patofiziológiai folyamatainak megértésére, a patofiziológiai folyamatok kémiai, biológiai és fizikai hatások általi befolyásolására épül, melyben az egyes gyógymódok alkalmazásáról való döntés az orvos kezében összpontosul. Az öngondoskodásra épülő rendszerek ezzel szemben a betegség menedzselésének elsődleges felelősévé magát a beteget teszik, az egészségügyi ellátórendszer feladata ezen rendszerben a betegdöntések szakértő támogatása lesz.

Egy 2002-es WHO állásfoglalás az élethosszigan tartó betegségek kezelése kapcsán a következő pontokat minősítette legfontosabbnak ezen új ellátási rend kialakításához (Pruitt et al., 2002):

- Paradigmaváltás szükséges az epizódalapú akut, illetve az élethosszig tartó állapotokat ellátó krónikus ellátási modellek között. Integrált ellátórendszert kell kialakítani, mely a beteg különböző szintű ellátási igényeit egy rendszerben kezeli.
- Az ellátás fókuszába a beteg és családja állítandó.
- A beteget a betegségével való megküzdésben saját környezetében kell támogatni, ki kell lépni az ellátó intézet falai közül.
- Az új ellátási modellhez anyagi és humán erőforrásokat kell biztosítani.
- A szakmapolitikai környezetet az öngondoskodásra épülő rendszer szerint kell átalakítani.
- Biztosítani kell a szektorsemlegességet az öngondoskodás támogatási folyamatokban.
- Súlyt kell fektetni a megelőzésre a már kialakult betegségek ellátása mellett.

## 5.2. A krónikus állapot öngondoskodás-támogatás szintjei

A krónikus állapottal élő betegek öngondoskodás-támogatásánál a következő szintek kezelendők:

- Az *egyének szintje*, a beteg informálttá, motiválttá, döntésképpé tételével.
- Az *intézmények szintje*, a beteg aktív bevonására építő betegutak megszervezésével, az öngondoskodás támogatás tárgyi feltételeinek megteremtésével.
- *Nemzeti szint*, az öngondoskodás kérdésének megjelenítésével valamennyi egészségügyi szakember képzésében, az ellátó struktúra átalakításával, az új struktúra megfelelő finanszírozási ösztönzőinek kialakításával.

## 5.3. Szükséges betegkészségek az eredményes öngondoskodáshoz

Ahhoz, hogy bárki hatékonyan tudjon gondoskodni betegségére vezetéséről a következő képességekkel kell rendelkeznie:

- betegsége és a betegség kezelési elveinek ismerete;
- az egészségügyi ellátókkal partnerségben egyeztetett kezelési terv elfogadása;
- életmód-módosítás a rizikófaktorok mérséklésére;
- a fiziológiai mérési eredmények és a tünetek monitorozási képessége;
- aktív döntés felvállalása;
- magabiztosság és énhatékonyság a támogató szolgálat elérésében.

Az állapot természetes lefolyását, az előforduló hirtelen állapotváltozásokat készségszinten kell ismerniük a betegeknek. Ez az alapja az eredményes orvos-beteg együttműködésnek. Az öngondoskodás támogatásában ezért a hatékony ismeretanyag átadás alapvető.

A kezelés vezetésében való osztozás mindkét fél, azaz az orvos és a beteg oldaláról is változást jelent. Az orvosnak fel kell ajánlania ezt a megosztott felelősséget, a beteg elfogadása nélkül eredményes együttműködés azonban elképzelhetetlen.

Az életmód átalakítása számos krónikus betegség esetében perdöntő a betegség kimenetele szempontjából. A klasszikus nyugati medicinában a közfinanszírozott egészségügyi ellátások köréből a szabadalmakkal körülbástyázott piaci termékek, mint például gyógyszerek, egészségügyi eszközök, sajnos aránytalanul nagyobb részt hasítanak ki maguknak, mint a szabadalmakkal nehezen védhető életmódi intervenciók. Az egészségügyi rendszereknek ezen lobbierdekekkel torzított finanszírozási arányait az életmódi intervenciók pozitív diszkriminációjával kell ellensúlyozni.

A tünetek, paraméterek monitorozási képessége az állapotváltozások felismeréséhez elengedhetetlen. Az öngondoskodó betegeknek készségszinten kell értékelniük mérési eredményeiket, ismerve azon eltéréseket, melyeket saját ha-

táskörükben – például gyógyszerelésük módosításával – kezelhetnek. Az öngondoskodási folyamat egyik legkritikusabb döntése annak megítélése, melyek azok a helyzetek, amelyeket önállóan menedzselhetnek, és mikor indokolt a döntés áthárítása az egészségügyi ellátó rendszerre. Hasonlóan kritikus a külső segítségkérés időfaktorának megítélése. Vannak ugyanis olyan folyamatok, melyekkel a következő munkanapon vagy néhány munkanapon belül elegendő az egészségügyi ellátórendszerhez fordulni, más esetekben – például egy érelzáródás esetén – viszont néhány óras késlekedés már visszafordíthatatlan egészségkárosodást eredményez.

#### 5.4. Szükséges készségek az ellátók oldalán az eredményes öngondoskodási rendszer kialakításához

Ahogy a beteg oldalán, úgy az egészségügyi ellátók oldalán is új készségek kialakítása szükséges a betegek öngondoskodására építő rendszerek kialakításához. A szükséges ellátói készségek:

- a betegek önellátó képességének értékelése;
- betegek motiválása;
- életmód-módosítással befolyásolható a rizikófaktorok felismertetése, uralásának támogatása;
- megosztott ellátási rendszer kialakítása;
- hozzátartozók integrálása az ellátási folyamatba;
- a beteg monitorozásának képessége.

Az egyes betegek öngondoskodó képességének megítélése kulcsfontosságú, ez a rendszer azonban nem kellően kiforrott. Az öngondoskodó képesség megítélésére az egyszerű bináris (igen/nem) válaszrendszer helyett skálázott válaszrendszert célszerű kialakítani, mely kiterjed azon peremfeltételekre is, melyek teljesülése esetén a beteg képes meghatározott szintű öngondoskodásra. Ilyen peremfeltétel lehet például családtag vagy segítő szolgálat napi rendszerességű közreműködése az önellátás folyamatában.

A betegségükben öngondoskodásra motivált betegek a tájékozott betegekből lesznek, ezért a motiválás alapja a tudástranszfer az ellátó rendszer és a beteg között.

Valamennyi betegviselkedésre ható technikában kulcsszerepet játszik a beteg életmódjának átalakítása, ennek részeként a számtalan krónikus betegség alapjául szolgáló étkezési szokások átalakítása, illetve fizikailag aktív életmód kialakítása.

A hozzátartozó integrálása az ellátási láncba önellátásra képtelen személyeknél magától értetődő, de hasonlóan kulcsfontosságú lehet a fizikai és szellemi képességeikben hanyatló időskorúaknál. Tekintetbe kell vennünk azt is, hogy például a magyar társadalmi normák mellett a táplálkozási rend kialakítása jellemzően a családok női tagjának kezében van, ezért például a középkorú férfiak diétás

gyakorlatának sikeres átalakítása sok esetben csak ezen partnerek bevonásával valósítható meg.

A krónikus állapot változásait nem elég, ha csak a beteg képes leképezni, a kezelést felügyelő orvosnak is rendelkeznie kell megfelelő technológiával arra, hogy a betege öngondoskodásának sikerességét, illetve esetleges kudarcait meg tudja ítélni. Ezt szolgálhatják különböző betegnaplók (vérnyomásnapló, vércukornapló, táplálkozási napló, tréningnapló), de az információtechnológia ezen támogatások digitális platformra – például mobiltelefon, tablet – vitelével ideális megoldást nyújt az igényekhez alkalmazható, időben szabadon skálázható távfelügyelet megvalósítására. Fontos filozófiai kérdés, hogy ilyen esetben a naplózás elsődleges célja, hogy a beteg önmaga át tudja tekinteni adatait, meg tudjon győződni erőfeszítései sikeréről. Másodlagos – ennek ellenére nem elhanyagolható – funkció az egészségügyi személyzet távoli hozzáférése a monitorozott adatokhoz, majd az adatok áttekintésével a beteg segítése a megfelelő, önálló döntési gyakorlat kialakításában.

### 5.5. Beteg-együttműködés (adherencia)

A betegek egészségügyi kompetenciái óriási szerepet játszanak a terápiában és életmódváltásban való együttműködésben. Az orvosi utasításoknak megfelelés, a terápia követése (compliance) vagy még inkább az adherencia, azaz az egyén egészségügyi szakemberrel egyeztetett ajánlásoknak megfelelő viselkedése, partnersége a gyógyszersedés, diéta és az életmódváltás területén, a terápia sikerének kulcsa. Felmérések szerint a nagy betegszámú krónikus betegségek esetén a hazai adherenciaadatok a nemzetközi adatoknál rosszabbak. Egy OEP NEAK (Országos Egészségbiztosítási Pénztár/Nemzeti Egészségbiztosítási Alapkezelő) finanszírozási adatok alapján készült vizsgálat alapján egy évvel a kezelés megkezdését követően – kéthavi gyógyszerkihagyást tolerálva – a 2-es típusú cukorbetegség kezelésében 50% a terápiakövetés, a csontritkulás gyógyszereinél 32%, a benignus prosztata hiperplázia, valamint a lipidszintcsökkentő gyógyszerek alkalmazása esetén pedig mindössze 22% (Dóczy–Mészáros, 2013). Az elmaradó terápiás eredmények jelentős többletterhet okoznak, nő a rehospitalizáció aránya (5–10%), romlik a betegek életminősége, életkilátása.

A beteg-együttműködésben szerepet játszanak a betegtől függő tényezők, mint a beteg attitűdje, motiváltsága, felelőssége, ismereteinek hiánya, a mellékhatásoktól való félelem vagy a kezelés szükségességének el nem fogadása. Az adherencia azonban ennél komplexebb. Társadalmi-gazdasági tényezők, szociológiai, szociodemográfiai szempontok, az egészségügyi ellátás szervezettsége, a betegoktatási kapacitás, a várólisták és a terápiával kapcsolatos tényezők, mint a kezelés komplexitása, mellékhatások, állapotjavulás észlelése is jelentősen befolyásolják a betegek terápiahűségét.

A beteg-együttműködés javítása jelentős egészségnyereséget és költségmegtakarítást hozhat. Az adherencia javítása érdekében több szinten van szükség intézkedésekre, az *orvos*, a *beteg*, a *gyógyszeres kezelés* és az *egészségügyi ellátórendszer* szintjén. Az *egészségügyi rendszer* a monitorozó rendszerek fejlesztésével és az egészségügyi szolgáltatók együttműködésének javításával járulhat hozzá az adherencia fejlesztéséhez. Felhasználóbarát, a *gyógyszeres terápiát* egyszerűsítő gyógyszerkészítmények (például egytablettás kombinációk) ugyancsak segíthetik a jobb terápiahűséget. A betegtájékoztatás javítása, hatékonyabb *orvosi* tanácsadás, a szakellátókkal, gyógyszerészekkel, centrumokkal, betegszervezetekkel való szorosabb együttműködés kialakítása is kedvező hatással van a beteg-együttműködésre.

