

Így történt: magyar részvétel a Cheops-űrtávcsőben

Az Európai Űrügynökség (European Space Agency, ESA) legújabb űrtávcsőve a Cheops, ami egy exobolygó kutatásra optimalizált 30 cm-es űrfotometriai teleszkóp. Egy távcső alacsony Föld körüli pályán, fókuszsíkjában szűrő nélküli CCD-kamerával, mindez fedési exobolygók 10–100 ppm (part per million, milliomodrész) pontosságú fénygörbe-méréseire – ez a Cheops egymondatos összefoglalása. A magyar csillagászat számára fontos mérőföldkövet jelent az eszköz, mert a Cheops az első, asztrofizikai kutatásokra megépített űrtávcső, aminek létrehozásához és/vagy tudományos működtetéséhez nem csak a magyar csillagászok járultak hozzá tudományos szakértelmükkel (ilyenek voltak már korábban is, pl. a CoRoT és a Kepler), hanem egy magyar űripari cég megtervezett és határidőre leszállított konkrét repülő alkatrészeket is (naprendszeri űrszondákban ilyenek is voltak már korábban szép számmal, elég csak a Rosetta/Philae párosára gondolni). Az alábbiakban azt a nyolc éves időszakot tekintjük át, aminek a végén örömtől repesve lehettem szemtanúja a Cheops pályára állításának múlt év decemberében, a francia-guyanai Kourou-i Űrközpontból, ezekben a napokban (2020. április eleje) pedig immár az első tudományos mérési adatok felett lelkesedhetünk a megfelelő hozzáféréssel rendelkező kutatói körökben.

A kezdetek: 2012 tavasz

A 2010-es évek elejére az ESA kisebb tagországi egyre frusztráltabban élték meg, hogy az űrügynökség tudományos missziói jellemzően több százmillió, akár milliárd eurós óriásberuházások, amelyeket a pénzügyi részvétel arányában domináltak a nagyobb tagországek (Németország, Franciaország, Olaszország, Nagy-Britannia). Ennek eredményeként a szerényebb potenciálokkal bíró kutatói és űripari közösségek másodlagos



cheops

szerepbe kényszerültek, ami sokak önértéket bántotta, illetve kimutathatóan romlott a kisebb ESA-tagok ún. földrajzi visszatérülési aránya, azaz a befizetett tagdíjakból a megbízásokon keresztül visszajutó támogatások mértéke. Az ESA Tudományos Programjának vezetősége erre reagálva hozott létre 2011/12 fordulóján egy új típusú ESA-küldetést, amit kis (Small, S) misszióknak kereszteltek el. 2012. március 9-én jelent meg az ESA első S-küldetésére vonatkozó felhívás, amelyben 50 millió eurós támogatást lehetett elnyerni olyan új tudományos űrprogramra, ami nemzeti forrásokkal kiegészítve meggyőző lehetőséget biztosít a korábban elhanyagolt tagországek bekapcsolódására a tudományos élvonalhoz tartozó űrkutatásokba.

Mindebből akkor még igen keveset látva és még kevesebbet érve jutott el hozzám Andrés (Andy) Moya spanyol csillagász emailje 2012. február végén, aki a formálódó Planet Vision (PlaVi) konzorcium képviselőjeként az MTA csillagászati intézetéből (ahogy a nemzetközi szakma ismeri: Konkoly Observatóriumból) legelőször Ábrahám Péter igazgatót, Kovács Gézát és Szabó Róbertet kereste meg együttműködés kialakítását és egy személyes konzultációt javasolva. A spanyol–belga vezetésű csapat a még éppen kiírás előtt álló ESA S-missziós felhívásra tervezett jelentkezni egy űrfotometriai teleszkóp víziójával, ami több színben végzett volna méréseket exobolygókról, illetve lehetővé tette volna a központi csillagok asztroszeizmológiáját. A korábbi tapasztalatokra (elsősorban CoRoT és Kepler) építkezve jött az ötlet a többszínfotometria első-

ként történő alkalmazására az ultraprecíz űrfotometriában, a magyar szakma részvétele pedig a tudományos tapasztalatok és személyes ismeretségek alapján logikus felvetés volt.

2012. március 28-án Andy Moya el is jött Budapestre, s emlékszem, szemináriumi előadása után páran elmentünk vele egy közös munkaebédre a közeli normafai étterembe. Lényegében ott dőlt el, hogy a PlaVi-ba becsatlakozunk, amihez a legelső magyar forrásként a harmadik évében járó Lendület-pályázatomat ajánlottam fel. A döntést részemről segítette, hogy a téma abszolút illeszkedett az MTA-tól kapott Lendület-támogatás tudományos programjához (exobolygórendszerek szerkezete és fejlődése) és személyesen is erősen inspirált a nemzetközi kapcsolatok új szintre emelésének lehetősége.



A szerző 2012. május 4-én, Madridban, ahol egy Planet Vision-megbeszélés után védőruhás látogatást tettünk az Airbus egyik telephelyén

Már a látogatáson felmerült kiemelten fontos kérdésként, hogy van-e a látóköriünkben magyar űripari cég, amely képes lenne beszállítóként alkatrész(ek) tervezésére és kivitelezésére. Napokon belül Szabó Róbert beazonosította a Magyar Űrklaszt, mint lehetséges partnert, azon belül is a miskolci Admatis Kft.-t, amely akkor éppen a

Sentinel-2 földmegfigyelő műhold számára fejlesztett részegységet. Egy miskolci vilámlátogatás során a személyes ismeretség szálait is elkezdjük kiépíteni Bárczy Pál professzor úrral, az Admatis Kft. megálmodójával és létrehozójával, így 2012 májusában már együtt utaztunk egy brüsszeli megbeszélésre, az S-pályázat véglegesítése előtti tárgyalásra.