#### 5.6. Betegszervezetek szerepe az öngondoskodás megszervezésében

Az egészségügyi információ beteg által történő dekódolása és annak végrehajtása kulcsfontosságú valamennyi, de különösen a krónikus betegségek kimenetelében. Milliárdokban mérhető költségek és megélhető életévek mennek kárba amiatt, hogy a beteg nem tudja, nem érti, vagy esetleg nem akarja mindazt megtenni, ami a maximális egészségnyereség eléréséhez adott betegségtípusban számára szükséges lenne. Bármennyit költhetünk egészségügyi programokra, gyógyszerekre, a sikeres terápia kulcsa a krónikus betegségekben részben vagy egészben a beteg kezében van. Az ellátó intézmények falain kívül a beteg szürke zónába kerül. Mindaz, amit tesz, vagy nem tesz, láthatatlan az egészségügyi ellátórendszer számára, az döntően az informáltságán, egészségértésén és környezetén múlik. A krónikus betegek öngondoskodási folyamatában felértékelődnek a betegszervezetek, melyek tapasztalt szakértőkkel, sorstárs-beteg segítőkkel igen sokat javíthatnak a komplex ellátási folyamat hatékonyságán. A betegszervezetek a betegségek kezelését és betegjogot támogató non-profit szervezetek. Elsődleges céljuk, hogy a betegeket közösségbe illesztve motiválttá, képzetté tegyék, javítsák a terápiahűséget, illetve népszerűsítsék az egészséges életmódmintákat. A betegszervezetek a betegek és az orvosi ellátás között hivatottak a híd szerepét betölteni. Kétirányú tolmácsként közvetíthetik a szakma elvárásait a betegek nyelvén a betegek felé, ugyanakkor az érintett csoport igényeit, problémáit a szakma felé (Grózli, 2019). Az egyértelműen hiteles információk közvetítése kihasználja a betegek közötti kommunikációt, mivel a betegséggel eredményesen megbirkózó sorstársak szerepe felbecsülhetetlen. A betegszervezeti közösségeket gyakran különböző programok, világnapok, világjátékok, sportesemények stb. is erősítik. A betegszervezetek munkatársai a leggyakrabban a betegségben érintettek vagy alkalmi, laikus önkéntesek. A szervezetek finanszírozása, fenntarthatósága nem megoldott, jellemzően alkalmi támogatásokból, adományokból, legtöbbször a közreműködők önkéntes munkájával folytatják tevékenységüket. A betegszerve-

zetek által elérhető legtöbb támogatás célzott programokra szól, így a szervezetek működési költségeinek előteremtése állandó feszültségforrást képez, csökkentve ezáltal a tényleges tevékenységre fordítható energiát. Mivel a betegszervezetek edukációs tevékenysége és közösségformáló ereje a gyógyító munka integráns része, fontos lenne fenntarthatóságuk érdekében gazdálkodásukat biztos pénzügyi alapokra helyezni. Törekedni kell arra, hogy életpályamodellként is vonzó legyen a betegszervezetekben végzett szakszerű segítő munka.

### 5.7. Gyógyszerészi gondozás

A gyógyszerészi gondozás a betegek öngondoskodását, gyógyszerhasználatát segítő és az egészségmegőrzést támogató gyógyszerészi tevékenység, amelynek szakmai és jogi keretei hazánkban 2008-ban jöttek létre. A gyógyszertárak – Magyarországon jogi értelmezés szerint is – az egészségügyi alapellátási rendszer intézményei, melyek a betegek számára a legkönnyebben elérhetők. Becslések szerint a napi 10-12 órás nyitvatartás során 600 000 lakos fordul meg a gyógyszertárakban, ami kiváló lehetőséget kínál az egészségműveltség, a felelős egészségügyi öngondoskodás hiteles közvetítésére. Különösen a kistélelüléseken van meg annak a lehetősége, hogy a gyógyszerész élethosszig nyomon követhesse a páciensét, de hasonló szoros gyógyszerész-beteg kontaktusok városi gyógyszertárakban is kialakulnak. Ezek a kapcsolatok lehetőséget adnak arra, hogy a gyógyszerész átlássa a beteg teljes gyógyszerelését, valamint az egyéb kiegészítő termékek (például étrend-kiegészítők) fogyasztását. Amennyiben a gyógyszerész és a beteg között kialakul a megfelelő bizalmi kapcsolat, a köztük folyó kommunikáció révén fény derülhet gyógyszerelési hibákra, eloszlatathatók az öngyógyítással kapcsolatos tévhitek, és a gyógyszerész segítheti a beteget gyógyszereszedésének folyamatos feljegyzésében. A gyógyszerészek gondozási tevékenységének támogatására a Gyógyszerészi Gondozás Szakmai Bizottság protokollokat dolgoz ki; már rendelkezésre állnak a metabolikus szindróma, asztma, BPH, COPD, derékfájás kezelésére vonatkozó és várandós-gondozási irányelvek.

A gyógyszertárak népegészségügyi tanácsadási szerepet is betöltenek, az utóbbi időben egyre intenzívebb a feladatvállalásuk népegészségügyi programokban, mint például az influenzaoltás népszerűsítése, a vakcinálás támogatása, a dohányzásról való leszoktatás, az allergiaprogram, a vastagbél-szűrési program vagy az étrend-kiegészítőkkel kapcsolatos intézkedések. A jól működő gyógyszerészi gondozási tevékenység csökkentheti a gyógyszerekkel kapcsolatos ártalmakat és a hospitalizációt, akár 10%-os mértékben is. Enyhítheti az idősödő háziorvosi kar és a sürgősségi osztályok túlterheltsége miatti problémákat azáltal, hogy szerepet vállal különféle tesztek elvégzésében, szűrőprogramokban, és életmód-tanácsadást végez.



Az eltelt évtizedekben a gyógyszerészeti szakmai szervezetek folyamatosan munkálkodtak a lehetséges feladatokra vonatkozó standardok széles körű megismertetésén, a napi gyakorlat ez irányú harmonizálásán. A jobb hatékonyság érdekében javítandó a gyógyszerészi gondozás szervezettsége, kívánatos lenne a patikák specializációja egyes gondozási szerepekre, vagy ilyen egészségügyi centrumok létrehozása. Sajnos a gyógyszerészi gondozás ma a gyógyszerészek önként vállalt tevékenysége, tényleges erkölcsi és anyagi elismerése még nem megoldott, illetve társadalmi jelentősége, haszna nem felismert, és nem kellően kihasznált.

#### 5.8. A telemedicina mint az öngondoskodást támogató eszköz

A krónikus betegek öngondoskodása kapcsán szót kell ejtenünk a telemedicina kínálta lehetőségekről. A telemedicina távközlési és informatikai technológiákat alkalmaz az egészségügyi ellátás javítása érdekében. Olyan centrális és egységes informatikai megoldást biztosít, amely hatékonyan összeköti a betegeket a monitorozó egészségügyi okoseszközök, illetve klinikai telemedicina műszerek révén az intézményi informatikai rendszerekkel. Az orvos ezáltal automatikus visszajelzést kaphat a beteg státuszáról, gyógyszereléséről, az alkalmazott terápia hatékonyságáról. A beteg intenzívebben kerül bevonásra saját terápiájának megítélésébe, vezetésébe, ami javíthatja együttműködési készségét, motivációját, úgy a gyógyszereszedés, mint a diéta vagy a fizikai aktivitás vonatkozásában (Győrffy, 2019). A digitális eszközök elterjesztéséhez, széles körű bevezetéséhez komplex edukációra van szükség mind az orvosok, mind a betegek részére. Mivel az információs technológia folyamatosan csökkenő költségű ágazat, alkalmazásának szélesítése a digitalizáció állami támogatásával – a nyugat-európai országokhoz hasonlóan – Magyarországon is indokolt.

### 6. KÖVETKEZTETÉSEK

A jövő egészségügyi ellátásában a passzív betegszerepen alapuló orvos-beteg kapcsolatot a kölcsönösségen, partnerségen alapuló viszonynak kell felváltania. A beteg úgy tud aktív szerepet játszani egészségének, betegségének menedzselésében, ha megfelelően tájékozott, és felkészült erre a szerepre. Az egészségértés fejlesztését az iskolákban kell elindítani, majd az élethosszig tartó tanulás részévé kell tenni. A krónikus betegségekben szenvedők növekvő ellátási igényének kezelésére speciális öngondoskodást támogató rendszerek életre hívása szükséges, melyek megfelelően összehangoltak, és integrálódnak az ellátó struktúrába. Hazánkban is egységes keretrendszert kell kiépíteni, mely megteremti a betegek befogadóképességéhez igazított betegedukáció feltételeit, kialakítja a krónikus

betegségekben fontos életmódváltás-támogatás hatásos technikáit. Az öngondoskodás megteremtésében felértékelődnek a betegszervezetek és a nem orvosi diplomás egészségügyi szakemberek (gyógyszerészek, MSC/BSC-diplomás ápolók, dietetikusok, gyógytornászok). Építeni kell a rohamosan fejlődő infokommunikációs technológiák alkalmazására, a betegadatokon alapuló intelligens döntéstámogató megoldások alkalmazására, illetve a távkonzultációs lehetőségek jobb kihasználására.

## IRODALOM

- Dóczy V. – Mészáros Á. (2013): Beteg-együttműködés, módszertani kérdések és hazai vizsgálatok. *Acta Pharmaceutica Hungarica*, 83, 13–27. <https://bit.ly/35YUbl0>
- Grózli Cs. (2019): Rajtad is múlik! Képzett beteg edukációs program tapasztalatai szervátültetettéknél. *IME – Interdiszciplinális Magyar Egészségügy*, 18, 5, 32–35.
- Györfly Zs. (2019): E-páciensek és digitális gyógyítók. *Magyar Tudomány*, 180, 10, 1471–1485. [https://mersz.hu/hivatkozas/matud\\_f30146#matud\\_f30146](https://mersz.hu/hivatkozas/matud_f30146#matud_f30146)
- Kincses Gy. (2016): Lesznek-e útjelzők az információk Babelében? *Interdiszciplináris Magyar Egészségügy*, 15, 7, 7–10.
- Koltay J. A. – Kun E. (2016): A magyarországi egészségértés nemzetközi összehasonlításban. *Egészségfejlesztés*, 57, 3, 3–20. <http://folyoirat.nefi.hu/index.php?journal=Egeszsegfejlesztes&page=article&op=download&path%5B%5D=62&path%5B%5D=pdf>
- Pruitt, S. – Annandale, S. – Epping-Jordan, J. et al. (2002): *Innovative Care for Chronic Conditions—Global Report* [Internet]. Geneva, Switzerland: WHO, <https://www.who.int/chp/knowledge/publications/icccglobalreport.pdf>
- UN (2019): *UN General Assembly 18 October 2019, Seventy-fourth Session Global Health and Foreign Policy. Political Declaration of the High-level Meeting on Universal Health Coverage*. A/RES/74/2. <https://undocs.org/en/A/RES/74/2>
- Visser, B. B. – Steunenberg, B. – Heijmans, M. et al. (2018): Evidence on the Effectiveness of Health Literacy Interventions in the EU: A Systematic Review. *BMC Public Health*, 18, 1, Article number 1414. <https://bmcpubhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-018-6331-7>

# KIRÁLY TIBOR IGAZSÁGA

## TIBOR KIRÁLY'S TRUTH

Korinek László

az MTA rendes tagja, professor emeritus, Pécsi Tudományegyetem Állam- és Jogtudományi Kar  
laszlo.korinek@gmail.com

### ÖSSZEFOGLALÁS

Király Tibor, az MTA legidősebb tagja 2020. július 11-én tölti be 100. évét. A jubiláns maradandót alkotott a felsőoktatásban, a tudományszervezésben, valamint a bünyügyi tudományok szinte minden területén. Jelen tanulmány életművének azt a kiemelkedő értékét idézi fel, amikor a koncepciók perек lezárultával elsőként érvelt a tisztességes eljárás mellett.

### ABSTRACT

Tibor Kiraly is the oldest member of the Hungarian Academy of Sciences. He will be 100 years old on the 11<sup>th</sup> July 2020. The jubilee has produced imperishable values in higher education, in organization of research, and in almost all fields of criminal sciences. The present study recalls the outstanding achievement of his life work that he firstly argued for institutionalizing fair procedure after the conclusion of shop-window trials.

**Kulcsszavak:** perbeli igazság, ártatlanság véelme, tisztességes eljárás, kínvallatás tilalma, emberi jogok

**Keywords:** truth in court process, presumption of innocence, fair procedure, prohibition of torture, human rights

A kriminológus számára Király Tibor munkássága óhatatlanul azt a kérdést veti fel, hogy van-e összefüggés az általa kifejtett tudományos tételek és a bűnözés valósága, annak alakulása között. Ő maga büntetőjog-tudományi – főleg, de távolról sem kizárólagosan processzuális – keretek között végezte eddigi kutatásait. A közhatalmi tevékenység és a bűnözés közötti kapcsolat behatóbb vizsgálata a legutóbbi évtizedekben került előtérbe (Gönczöl et al., 2006, 597–708.), így az eljárási igazságosság szerepe és jelentősége a megelőzésben a kriminológia számára is fontossá vált (Tyler, 2003). Meggyőző érvek, sőt, adatok támasztják alá, hogy

ez az érték befolyásolja az embereknek a jogalkalmazáshoz való viszonyulását, ezáltal pedig normakövető magatartásukat is. Ilyen megközelítésben egyértelműen kijelenthető: Király professzornak a tisztességes eljárás követelményeiről következetesen vallott nézetei prevenciós szempontból is irányadók. Kétségtelen tény, hogy nem Király Tibor dolgozta ki a garanciális szabályokat, tartalmuk kibontásában, helyes értelmezésük és alkalmazásuk meghatározásában azonban jelentősen gazdagította az elmélet és a gyakorlat tudástárát. Példaképpen említhetők az ártatlanság vélelméről írt gondolatai (Király, 1958). Ebben a tisztelgő írásban az univerzális értékek melletti tudósi és emberi kiállását emeljük ki, annak hangsúlyozása mellett, hogy érvei a jogfejlődés szempontjából sajnálatosnak nevezhető módon ma is aktuálisak, követendők. Király Tibor már akkor – a rendszerváltozást jóval megelőző években – egyértelműen állást foglalt a törvények uralmán alapuló büntető igazságszolgáltatás mellett, amikor ez egyáltalában nem volt magától értetődő. Ma már a tisztességes eljárás elvei a maguk közvetlenségében általánosan elfogadottak, de azok tényleges megvalósulása a kifejtendők szerint igencsak problematikus. Ezért is szükséges rámutatni a büntetőjog-tudomány kiemelkedő képviselőjének, Király Tibornak az eljárási igazságosság alapjait jogi oldalról megerősítő tudományos teljesítményére.

#### AZ ELJÁRÁSI IGAZSÁGSSÁG

A kontroll-kriminológia új szempontjainak előtérbe kerülése óhatatlanul ráirányította a figyelmet az állam és az önkormányzatok szerveinek magatartására, a terheltekhez és másokhoz való viszonyulására. A kereteket döntően az eljárási normák határozzák meg. Ha tehát a közhatalom és az emberek közötti interakciónak a bűnözés kezelése körében jelentőséget tulajdonítunk – márpedig ez a helyzet –, akkor a processzuális szabályok és azok alkalmazása rendkívül fontossá válik. Azt lehet mondani, hogy a tisztességes büntető igazságszolgáltatás még az anyagi igazság megállapításának követelményét is felülírja. Ahogyan azt a magyar Alkotmánybíróság kifejtette:

„Az anyagi igazság érvényesülésére éppúgy nem biztosít (nem biztosíthat) alanyi jogot az Alkotmány, mint ahogy arra sem, hogy egyetlen bírósági ítélet se legyen törvénytörő. Ezek a jogállam céljai és feladatai, amelyek megvalósulása érdekében megfelelő – elsősorban eljárási garanciákat nyújtó – intézményeket kell létrehozni és az érintett alanyi jogokat garantálni. Az Alkotmány tehát az anyagi igazság érvényre juttatásához szükséges és az esetek többségében alkalmas eljárásra ad jogot.” Hangsúlyozni kell, hogy ez a megállapítás sem tagadja a valóság feltárásának szükségességét, csupán annak feltétlen kikényszeríthetőségét nem ismeri el, nyilvánvalóan helyesen. Ezért a tétel nem ütközik Király Tibornak a *Büntetőítélet a jog határán* című művében lefektetett gondolataival.

Az emberek az eljáráson keresztül kapcsolódnak a büntető igazságszolgáltatáshoz. Éppen ezért kiemelkedő jelentősége van a velük való bánásmódnak. A közhatalmi normákat is a hatóságok, ügyészségek és bíróságok tagjainak a magatartása közvetíti mindenki felé, beleértve a média útján vagy éppen nyilvános tárgyaláson hallgatóként való részvétel útján szerzett tapasztalatokat. A törvényes, tisztességes állami cselekvés tehát rendkívül fontos. Az eljárási igazságosság azonban ennél többet jelent. Helyesen mutatnak rá a kérdéssel foglalkozó kutatók, hogy a személyes részvétel, a döntések kialakítására gyakorolható befolyás teremti meg a lehetőséget a normák belsővé tételére. A processzus útján, annak értékeit is elsajátítva kerülhetnek közelebb az emberek az érdemi elvárások megértéséhez. A dolog persze nem egyszerű, de a mondottakkal összhangban juthatnak el a résztvevők és mások is a normakövetésben odáig, ami például az emberlés esetében magától értetődik: nem azért tartózkodunk a magatartástól, mert ellenkező esetben megbüntetnek, hanem azért, mert a törvénytől függetlenül is elítéljük mások életének a kioltását (Tyler, 1990).

Király Tibor számára alapkérdés ugyan, hogy milyen módon és mennyire lehet megközelíteni az anyagi igazságot, de nem bármi áron. Ez nem értelmezhető úgy, hogy a tisztességes eljárás követelményeit pusztán akadályként értelmezné. Világosan látja annak a jelentőségét, hogy a processzus nem kizárólag egy megismerési folyamat, hanem a hatalom gyakorlása is (Király, 1972, 311.). Annak a jelentősége, társadalmi hatása túlmutat az elkövetők azonosításának és megbüntetésének a szükségességén. „Ha a büntetőeljárásban megtartják az általánosan, nemzetközileg is elfogadott elveket; ha a bizonyítás nem aljasodik kényszervallatással, a védő meri ellátni tisztét, és a bíró megőrzi méltóságát, bizalmat kelt az igazságszolgáltatás iránt és reményt gyújt az ítéletre várókban.” (Király, 1972, 312.) Ez az eljárási igazságosság lényege. Az ítélethez vezető folyamatban az eljáró szervek értékeket közvetítenek, amelyek hatással vannak az emberek – nem csupán a terheltek – gondolkodására, és azon keresztül a magatartásukra is. Az idézett – magától értetődőnek tűnő – elvi követelmények sajnálatos módon nem a mind teljesebb megvalósulás irányába fejlődnek, noha az felelne meg a kívánatos trendnek. Érdemes olvasni Király Tibor munkáit: neki van igaza.

### A BÜNTETŐELJÁRÁS CÉLJA

Nehéz, sőt megalapozottan nem is lehet cáfolni azt, amit az ünnevelt a büntetőeljárás céljaként meghatározott. Eszerint az nem más, mint az igazság megállapítása, de a mondottak szerint nem bármi áron (Király, 1972, 139.). A valóság leképezése az ítéletben egyesek szerint nem lehet abszolút mérce, az igazság nem mindenkinek ugyanazt jelenti. Ebben az írásban inkább a kijelentés második felével, az eljárási garanciák kérdésével foglalkozunk.

Többről van szó, mint a tisztességes eljárás jogilag is értelmezhető követelményeiről. Azok természetesen kiindulási alapot képeznek, de az ítélkezésig terjedő folyamat elfogadottsága az abban tanúsított emberi magatartásoktól függ. Ki lehet jelenteni, hogy Király Tibor felismerte, sőt hangsúlyozta az eljárási igazságosság fontosságát. Ennek az eszmének ugyanis az a lényege, hogy a személyt nem szabad tárgyként, eszközként használni még akkor sem, ha ilyen módon tudnánk megközelíteni az anyagi igazságot.

Egy régi szovjet filmben a bürokrata főhős az utcán halad, miközben mindenki más ellenkező irányba megy. Valaki megkérdezi tőle: Elvtárs, a tömegekkel szemben? A válasz: Nem, a tömegek jönnek velem szemben. A tények ismeretének hiányában nem lehet azt mondani, hogy biztosan nem lehetett igaza. A történelem számos példát szolgáltatott arra, hogy akár hatalmas méretű politikai-társadalmi mozgásokkal szemben azokra kellett volna hallgatni, akik a veszélyekre figyelmeztettek.

### A TISZTESSÉGES ELJÁRÁS

Azt a következtetést, hogy Király Tibor nem a hatóságok és a bíróságok megismerő tevékenységét korlátozó tényezők visszaszorítása útján látta megvalósíthatónak az anyagi igazság feltárását célzó eljárás sikerét, már az 1962-ben megjelent munkájában is teljesen világossá tette. *A védelem és a védő a büntetőügyekben* címmel megjelent könyvében éppen a tisztességes eljárás fontos követelményeivel foglalkozik. Nem szorul bővebb bizonyításra, hogy az 1956-ot követő, számos esetben enyhén szólva is kétséges törvényességű perek többségének lezárását követően szükségessé vált a konszolidált szocializmus büntetőeljárásának szabályozása. Ez természetesen nem azt jelenti, hogy Király Tibornak a korábbi jogtipráshoz köze lett volna. Ellenkezőleg, az általa képviselt értékek kifejtése egyértelmű állásfoglalást jelentett a garanciákat sokszor nélkülöző jogalkalmazással szemben.

A konszolidált szocializmus kifejezés sem arra utal, hogy a jubiláns valamiféle markánsan kommunista, a fejlett alkotmányos demokráciák megoldásaitól gyökeresen eltérő rendszer kialakítását szorgalmazta. Valójában éppen a tisztességes eljárás elvi követelményeinek a politikai különbségektől a szakmai egység irányába történő elmozdítása olvasható ki igényként a védelemről szóló munkában. Király Tibor hangsúlyozta az ártatlanság vélemének fontosságát, a kontradiktórius megoldások előnyben részesítését a közhatalomtól való kiszolgáltatottságot megtestesítő inkvizitórius módszerekkel szemben.

Sajnálatos, hogy a tisztességes eljárásnak az *Emberi Jogok Egyetemes Nyilatkozatától* kezdődően vitathatatlanul univerzális, de már korábban is megfogalmazott követelményeit nem csupán fejlesztették a már jelzettek szerint, hanem azok

tényleges leépítése is megfigyelhető. A két tendencia csak látszólag mond ellent egymásnak. A jogvédelem erősítése a kifejezetten erre rendelt szervek tevékenységében megy végbe, míg a bűnüldözést érintő politikai és szakmai előírások, így azután maga a tevékenység is számos esetben intézményesen kérdőjelezi meg a tisztességes eljárás alapvető elveit. Sajnos világszerte.

A szervezett bűnözés, valamint a terrorizmus jelenségeinek elterjedése és romboló hatásuk fokozódása miatt a 20. század végétől a politikusok úgy érezték és érzik – nem teljesen alaptalanul –, hogy lépéskényszerbe kerültek. Az emberek határozott válaszokat vártak a békeidőben eddig soha nem tapasztalt fenyegetésekkel szemben. Sokféle intézkedés, rendelkezés született a maffia típusú bűnözés, valamint a politikai erőszak ellen. Ezek közös jellemzője, hogy a veszély fennállása nem engedte meg a tudományosan és társadalmi vitákon keresztül kiértelmezett megoldások bevezetését, azonnali reagálásra volt szükség. Előtérbe kerültek azok a sztereotípiák, amelyek a leglátványosabb, ámár nem feltétlenül hatékony változtatásokkal próbálták javítani a helyzetet. Ilyen például a rendőrség létszámának növelése, a bevándorlás korlátozása és sok más közhatalmi újítás. Ezek sorába illeszkedik az eljárási jogok szűkítése egyes csoportokkal és gyanúsított kategóriákkal szemben. A védelemhez való jog és más terhelti jogérvényesítési garancia megnyirbálása a bosszúra szomjas emberek kívánságának tett eleget. Bekövetkezett az is, amit Király Tibor a már hivatkozott 1972-es munkájában is visszatérítő példaként említett: a kínvallatás újbóli bevezetése (SSCI, 2014). Még hozzá alkotmányos köntösbe öltöztetve, vagyis legitim eszközként történő alkalmazását szorgalmazva. Nem csupán a diktatúrákban, hanem a törvények uralmát hirdető rendszerekben, a demokratikus jogállamokban is (Dershowitz, 2002; Brugger, 2000).

#### AZ ÁRTATLANSÁG VÉLELME

A tisztességes eljárás ezen elvi követelménye visszatérő téma Király Tibor műveiben. Már 1958-ban részletesen kifejtette álláspontját a vélelem természetét és jelentőségét illetően. Ez utóbbival kapcsolatban az akkori szocialista hatalomgyakorláshoz kötődő egyes ellenvéleményekkel szemben nagyon határozottan leszögezte: „A szocialista jog nem dobálhatja ki az ablakon a demokratikus intézményeket és elveket azzal a felkiáltással, hogy liberális szaguk van. Ilyen eljárással az egész büntető eljárási jogot meg lehetne fosztani mostani demokratikus és ezzel szocialista jellegétől is.” (Király, 1958, 280.)

A „liberális szag” a mai politikai viszonyok között is többek számára negatív minősítést eredményez. Az ártatlanság vélelmét ugyan közvetlenül nem érik támadások, de érvényesülése több területen is problematikus, a vele összefüggő, jórészt belőle fakadó követelményekkel együtt. Az eljárási igazságosságot ala-

pozza meg Király Tibor következő megállapítása: „A terhelt – az ellenkező bizonyításáig – a törvény szerint ártatlan. Ebből következik, hogy őt ügyfélként kell kezelni, úgy kell vele bánni, mintha ártatlan volna. Az ártatlanság véelme végső fokon a büntető eljárás egyik alapelve.” (Király, 1958, 279.)

## ZÁRSZÓ

Mint a fentiekből kitűnik, a jubiláns a koncepciók peres utolsó hullámaival egy időben már felemelte szavát a jogállamiság, a tisztességes eljárás, a kínvallatás tilalma mellett. Elévülhetetlen érdeme, hogy ezek az örök érvényű igazságok újra visszakérültek a magyar jogi közgondolkodásba. Ezek olyan értékek, amelyeket minden jogász generációnak illik emlékezetébe vésni, ahogy azt is, hogy Király Tibor milyen nagy szolgálatot tett a magyar jogi közgondolkodásnak.

## IRODALOM

- Brugger, W. (2000): Vom unbedingten Verbot der Folter zum bedingten Recht auf Folter? *Juristenzeitung*, 4, 165–216. <https://www.jstor.org/stable/20825265?seq=1>
- Dershowitz, A. M. (2002): *Why Terrorism Works*. New Haven–London: Yale University Press
- Gönczöl K. – Kerecsi K. – Korinek L. et al. (szerk.) (2006): *Kriminológia – Szakkriminológia*. Budapest: Complex Kiadó, 597–708.
- Király T. (1958): Az ártatlanság véelme. *Jogtudományi Közlöny*, 7, 277–289.
- Király T. (1962): *A védelem és a védő a büntetőügyekben*. Budapest: Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó
- Király T. (1972): *Büntetőtétele a jog határán*. Budapest: Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó
- Király T. (1987): Mit ér az ártatlanság véelme? *Magyar Jog*, 12, 1019–1026.
- SSCI – Senate Select Committee on Intelligence (2014): *Committee Study on the Central Intelligence Agency's Detention and Interrogation Program*. Washington D. C.: US Senate, <https://www.feinstein.senate.gov/public/index.cfm/senate-intelligence-committee-study-on-cia-detention-and-interrogation-program>
- Tyler, T. (1990): *Why People Obey the Law?* New Haven–London: Yale University Press
- Tyler, T. (2003): Procedural Justice, Legitimacy, and the Effective Rule of Law. *Crime and Justice*, 30, 283–357. <https://www.jstor.org/stable/1147701?seq=1>



## Vélemény, vita

### MTA DIAGNOSZTIKAI BIZOTTSÁG ÁLLÁSFOGLALÁSA A daganatos betegségek esetében a betegút-menedzsment megerősítése, kontrollja

### STATEMENT OF THE COMMITTEE ON DIAGNOSTICS OF THE HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES Affirming and Controlling the Management of Patient Journey for Cancer Patients

Az MTA Diagnosztikai Bizottsága a daganatos betegségek esetében a betegút-menedzsment megerősítését és kontrollját különösen fontosnak tartja, kiemelve a következőket:

1. a Nemzeti Népegészségügyi Program Onkológiai pillérének alapvető feltevétele a daganatos betegutak pontos menedzselése, melyek csomópontjai a terápiás döntéseket meghozó onkoteamek kell legyenek;
2. minden magán és állami szolgáltató esetében szükséges, hogy tevékenységük az onkoteamekben történő döntéshozatalnak megfelelően történjen;
3. onkoteamet csak állami egészségügyi ellátó üzemeltethet.

A fentiek miatt az MTA Diagnosztikai Bizottsága javasolja az államtitkárság és a szakmai kollégium irányába, a daganatos betegségek esetében a betegút-menedzsment megerősítését, kontrollját, különös tekintettel a törvényi megfelelésre (onkoteamek működése), valamint a daganatos betegségek kezelése során az állami és a magánellátás kontrollált együttműködési lehetőségeinek kidolgozására.

## Könyvszemle

SIPOS JÚLIA GONDOZÁSÁBAN

### VÁLOGATÁS HARGITTAI ISTVÁN ÍRÁSAIBÓL

„Ha a tudományt zárt birodalomnak tekintjük, amely túlságosan elvont és bonyolult ahhoz, hogy az átlagember megérthesse, akkor a helytelen alkalmazás veszélyei nagyobbak. Ha viszont a széles közvélemény érdeklődik a tudományok iránt és törődik az eredményekkel – ha a *természettudomány* szépségét és társadalmi következményeit is sokkal gyakrabban tárgyaljuk az iskolákban éppúgy, mint a médiában vagy éppen az ebédlőasztalnál –, akkor sokkal kedvezőbbek lesznek az esélyeink, hogy megtudjuk, milyen valójában a világunk. Ezzel együtt a siker reményében próbálkozhatunk, hogy a magunk javára jobbá tegyük.” (Carl Sagan, amerikai asztrobiológus és ismeretterjesztő)

Amikor kedves barátom, Hargittai István akadémikus felkért, hogy írjak recenziót a *Tudományos felfedezések kultúrája és művészete* című angol nyelvű enciklopédiájáról, őszinte és nagy megtiszteltetést éreztem. Amikor megkaptam az A4-es formátumú, szöszedet nélkül is 470 oldalas könyvet, és átlapoztam, már meglehetősen elbátortalanodtam. Amikor viszont majd egy hónapja elkezdtem elmélyedni ebben a gigantikus összeállításban, már tudtam, hogy erről a hatalmas opusról én egyszerűen nem tudok, talán nem is lehet méltó és tárgyyszerű ismertetést írni.

Impresszióim, érzéseim, asszociációim keletkeztek erről a lenyűgöző életműről. Nem is a félszáznál is több világhírű természettudós káprázatos tudománya jelenti ezt a magasságot, hanem az a sokcsúcsú piramis, amit Hargittai István szintetikus rálátó igényessége és embersége az olvasó elé tár. Természetesen, mint kutató molekuláris biológus azonnal villódzni kezdtek a nevek, Arthur Kornberg, Francis Crick, David Baltimore, Sydney Brenner, Erwin Chargaff, Renato Dulbecco, Teller Ede, Wigner Jenő, Craig Venter, James Watson, Dmitrij Mengyelejev, Avram Hershko, hogy szinte csak taláломra néhány óriás nevét említsem. De vannak itt mások is, akiknek életműve egy-egy fényes fejezetet jelent a tágabb skálájú természettudományos arzenálban.

Hargittai István és ihlető társa, Magdi is jelen vannak a beszélgetéseken. Ők nem a formális interjúért, a „nagyember” egy-egy információmorzsájáért esdek-lő sznob módon dokumentáló személyek. A leírások, az interjúk kétséget sem

hagynak Hargittaiék felkészült tudásából, alapos és személyes, elmélyült ismereteikből, abból az elegáns tiszteletből, ami meg is illeti a megszólítottakat. Ugyanakkor, a megközelítés egy másik tudós egyenrangú barátságának a gesztusait sugallja. Hargittai beemeli az olvasót a szituációba, helyettünk kérdez, és helyettünk hallgatja a válaszokat, történeteket. Ott vagyunk szinte mi is – mint érdeklődő és kíváncsi olvasók –, „tegező” viszonyba kerülünk a méltán hírességgel. Aki persze szerény (mondhatni Hofi után, hogy van mire), és érzékelhetően jobban is érzi magát a tudomány egyenrangú képviselőjével, mint ha egy bálványásra kárhozottat piedesztálról lesnék a szónoklatát. Erdemi, tanulságos mondanivalójú emberekkel találkozhatunk, akik ilyen-olyan háttérrel, életúttal és sorssal partnerekként vesznek részt a beszélgetésekben. Nem kinyilatkoztatnak, hanem beszélgetnek. Hargittai István láthatóan örömet szerez nekik, többeknek, mint a híres *Candid Science* képviselőinek, azért is, mert a tiszteletét méltósággal és intelligens tudással képviselő partnernek nyílnak meg.

Tudomány és művészet, erről a két fogalomról sokunknak Leonardo da Vinci jut elsőre eszünkbe. A *Leonardo* nevű folyóiratra történő többszörös hivatkozások mellett örömmel fedezzük fel a zseniális művész és tudós Luca Paciolinak rajzolt híres csonkolt icozahedronját.

E könyvből tudtam meg, hogy Hargittai István a *Journal of Chemical Education* című folyóirat címlapjának rendszeres tervezője volt. A rotációs izomerek alakjáról Hargittai István Edgar Degas nyúlánk táncosnőit asszociálja, más szimmetriák formai analógiáiként magyar népi szöttesek mintáját mutatja be, ugyanúgy, ahogy egy polimer molekula hasonlatosságát láttatja Magdolnával együtt írt, a *Symmetry through the Eyes of a Chemist* című könyvükben. Egy Wiley-kiadványban alkotó módon veszi észre egy régi erdélyi hímzésben a kémiai konfigurációkra emlékeztető kis madárkamotívumokat.

Hargittai úgy szemléli a világot, annak művészi alkotásait, hogy közben ízig-vérig szerkezetkutató kémikus, illetve tágabban tekintve természettudós marad. A madridi és a pekingi oroszlanok talpa alatti gömbformákban fullerén alakzatokat vizualizál. Hasonlóan a pentagonális-hexagonális kőformálásokról Hargittainak a szuperstabil C60-struktúrák idéződnek fel. Tükröződő formáknál eszébe jutnak a magyar batikolt minták, sőt még a Tungsram-logó is. Mint a hatvanas évek elején eszmélő fiatal biológuspalánta a DNS kettős helikális ábrázolásairól és annak művészi képi narratíváiról nem is beszélek.

Hargittai látásmódja egyszerre a szenvedélyes szerkezetkutató kémikus és a művészeti absztrakciókra érzékeny polihisztor ember víziója a világról. Nem hagyja közömbösen a Mackay-féle polihedron szerkezetű pentagonális hópelyhek fraktálszimmetriája sem.

A kötetben többször találkozunk Orosz István kitűnő és nagyon egyéni grafikáival, aki Hargittai tudóstársainak (Oláh György, Pierre Curie, Aleksander Kitaigorodski) portréját alkotta meg sajátos egyéni ábrázolásaival.

Valahol olvastam, hogy a tapasztalatból született ismeret gépies, és csak az az ismeret tudományos, amely az elmében születik, és ott végződik. Az elme és a lélek harmóniájában lépésnyi távolságra van a művészet, minden emberi tevékenység legihletettebb megnyilvánulása.

Hargittai István és Hargittai Magdolna fia, Balázs, a könyv szerkesztője bevezetőjében így ír apjáról és gyerekkoráról:

„...élvezet volt ebben a családban felnőni, de ez egyben meglehetősen nagy igényeket is támasztott irányunkban... [szüleink] mindig azt mondták nekünk, hogy boldognak akarnak látni bennünket, ami nem feltétlenül kell, hogy jelentse a világban való sikerességet... Ez az összeállítás jól tükrözi István életének sokszínű aktivitását ... bepillantást enged mások érdeklődésébe és kétségeibe is a XX–XXI. század fordulóján... Minthogy a tudományos eredmények egyre gyorsabban évülnek el, lehet, hogy ez a »mellékterméke« [apám] életének időtállóbb lesz, mint kutatási eredményei...”

Kedves Balázs, mint e remek enciklopédikus igényességű könyv ismertetője, miközben őszintén gratulálok ehhez a fantasztikus kiadványhoz, teljes tisztelettel és egyben határozottsággal ezzel az utolsó megállapításoddal nem értek egyet. Hargittai István egész motivációjában, empatikus gesztusaiban, beszélgetéseiben, művészi látásában és vonzódásában igenis elválaszthatatlanul benne volt a tudomány szeretete, pontosabban a szépség meglátása a kutatói életpálya egyes elemeiben. Így és csak így tudott ennyire hiteles és igaz ismeretségekre szert tenni, és azokat ennyire beavatóan átadni olvasóinak.

„Ne félj csodálkozni. Ne félj kérdezni mások szerint furcsa kérdéseket, mondjuk »Miért kék az ég?«. Ezekben a kérdésekben érdekes válasz rejlik, mert ez az, amiről a *természettudomány* szól, megérteni a természetet, és nem félni feltenni azt a kérdést, hogy »Miért?«.” (Amy Mainzer, amerikai csillagász és asztrofizikus)

*(Balázs Hargittai editor: Culture and Art of Scientific Discoveries – A Selection of István Hargittai's Writings. Springer Nature Switzerland AG, 2019, xxiv+482 o.)*

Falus András

az MTA rendes tagja

## EMBERI JOGI ENCIKLOPÉDIA

Emberi jogokkal mindennap találkozunk: a politikai nyelvben éppúgy, mint a jogiban, de mára a mindennapi nyelvben sem ritka, hogy valaki – okkal, ok nélkül – emberi jogának tart valamit. Az emberi jogokra való minden ilyen hivatkozásban közös, hogy emberi jogon mindig fontos, erős, az egyént feltétlenül megillető jogot értünk és igénylünk. Minden fontos társadalmi cél előbb-utóbb emberi jog lesz: így van (emberi) jog a vízhez, az egészséges környezethez, az élelmezéshez, az egészséghez, a fejlődéshez és így tovább. Az emberi joggá minősítés a követelés vagy igény fontosságát nyomatékosítja, mivel az emberi jog feltétlenül biztosítandó jogot jelent.

Az emberi jogok modern eszmetörténete a 18. század végétől kezdődik; a természetjogot ideértve ez a történet azonban sokkal hosszabb. Mégis, gyakorlati és tételes jogi jelentősége a modern alkotmányos államokban és a nemzetközi jogban a második világháború után lett; ennek egyik oka az alapjogi alkotmánybíráskodás elterjedése a világon (különösen a 20. század utolsó harmadában), a másik az emberi jogok nemzetközi jogi védelme, különösen a regionális emberi jogi bíróságok – mint az Emberi Jogok Európai Bírósága és az Amerikai Emberi Jog Bíróság – egyre hatásosabb tevékenysége. Az emberi jogi érvelés a világpolitikában nem követi ezeket szorosan, de mindenképpen figyelemre méltó, hogy az emberi jogok (különben szelektív) védelme a külpolitikájában – retorikai fogásként, ritkábban őszintén – különben nehezen magyarázható lépések igazolására vonzó érv.

Jogász-jogi szempontból az emberi jogok minősítése sokféle lehet. Az ünnepléses, de jogilag nem kötelező deklarálástól az alkotmányosan garantált és jogi eljárással védett alapjogokig sok minden nevezhető emberi jognak. Külön kérdés a nemzetközi jogban biztosított emberi jogok jogi jellege, mert nem illik a nemzetközi jognak az államok egymás közötti kapcsolatát szabályozó rendszerébe: az emberi jogokat védő immár igen nagy számú (száz fölötti) nemzetközi egyezmény nem állam és állam kapcsolatát szabályozza, hanem az állam és az ember, döntően saját állampolgára viszonyát, amely hagyományosan a nemzetközi jog szerint az állam „belügye” (belső joghatóságában tartozó kérdés), amelybe más államok nem avatkozhatnak be, egyáltalán *jogilag* nem is foglalkozhatnak vele, lévén az állam saját – nemzetközi jogi szempontból: belső – jogrendszerére, azaz szuverenitására tartozó tárgy.

Az emberi jogokat a jogrendszernek, államnak feltétlenül biztosítania kell: a biztosítás lényege, hogy az emberi jogokat – ezek mindig normák – a jogrendszernek és kivált a joghoz kötött állami szerveknek kell pozitív jogként megvaló-

sítaniuk és megtartaniuk. Ha a tortúra tilalma emberi jog, akkor az állam egyetlen jogszabálya sem engedhet meg kínzást, állami szerveinek pedig meg kell tiltania alkalmazását, s e tilalom érvényesülését jogi eszközökkel biztosítani kell.

Mindezekről a kérdésekről és még sok minden másról olvashat az érdeklődő a nemrég megjelent *Emberi jogi enciklopédiában*. Az enciklopédia új műfaj az emberi jogi összefoglaló művek között a magyar szakirodalomban. Természetesen jelentek meg korábban az emberi jogokról szóló összefoglaló művek, mint Szabó Imre úttörő, 1948-ban megjelent *Az emberi jogok mai értelme* című könyve, továbbá Kovács István és Szabó Imre *Az emberi jogok dokumentumokban* (1976) című két kiadást megért igen fontos gyűjteménye a szocialista korszakban, utóbb a Halmai Gábor és Tóth Gábor Attila szerkesztette *Emberi jogok* című átfogó tanulmánykötet. A méltányosság kívánja, hogy említsük Kis János *Vannak-e emberi jogaink?* című, annak idején szamizdatban, később pedig „rendes” kiadásban megjelent könyvét, annak ellenére, hogy szerzője filozófus (vagyis nem jogász).

Enciklopédia formában készült kiadvány magyar nyelven még nem született, ezért a kötet hiánypótló, egyértelműen alapirodalomnak tekinthető az emberi jogok bemutatása és elemzése tekintetében. A hatvanhét főből álló szerzői kollektíva százket tanulmányban (egyenként 4–12 oldal terjedelemben) mutatja be a legfontosabb emberi jogi fogalmakat, intézményeket és dokumentumokat.

Az enciklopédia a következőképpen határozza meg az emberi jogok fogalmát: az emberi jogok magából az emberi mivoltból fakadnak, minden embert feltétlenül, univerzálisan és egyenlően illetnek meg. Az emberi jogok minden embert egyenként megillető, szubjektív jogok, a jog gyakorlása mindig az ember döntésén múlik. Minden jog valamilyen cselekvés vagy magatartástípus szabadságát biztosítja, így az emberi jogok egyben szabadságjogok (19).

Az emberi jogok azokat is megilletik, akik nem értenek velük egyet, nem fogadják el őket vagy egy részüket. Az emberi jogok tiszteletben tartása mindig lehetséges, nem függ attól, hogy valaki igényli-e, vagy sem (25.). Az alapvető emberi jogok általában akkor tudnak érvényesülni, ha az egyes jogok korlátozhatók. A korlátozás mércéje a magyar jogban az ún. szükségességi-arányossági teszt. Vannak azonban a nemzetközi jogban olyan jogok, amelyeket semelyik más alapjog vagy alkotmányos cél érdekében nem lehet korlátozni, illetve felfüggeszteni, azaz abszolút jellegűek (26–32.).

Az emberi jogok modern értelemben vett fogalma a 18. században alakult ki. A napjaink emberi jogi felfogását meghatározó jogi dokumentumok (például Bragyova András: *Ember és Polgár Jogainak Nyilatkozata [1789]*) keletkezésére a felvilágosodás filozófiája, az amerikai és a francia forradalom gyakorolt jelentős hatást. Az emberi jogok kezdetben belső jogi dokumentumokban jelentek meg, és a második világháború végéig nem merült fel annak gondolata – a kisebbségek védelmét kivéve (523.) –, hogy az állam és a polgárai viszonyát a nemzetközi jog szabályozza.

A nemzetközi emberi jogi jogvédelem a második világháború után indult dinamikus fejlődésnek, és született meg többek között az Emberi Jogok Nemzetközi Törvényének fogalma is (lásd: Lamm Vanda: *Egyezségokmányok*; Lamm Vanda: *Emberi Jogok Egyetemes Nyilatkozata*). A dokumentumok célja azonban nem csupán a jogok deklarálása volt, hanem törekedtek arra is, hogy a különféle dokumentumokban foglalt jogok érvényesülése terén is történjen előrelépés. A modern alkotmányokban az alkotmányos jogok katalógusa a legtöbb általánosan elismert emberi jogot alkotmányos jogként tartalmazza, azonban az emberi jog nem mindig alapjog, lehetséges, hogy egyes emberi jogokat az államok rendes törvényei védenek. Az emberi jogok érvényesülésének legfőbb biztosítója az alapjogok alkotmányos védelme, mely a rendes vagy az alkotmánybíróságok feladata. Az alapjogok bírói védelme az alapjogokat biztosító törvények értelmezésében és alkalmazásában áll. Az alkotmánybíráskodás továbbá meg is semmisítheti az alapjogokat korlátozó jogszabályokat. A jogok biztosításában minden állam saját alkotmányos szabályai szerint jár el (23.). Az emberi jogok nemzetközi védelme és a belső jogokban való érvényesülése tekintetében meghatározó szerepet töltenek be az univerzális és regionális emberi jogi szerződési bizottságok is (lásd: Lamm Vanda: *ENSZ emberi jogi szerződési bizottságok*).

Az enciklopédia az univerzális emberi jogi egyezmények bemutatása mellett a regionális szintű nemzetközi együttműködés, valamint a nemzeti kisebbségek védelmét tartalmazó dokumentumok ismertetésére is kitér (Kovács Ildikó: *Emberi Jogok Arab Kartája*; Weller Mónika: *Emberi Jogok Európai Egyezménye*; Kecskés Gábor: *Emberi jogok regionális védelme az ázsiai és a csendes-óceániai régióban*; Zaccaria Márton Leó: *Európai Szociális Karta*; Friedery Réka–Horváthy Balázs: *Európai Unió Alapjogi Chartája*; Szalai Anikó: *Nemzeti kisebbségek védelme* stb.). A regionális jogvédelmi eszközök célja, hogy tovább erősítsék az univerzális védelmi rendszert (151.).

Az olvasó azonban nemcsak az emberi jogok történeti háttéréről, a kiemelkedő jelentőségű szerződésekről és dokumentumokról, valamint az elméleti alapokról (például Bragyova András: *Alapjogok – emberi jogok fogalma*; Fekete Balázs: *Emberi jogok története és elméleti kérdései* stb.), hanem a szervezeti és intézményi keretekről (Ganczer Mónika: *ENSZ emberi jogi intézmények*; Gárdos-Orosz Fruzsina–Weller Mónika: *Emberi Jogok Európai Bírósága*; Adány Tamás Vince: *Nemzetközi büntetőbíróságok* stb.) is átfogó képet kap. Mindezek mellett a kötet nagy hangsúlyt fektet az emberi jogok tartalmának – jellemzően a jogokat generációkra osztó elmélet szerint történő – bemutatására. Az emberi jogok katalógusa időben és térben is sokféle volt és lehet, általánosságban azonban az emberi jogi katalógus bővülése figyelhető meg (20.). A kötet figyelmet szentel a vitatott alapjogok (Zakariás Kinga: *Emberi méltósághoz való jog*) mellett az állati jogok problematikájának bemutatására is (Majtényi Balázs: *Állati jogok kérdése*).

Az enciklopédia (nevéhez méltón: tudás-összefoglaló) több mint egy lexikon, de nem feladata, hogy eredeti, teljesen új ismereteket tartalmazzon, hanem hogy összefoglalja, amit tudunk. Nagyobb átfogó címszavakból áll, bővebb, mint a lexikon. A kötet nem tételes jogi munka, mégis áttekintést ad az olvasónak a jogi kérdésekről, alapvető kérdéseket tárgyal, és nem a napi jogot tartalmazza. A sokszínű, igényes tanulmányok a témakör teljes körű feldolgozására törekednek, amelyek révén az olvasó átfogó képet kap az emberi jogok jelentőségéről. A tanulmányok szerkezete, tagolása kitűnő, a jól elhelyezett utalások megkönnyítik a komplex, sokrétű anyag áttekintését és az összefüggések megértését.

A tanulmányok végén található, néhány tételből álló bibliográfia az adott témakör irodalmáról, a kötet végén található általános és gyűjteményes művek válogatott bibliográfiája pedig a témakör egészéről ad tájékoztatást azok számára, akik akár tudományos igénnyel, akár ismeretszerzés, tájékozódás céljából kívánnak foglalkozni a bemutatott területtel. A hivatkozási rendszer egységes elvek alapján került kidolgozásra. A kötet legnagyobb értéke a témakör teljességre törekvő bemutatása, ami a tanulás és az ismeretszerzés alapfeltétele.

Az enciklopédia a hazai jogtudományi szakirodalom különösen értékes gyöngyszeme, bátran használható az oktató-kutató munkát végzők számára, valamint a gyakorló jogászok mindennapi munkájában is. Ugyanakkor az enciklopédia a rendkívül érdekes, jól olvasható tanulmányaival szélesebb olvasóközönséget céloz. A tanulmányok stílusa gördülékeny, logikus vonalvezetésű, így a nem jogászok számára is könnyen követhető, és hozzájárul az emberi jogokhoz kapcsolódó ismeretek bővüléséhez.

*(Lamm Vanda szerkesztő: Emberi jogi enciklopédia. Budapest: HVG-ORAC, 2018, 747 o.)*

Jámbor Adrienn

PhD, Miskolci Egyetem Állam- és Jogtudományi Kar



## AKIKET ARCUL CSAPOTT A VALÓSÁG – ROMA KÖZÖSSÉGEKET SEGÍTŐ HELYI PROGRAMOK ÉS AZOK VEZETŐI

Kállai Ernő *Akiket arcul csapott a valóság* című kötetét kezünkbe véve az első benyomás, amely alapján biztosan kinyitja az olvasó a könyvet, az a sokatmondó és gondolatébresztő borítólap. A kötet borítóján egy szekeret toló embercsoport látható, a szekér elejét viszont egyetlen ember húzza. Ha ezt a képet értelmezni szeretnénk, akkor talán a legtöbb hazai, a cigánysággal és hátrányos helyzetű emberekkel foglalkozó kutatóban, szaktekintélyben, a civil szférában dolgozó személy gondolataiban felvillan egy, a cigányságot érintő probléma és az annak kezelését övező nehézségek. Ha ezen tovább szeretnénk menni, egy másik nézőpont mentén a cigányság kevésbé sikeres társadalmi integrációja és annak lehetséges okai, vagy a magyarországi cigányság sikeresebb társadalmi integrációját segítő, abban valamilyen formában elkötelezett segítő szakemberek arca és tevékenysége is eszünkbe juthat, akik elhivatottan, időt és energiát nem sajnálva próbálnak segíteni a hazai cigány közösségeknek, vagyis próbálják a „szekerüket tolni”. Ezt a civil szférában dolgozó szakemberek nagy része együttműködve, egymást segítve is igyekszik megtenni, ezt tekinthetjük a szekeret toló embercsoportnak, míg néhányan egy adott cigány közösség hátránykompenzálásában egyedül, gyakran segítség nélkül próbálnak részt venni, így ők ezt a bizonyos „szekeret egyedül húzzák”, ők lehetnek ennek a szekérnek az elején, magányosan.

Így mindjárt a borítólap árulkodhat a tartalomról, amely nem más, mint néhány sikeresen és kevésbé sikeresen megvalósult helyi szinten kidolgozott, romákat segítő program vezetőivel készült beszélgetések gyűjteménye. Ezek a konkrét esettanulmányok nagyon érdekesek és jól használhatók az egyetemi oktatásban, de példát, ötletet, mankót adhatnak olyan, például helyi önkormányzatoknak, amelyek még küzdenek a településükön élő cigány lakosságot érintő nehézségekkel, de erőt meríthetnek a kötetből azok is, akik néha megoldhatatlannak, javíthatatlannak találják munkájuk során a cigányság helyzetét. A kötet 2015 tavaszán egy, az MTA TK Kisebbségkutató Intézetében még akkoriban működő Romakutatási Osztály által megvalósított rendhagyó kutatási és oktatási program eredményének tekinthető. A bevezetőt követően egy rövid elméleti tanulmány olvasható, amelyben elsősorban a legfontosabb, cigányságot érintő, országos kutatási eredmények mentén szemünk elé tárul a cigányság magyarországi története, de arról is olvashatunk, hogy az időnként megjelenő „modernizációs-megélhetési válságok” hogyan segítették a cigányság marginalizált társadalmi helyzetének konzerválását. Ezt követi néhány kormányhatározat bemutatása, amelyek szemléltetik, hogy a rendszerváltás óta milyen beavatkozási kísérletek voltak a hazai cigányság

felzárkóztatása kapcsán, és hogyan jelent meg innentől kezdve ebben folyamatosan a civil szféra. Majd néhány szempont alapján lényegében értékelésre kerül a tíz beszélgetőpartner legfontosabb gondolata, nehézségeik és motivációik, ezt a kötet meghatározó, talán legfontosabb részének is tekinthetjük. Végül a kötet második felében országosan elismert, de mégis különböző szakterület mentén (oktatás, tanodák, művészet, egyházi intézmények vagy politika) és az ország különböző pontjain (Bátonyterenye, Ózd, Alsószentmárton vagy éppen Berettyóújfalú) élő más és más összetételű és problémával küzdő roma közösséget felkaroló, másokat is inspiráló roma és nem roma személyiséggel készült félig strukturált mélyinterjúk olvashatók. A több szempont alapján való értékelésben olvasható, hogy az interjúalanyok nagy részét munkája során „arcul csapta a valóság”, s ezt követően a legnagyobb hozzáértéssel és elhivatottsággal szánta el magát cselekvésre. A roma származású kezdeményezők első generációs értelmiségiek voltak, akik végigélték azokat az iskolai hátrányokat, amelyeket a mai cigány gyerekek is gyakran megtapasztalnak. Az ő sikerüket nagymértékben segítette, hogy az adott településen ismerték a személyüket, hiszen onnan emelkedtek ki, de azért volt olyan, akit munkájában inkább hátráltatott régi közössége. A nem romák esetében szintén értelmiségi emberek kerültek a mintába, akiknek az iskolai életútja sokkal sikeresebb volt, mint a roma származású interjúalanyoké, és akik közül sokan nem is készültek tudatosan arra, hogy a cigányokkal fognak foglalkozni. Náluk minden esetben valamilyen fordulópont, a társadalmi valóságra való ráeszmélés adta alapját a kezdeményezésük elindítására. Számukra sokkal nehezebb is volt elfogadtatni magukat a roma közösségükkel, ők találtak „kívülállóságukkal” és azzal, hogy egy adott cigány közösség idegennek tartja őket. A nehézségeket az is táplálta, hogy többen közülük maguk is keveset tudtak a cigányokról. A cigány közösség bizalmának elnyerése hosszú folyamatnak tűnt, amely több kudarcot is tartogatott számukra, míg a roma kezdeményezők „természetes emberek”, „közénk való” benyomást keltettek az adott közösségben. Minden interjúalany alapvetően a saját szűk érdeklődési és szakterületéhez kapcsolódó lehetőségek maximális kihasználásával akart segíteni, de rá kellett jönniük, hogy a roma közösségeket érintő gondok komplex, összetett problémát alkotnak, így más szervekkel is együttműködésbe kezdtek. Az azonos szemléletmód mellett a lehetőségek és együttműködések eredményeként más-más hatást és sikert értek el az interjúalanyok a saját civil közösségükben. A tíz interjúalany közül L. Ritók Nóra az egyik olyan nagy hatású civil szakember, akit „hatalmas erővel csapott arcul a valóság”, aki valóban, mint egy idegen, kívülálló személy saját tapasztalatai által értette meg és karolta fel a Berettyóújfalú és a környező települések szegregátumaiban élő családok mindennapi problémáit. Kihasználva az alapítványi oktatási szféra adottságait egy saját alternatív pedagógiai módszert dolgozott ki, ami szociális, munkahelyteremtő elemet, egészségügyi elemet is tartalmaz, ezzel a komplex rendszerrel segíti a cigány/roma gyerekek, felnőttek életkörülményei-

nek javulását, továbbá megtalálta a cigány közösség azon kulcsembereit, akik tudják segíteni az adott cigány közösség integrációjának előrelépését. A vele készült interjúban látatlanul is érződik az az elhivatottság, lendület, erő és kitartás, amellyel ő naponta dolgozik az őt érő vádak és negatív kritikák ellenére.

A tíz interjúalany munkája több közös siker- és kudarcelemet, kezdeményezésük fejlődése több hasonló fordulópontot tartalmaz, amelyek mentén összehasonlíthatóvá tudnak válni az elkészült interjúk. De ha az olvasó elmerül az interjúk részleteiben, rádöbben arra, hogy minden alany személyisége a saját valóságában magával ragadó és varázslatos, törekvéseik, mérhetetlen kitartásuk, segítő szándékuk valóban elismerést érdemlő. Olvasóként a kötetről Madách Imre *Az ember tragédiája* című drámájának elhíresült mondata jutott eszembe: „Mondottam, ember: küzdj és bízva bízzál!”, amellyel kívánom, hogy az interjúalanyok motivációja és elhivatottsága sose hagyjon alább, bármilyen nehéz körülmények között is kell dolgozniuk, ahogy a könyv szerzőjének is jó egészséget és további sok sikert kívánok oktatói és kutatói munkájához egyaránt.

*(Kállai Ernő: Akiket arcul csapott a valóság. Roma közösségeket segítő helyi programok és azok vezetői. Budapest: MTATKKI, 2019, 168 o. [http://www.kallai-erno.hu/data/files/kallai\\_arcul\\_csapott\\_valosag\\_dJwTB5.pdf](http://www.kallai-erno.hu/data/files/kallai_arcul_csapott_valosag_dJwTB5.pdf))*

Janó Evelin

Phd-hallgató

ELTE Társadalomtudományi Kar Szociológia Doktori Iskola

## AZ ORVOSI HIÁBAVALÓSÁGRÓL

Magyarul az *Orvosi hiábabelsőség a gyermekgyógyászatban: Interdiszciplináris és nemzetközi perspektívák* című könyvet a budapesti székhelyű Trivent Publishing adta ki. A Trivent 1993-ban rendezvényszervező vállalkozásként indult, majd az évek során megszerzett tapasztalataival tett szert a tudományos publikáláshoz szükséges szakértelemre. Indulása óta számos, tudományos szempontból is színvonalas kötetet, könyvsorozatot és folyóiratot publikált.

Az ismertett könyvet Kartina A. Choong szerkesztette, aki a brit School of Law and Science kutatója, és aki rendelkezik a szükséges jogi, orvosjogi, orvostikai, gazdasági ismeretekkel, sőt, az iszlám tanulmányokban is jártas. Az egyes fejezetek szerzői között találunk jogászt, orvost, bioetikust és teológust. A mű két nagy egységre tagolódik. Az első rész (1–9. fejezet) az orvosi hiábabelsőség interdiszciplináris elemzését tartalmazza, a második rész (10–16. fejezet) pedig különböző országok gyakorlatát mutatja be.

A bevezetés Charlie Gard és Alfie Evans esetét mutatja be, betegségük felfedezésétől (2016) a bírósági procedúrákon keresztül egészen a két gyermek haláláig (2018). Az orvoscsoportok szakvéleménye szerint a gyermekek állapota olyannyira súlyos és visszafordíthatatlan, hogy az életfenntartó kezelések visszavonását támogatják, szem előtt tartva a gyermekek méltóságát. Ezt a szülők nem képesek elfogadni, ezért a bírósághoz fordulnak. Nyilvánvaló, hogy nem a tárgyalóterem a legalkalmasabb fórum az ilyen esetek kezelésére. Már a bevezető esetek alapján is felmerül a kérdés, hogy a szülői jogokat meddig kell védeni? A mű rámutat arra is, hogy az orvosi hiábabelsőség kérdése különösen súlyos problémát jelent a gyermekek esetében. Mivel a gyerekek akarata nem érvényesülhet, ezért helyettesek (szülők, gyám, orvosok, bíróság) döntenek helyettük, ami konfliktusokat generálhat.

Az első részben találkozhatunk azokkal az alapvető konfliktusokkal, fogalmakkal és definíciókkal, amelyek tárgyalása és tárgyalásainak nehézségei végigkísérik a művet. A kulcsfogalom az orvosi hasztalanság, ez olyan tevékenységre utal, amely értelmetlen, vagy amelynek nincs hatékony előnye és haszna a beteg számára (5.). Emellett fontos fogalom a *gyermek legjobb érdeke* (Child's Best Interests, továbbiakban: BI). Világos, hogy egyik fogalomnak sincs pontos meghatározása. Szintén fontos kérdés a szülők és az orvosok között fennálló vita, és annak rendezési lehetősége.

Az első fejezet a *BI-teszt* evolúciós vizsgálatára helyezi a hangsúlyt, s már itt is megjelenik a mediáció mint vitarendezési eszköz. Vannak, akik a *BI-megközelítés* védelmére kelnek (lásd 2. fejezet), mások pedig vitatják azt, hogy *aranystandardként* (Gold Standard) alkalmazzuk (lásd 3. fejezet). Ez az elméleti vita kiegészül a *jelentős kár* (Significant Harm) fogalmával is.

A negyedik fejezetben kerül górcső alá a mediáció, vagyis a közvetítés fontossága (Media Framing of ‘Medical Futility’: Flaming the Debate?). A szerző ezt a bírósági eljárások helyett vagy legalább azt megelőző humánus tárgyalási eszközként javasolja. A fejezet szerzője elemezve a média szerepét és lehetséges hatásait, annak negatív oldalára is rámutat. A média bevonása a vitás esetek rendezésébe azért veszélyes, mert így megjelenhet a torzítás, az információ-visszatartás és a részrehajlás. Ehelyett éppen a nyilvánosságtól mentesen, részrehajlás nélkül, minden oldalt meghallgatva kell fórumot teremteni a vitás helyzetek rendezésére. Ennek szándékával kerül bemutatásra és elemzésre a mediáció. Jellemzője, hogy a konfliktusban részt vevő szereplőknek megteremti azt a semleges környezetet, amelyben mindegyik fél objektíven és szándékának megfelelően meg tudja osztani a másikkal véleményét, kívánságát, álláspontját. A mediátor szerepe itt az, hogy megtörve a kommunikációs zavart a felek között, azok egymást megértve közösen konszenzusra jussanak, ami nemcsak pénzügyi, hanem testi-lelki szempontból is kisebb terhet jelent.

A további fejezetekben találkozhatunk erőforrás-menedzsmentre (5. fejezet), állampolgári kérdésekre (6. fejezet), az anglikán egyház orvostikai döntéshozatali folyamataira (7. fejezet), az iszlám jogi megközelítésre (8. fejezet) irányuló elemzéssel. Az első rész utolsó fejezete (9. fejezet) azt vizsgálja, hogy a szülők hazavihetik-e a haldokló gyermeküket.

A könyv második egysége a nemzetközi perspektívákat elemzi. Itt számos ország (Ausztrália, Cseh-, Francia-, Német-, Törökország, India és az Egyesült Államok) gyakorlatát ismerheti meg az olvasó. Ez a szakasz egyfajta példatárként is használható. Ez a rész is szervesen kapcsolódik a kiinduló témához, az orvosi haszontalanság problémájához.

Összességében elmondható, hogy a könyv az orvosi haszontalanságot vizsgálja a *gyermek legjobb érdekeinek* középpontba állításával. Nemcsak az időben felajánlott mediációra és annak fontosságára, hasznosságára hívja fel a figyelmet, hanem arra is, hogy a szülői jogokra (melyek nem abszolútak) és köteleességekre miként kell tekinteni, és milyen mértékben lehet és szükséges védeni azokat. A könyv kettős szerkezete kiváló lehetőséget kínál egy átfogó, elméleti alapokat teremtő és tárgyaló ismeretterjesztésre, valamint a különböző országok joggyakorlatának a megismerésére.

*(Kartina A. Choong editor: Medical Futility in Paediatrics: Interdisciplinary and International Perspectives, Budapest: TRIVENT Publishing, 2019, 329 o.)*

Laki Beáta

PhD, Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar  
Magatartástudományi Intézet

## Kitekintés

GIMES JÚLIA GONDOZÁSÁBAN

### BOLYGÓ SZÜLETIK

Egy bolygó születésének csodálatos pillanatait észlelhették a csillagászok az Európai Déli Obszervatórium (European Southern Observatory, ESO) Nagyon Nagy Távcsővének (Very Large Telescope, VLT) segítségével. A chilei Atacama-sivatag 2635 méter magas Cerro Pranal-hegyén elhelyezkedő VLT a látható tartományban a világ legkorszerűbb csillagászati obszervatóriuma, az unikális felvételt a SPHERE nevű műszere készítette.

A bolygó a Földtől 520 fényévre, a Szekeres (Auriga) csillagképben lévő fiatal AB Aurigae csillag körül alakul ki, és kb. olyan távol lesz tőle, mint a Neptunusz a Naptól.

Az AB Aurigae csillag körül sűrű por- és gázkorong kavarg, amelyben jól látható egy spirális szerkezet. A spirál mentén pedig megfigyelhető egy „csavarodás”, amely a csillagászok szerint az éppen születőben lévő bolygó helyét jelzi.

Az AB Aurigae-ről néhány évvel ezelőtt már készült felvétel az ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) mikrohullámú rádiótávcső-rendszerrel. Már akkor felmerült, hogy a csillag közelében, a korong belső régióiban észlelt két spirális gázkar egy új bolygó születésére utal.

Az Anthony Boccaletti (Observatoire de Paris) által vezetett nemzetközi munkacsoport ezt a kérdést próbálta tisztázni, és a SPHERE segítségével az AB Aurigae rendszeréről valóban az eddigi legrészletesebb észlelésekhez jutottak. Az általa készített felvételeken a belső korong parányi porrészecskéi által kibocsátott és visszavert halványabb fény is láthatóvá vált. A megfigyelés megerősítette az ALMA által már detektált spirális szerkezet létét, de ezenfelül láthatóvá vált a csavarodás is, amely egyértelműen arra utal, hogy egy születőben lévő bolygóról van szó.

Boccaletti, A. – Di Folco, E. – Pantin, E. et al.: Possible Evidence of Ongoing Planet Formation in AB Aurigae. *Astronomy & Astrophysics*, 2020. 637, L5 DOI: 10.1051/0004-6361/202038008, [https://www.aanda.org/articles/aa/full\\_html/2020/05/aa38008-20/aa38008-20.html](https://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2020/05/aa38008-20/aa38008-20.html)

## GYÓGYSZERSZÁLLÍTÓ MIKROROBOT

A véráramban közlekedni tudó parányi robotokat konstruáltak egy nemzetközi kutatócsoport tagjai. A mikrorollernek elnevezett robotok tervezéséhez a fehérsejtek adták az ötletet, amelyek az erek fala mentén a vér áramlási irányával ellentétes irányba is képesek haladni.

Gömb alakú, üvegből készült mikrorészecskékről van szó, melyek egyik felét nikkelből és aranyból álló, mágnesezhető nanoréteggel vonták be. Másik felére egyrészt bizonyos daganatsejteket szelektíven felismerő ellenanyagot, másrészt egy fényre bomló kemoterápiás szert, doxorubicint vittek fel.

A mikrorobotokat laboratóriumi modellrendszerben tesztelték. Szintetikus csöveket az érfal belső rétegét adó endotél sejtekkel vontak be, a kis csatornáknban egérvér biztosította az áramlási közeget. A mikrorollereket egészséges és rákos szövetek közé helyezve megállapították, hogy a daganatos sejtek irányába szelektivitást mutatnak. A citosztatikumot ultraibolya fény segítségével szabadították fel.

A mikrorollerek mozgását mágneses tér biztosította, és mind a vérárammal megegyező, mind azzal ellentétes irányba sikerült őket „utaztatni”. Sebességük elérte a másodpercenkénti 600 mikront. Átmérőjük a 8 mikron átmérőjű vörösvérttest átmérőjénél kisebb volt, 3 és 7,8 mikron közé esett.

Metin Sitti (Max Planck Institute for Intelligent Systems, Stuttgart) és munkatársai következő kísérleteik során hővel vagy közeli infravörös sugárzással próbálják felszabadítani a gyógyszert, illetve a mikrorobotokat olyan anyagból szeretnék megkonstruálni, amely az emberi szervezetben néhány hét alatt elbomlik.

Reményeik szerint a gyógyszer szállító mikrorobotokkal hamarosan megkezdődnek az állatkísérletek.

Alapan, Y. – Bozuyuk, U. – Erkoç, P.: Multifunctional Surface Microrollers for Targeted Cargo Delivery in Physiological Blood Flow. *Science Robotics*, 20 May 2020. 5, 42, eaba5726, DOI: 10.1126/scirobotics.aba5726

## VÉRNYOMÁSCSÖKKENTŐVEL A KORONAVÍRUS ELLEN

Érdekes koronavírussal kapcsolatos klinikai vizsgálatot indítanak a Howard Hughes Medical Institute kutatói. A cél az immunrendszer túlzott reakciója, az ún. citokinvihar gyógyszeres megelőzése.

A vizsgálatba olyan 45 és 85 év közötti Covid-19 betegeket szeretnének bevonni, akik nincsenek intenzív osztályon, nincsenek lélegeztetőgépen.

Bert Vogelstein és munkatársai a *Nature*-ben 2018-ban publikáltak egy cikket arról, hogy a vérnyomáscsökkentőként, illetve prosztatagyulladás kezelésére al-

kalmazott alfa-adrenerg-receptor blokkoló gyógyszerek egerekben csökkentik a bakteriális fertőzések által kiváltott túlzott immunreakciót és az ezzel kapcsolatos halálozást.

Ebből kiindulva arra gondoltak, hogy ez a gyógyszer család talán az új koronavírus fertőzés súlyos szövődményeinek a megelőzésében is használható lehet. Ezért olyan betegek adatait elemezték, akik korábban tüdőgyulladással vagy légzési nehézségekkel kerültek kórházba, és megállapították, hogy azok, akik valamilyen más okból alfa-blokkolót szedtek, kisebb eséllyel haltak meg légzési elégtelenségben.

A kutatók ezen megfontolások és eredmények alapján indokoltnak látják, hogy koronavírus fertőzésben szenvedő betegeknél klinikai vizsgálatok induljanak, hogy vajon a jól ismert és régóta alkalmazott alfa-blokkoló, a prazosin alkalmazásával megelőzhető-e a túlzott immunreakció, a betegek halálát gyakran okozó ún. citokinvihar.

Staedtke, V. – Bai, R-Y. – Kim, K. et al.: Disruption of a Self-amplifying Catecholamine Loop Reduces Cytokine Release Syndrome. *Nature*, 2018. 564, 273–277. DOI: 10.1038/s41586-018-0774-y HHMI: Preventing 'Cytokine Storm' May Ease Severe COVID-19 Symptoms. 20 May 2020. <https://www.hhmi.org/news/preventing-cytokine-storm-may-ease-severe-covid-19-symptoms>

### JÓ-E BELELÁTNI PÁRUNK ÉRZELMEIBE?

A University of Rochester és a University of Toronto pszichológus kutatói arra keresték a választ, hogy jó-e, és ha igen, meddig jó egy párkapcsolatban, ha valaki pontosan észleli/érezkeli társa érzelmeit.

A 111, átlagosan három éve tartó kapcsolatban élő pár részvételével végzett kísérletsorozatban az volt a feladat, hogy próbálják a társukat rávenni valamilyen jelentős változtatásra/váltásra (például, hogy költsenek kevesebbet, fogyjanak le, változtassanak a szexuális életükön, vagy módosítsanak céljaikon), és eközben figyeljék meg mind a maguk, mind partnerük érzelmeit. A résztvevőknek ettől függetlenül kapcsolatuk minőségét is értékelniük kellett. A kutatók szerint a változtatásra való készség vagy hajlandóság is a kapcsolat minőségének fontos összetevője, a nagyobb jelentőségű változtatás vagy annak felvetése azonban heves érzelmi reakciókkal járhat.

A kísérletek alapján azt a következtetést vonták le, hogy az érzelmektől függ, hogy a kapcsolat szempontjából előnyös-e, ha azt a partner pontosan azonosítja. Azokat a párkapcsolatokat találták jobb minőségűnek, amelyekben a partnerek békés érzelmeiket észleltek. Vannak azonban olyan érzések, amelyeket jobb, ha a társ nem vesz észre. Ilyenek az agresszív indulatok, a düh vagy a megvetés.



Azt is eredményként ismertetik a szerzők, hogy noha az érzelmek kimutatása, illetve felismerése fontos egy párkapcsolatban, a változások eléréséhez a direkt kommunikáció, a megbeszélés a célszerű. Pontosan meg kell a partnernek mondani, hogy mit szeretnénk tőle. Ez akár negatív, akár pozitív érzelmeket generál, nagyobb eséllyel eredményez változást.

Le, B. M. – Côté, S. – Stellar J. et al.: The Distinct Effects of Empathic Accuracy for a Romantic Partner's Appeasement and Dominance Emotions. *Pszichological Science*, First Published 18 May 2020. DOI: 10.1177/0956797620904975

### A LEGERŐSEBB MEGADTA MAGÁT

Az élő szervezetekben kémiai kötés leggyakrabban egy szén és egy hidrogénatom között alakul ki. A kőolajban és a műanyagokban lévő kötések kb. kétharmada is ezt a két atomot kapcsolja össze. A kémiai környezettől függően ez a kapcsolat lehet gyengébb vagy erősebb, és minél erősebb egy kötés, annál nehezebb felszakítani, és a molekula azon részén valamilyen kémiai átalakítást végezni.

Egy újfajta irídiumkatalizátor segítségével a legerősebb szén-hidrogén kötések, köztük a láncvégi metilcsoport (-CH<sub>3</sub>) szén-hidrogén kötését is sikerült szelektív reakcióba vinniük a University of California, Berkeley szerves kémikusainak. A katalizátor a láncvégi metil három szén-hidrogén kötése közül egyet felnyit, és egy börtartalmú funkciós csoportot visz be, ami azután viszonylag egyszerűen gyakorlatilag bármilyen más csoportra lecserélhető.

Az új eredménynek óriási haszna lehet. Sok – elsősorban a gyógyszeriparban használható reakciót tehet lehetővé, vagy reakciósort egyszerűsíthet le.

Oeschger, R. – Su, B. – Yu, I. et al.: Diverse Functionalization of Strong Alkyl C–H Bonds by Undirected Borylation. *Science*, 15 May 2020. 368, 6492, 736–741. DOI: 10.1126/science.aba6146

### VAN AZ A PÉNZ...

Az rendeli a nótát, aki fizeti a zenészt?

Az autógyártók hirdetési és az autók gyári visszahívásáról szóló hírek között keresett és talált összefüggést egy amerikai kutatócsoport. A kilenc legtöbb járművet eladó gyártó összes hatóságilag elrendelt biztonsági visszarendelésének adatait gyűjtötték össze a 2000 és 2014 közötti időszakban. Ezután ugyanezen időszak 115 amerikai napilapjában a visszahívásokról szóló híreket keresték ki.

Összesen 13 600 cikket találtak. Az adatokból kimutatható volt, hogy az újságokban ritkábban adtak hírt azon gyártók modelljeinek visszahívásáról, amelyek hirdetéseikkel a megelőző két évben megjelentek az illető sajtótermékben. Az összefüggés különösen erős volt a súlyos problémákkal kapcsolatos visszarendelések esetében.

Az Egyesült Államokban a hírlapok bevételének 80 százaléka a hirdetésekből származik. Az autóipar 2006-ban 20 milliárd dollárt költött ilyen hirdetésekre. És, hogy a piaci küzdelem mennyire vérre megy: a szerzők arra is bizonyítékokat mutatnak be, hogy ha kevesebb a biztonsági visszahívásokról megjelenő híradás, megnő a végzetes kimenetelű balesetek száma.

Beattie, G. – Durante, R. – Knight, B. et al.: Advertising Spending and Media Bias: Evidence from News Coverage of Car Safety Recalls. *Management Science*, Published Online:15 May 2020. DOI: 10.1287/mnsc.2019.3567

## A következő szám tartalmából

- Az MTA Tantárgy-pedagógiai Kutatási Program négyéves munkájába betekintő tematikus esszécsoport
- „A kormányozhatatlan kormányzása” – ki irányítja a világpolitikát?
- Onkoreumatológia: összefogás a társszakmák között a tudományban és a gyógyításban

2

0

2

0

### Útmutató a cikkek megírásához:

[www.magyartudomany.hu/utmutato](http://www.magyartudomany.hu/utmutato)

*A folyóiratra vonatkozó, szerzőknek szóló közlési elvek a fenti hivatkozásra kattintva találhatóak.*



AKADÉMIAI KIADÓ

# Tartalom

## ■ TEMATIKUS ÖSSZEÁLLÍTÁS: MÁR AZ UNIVERZUM SEM A RÉGI

VENDÉGSZERKESZTŐ: Kiss L. László

Kiss L. László: **Bevezetés**

Csabai István: **Csillagászati (mennyiségű) adat**

Szalai Tamás: **Spitzer – (bő) másfél évtizednyi infravörös „űrszolgálat”**

Kiss Csaba: **Mit adott nekünk a Herschel-űrtávcső?**

Pál András: **Ultrapontos fényességmérés az űrből – a Kepler öröksége és a TESS aktualitásai**

Gabányi Krisztina Éva: **Rádiótávcső-hálózatok közös égbolt alatt**

Dálya Gergely: **A fekete lyukak megfigyelésének új módszerei**

Szabados László: **A csillagászat Gaia kora**

Ábrahám Péter: **Magyarország és az Európai Déli Obszervatórium**

Kiss L. László: **Magyar részvétel exobolygókutató űrtávcsövekben**

## ■ TANULMÁNYOK

Szentes Tamás: **A fejlődés-gazdaságtantól a multidiszciplináris fejlődéstan felé**

Bársony István: **Fenntarthatóság – fenntartásokkal**

Kósa István, Kincses Gyula, Soós Gyöngyvér, Grózli Csaba, Hohmann Judit: **A betegszerep felértékelődése a 21. századi egészségügyi ellátásban: öngondoskodás támogatása, egészség-magatartás fejlesztése komplex ellátási rendszerben**

Korinek László: **Király Tibor igazsága**

## ■ VÉLEMÉNY, VITA

**MTA Diagnosztikai Bizottság állásfoglalása.**

A daganatos betegségek esetében a betegút-menedzsment megerősítése, kontrollja

## ■ KÖNYVSZEMLE

Sipos Júlia gondozásában

**Válogatás Hargittai István írásaiból – Falus András**

**Emberi jogi enciklopédia – Jámbor Adrienn**

**Akiket arcul csapott a valóság – Roma közösségeket segítő helyi programok és azok vezetői – Janó Evelin**

**Az orvosi hiábavalóságról – Laki Beáta**

## ■ KITEKINTÉS

Gimes Júlia gondozásában

Ára: 980 Ft



2

0

2

0