Az 50 millió eurós felhívásra eredetileg 74 szándéknyilatkozat ment be európai kutatócsoportoktól, végül 2012. június 15-ig ennek kb. felét követte konkrét pályázat. Az ESA szakértői azonnal hozzáálltak az anyagok értékeléséhez és gyorsan világossá vált, hogy a PlaVi programját leginkább a svájci vezetőségű Cheops-konzorcium veszélyeztetheti. 2012 augusztus végén már csak 10 pályázat (köztük a PlaVi) maradt versenyben az ESA megvalósíthatósági értékelései alapján, a döntést pedig az ESA tudományos programbizottsága hozta meg október 19-én. A szakértői bizottságok véleménye alapján a Cheops kapott lehetőséget az ESA 50 millió eurós támogatására, egy 2017-ben Föld körüli pályára állítandó űrteleszkóp megépítésére. A döntést nagyban segítette, hogy a svájciak eleve letettek 50 millió svájci frankot a projekt mellett, ráadásul az exobolygók és a svájci csillagászat mindig is rendkívül erős kapcsolatban álltak (nem véletlenül kapták 2019-ben svájciak a fizikai Nobel-díj felét az 51 Peg exobolygójának felfedezéséért), ezért a pályázatukat a legmagasabb tudományos értékre becsülték.

A döntés után: PlaVi helyett Cheops

Természetesen óriási csalódottsággal vettük a hírt. A belgák és spanyolok egyaránt 20–20 millió eurós kormányzati támogatásra kaptak ígéretet sikeres ESA-pályázat esetén, de a portugál, dán és a magyar csapatok is lógó orral vették tudomásul a döntést. 2012. október 23-ára nagyjából világossá vált, hogy a szép terveknek annyi, mindenkinek újra kell terveznie a kutatásai irányát (A. Moya konkrétan állást is váltott ezután).

Én magam kb. egy hétig nyalogattam a sebeket, amit megkönnyített, hogy

egy EU-s pályázat támogatásával éppen Ausztráliában tartózkodtam, visszatérve a Sydney-i Egyetemre jó két hónapra vendégkutatóként. 2012 novemberének első napjaira megérett bennem az elhatározás és közvetlenül megkerestem Willy Benz professzort a Berni Egyetemen: van itt nálunk a Konkoly Observatóriumban egy csapat, amely szeretne dolgozni exobolygós űrtávcsövekkel és ha van lehetőség, érdekelnének minket a lehetőségek. Leírtam szakértelmünket és tapasztalatainkat, szükség esetén vállaltam „nagyságrendileg 1 millió eurós magyar kezelési forrás” megszerzését (éppen akkor jelent meg egy TAMOP-pályázat, amiben eladhatónak tűnt egy űrcsillagászati kutatóintézet-iipari együttműködési projekt) és kértem, hogy beszéljünk előben egy skype-telkonferencián.

Willy Benz meglepően barátságosan fogadott és nyitott volt az együttműködésre. A Sydney–Bern közötti első megbeszélésünkön azonnal felvillant a szerencse: kiderült, hogy a svájci vezetési konzorcium valójában nem fedett még le minden szükséges feladatot, és például a pontosan ugyanazt a szerepet betöltő passzív radiátor alkatrész,

amit az Admatis a PlaVi számára tervezett elkészíteni, még a Cheops számára sincs lefixálva – sem konkrét tervező, sem kivitelező nem volt még a Cheops ipari partnerek között. A svájciak által „nagyjából 1 millió eurós” költségűnek becsült részegységet azonnal elvállaltam, mint magyar hozzájárulást, majd rögtön felvettem a kapcsolatot Bárczy Pállal. Ő szintén nyitott volt, hogy átnyergeljenek a PlaVi-ról a Cheops-ra, így innen már egyértelmű volt, hogy a történet folytatódik, az addig beletett energia és költségek nem voltak hiábavalóak.

Magyar részvétel: az ipari beszállítás

Kevesen tudják, hogy az ESA nem tudományos intézmény, hanem az űrtevékenységet folytató európai ipari együttműködések létrehozó és elősegítő kormányközi szervezete. Ezt onnan is látni lehet, hogy az ESA éves költségvetésének alig 10%-át kapja az ESA Tudományos Program, a pénz túlnyomó része telekommunikációs, Föld-megfigyelési, űrtechnológiai fejlesztési és hasonló ipari programokra megy. Magyarország csak 2015. novemberben vált teljes jogú taggá, ám már az 1990-es évek végétől társult tagként részt vettünk ESA-programokban.

A Cheops-részvétel 2012 végén, 2013 elején vált hivatalossá. Ekkorra került be a Konkoly Observatórium és az Admatis Kft. a konzorcialis partnerek közé, amiről természetesen értesítettük az akkoriban a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium alá tartozó Magyar Űrkutatási Irodát és vezetőjét, Both Elődöt. Tevékenységünk finanszírozására az ESA társult tagállamokat menedzselő PECS-programja tűnt alkalmasnak, így mind az Admatis, mind a saját kutatócsoportom, elkezdtük az együttműködést a Cheops-csappal, már azelőtt, hogy lett volna konkrét céltámogatás munkánk fedezetére. Azt is mondhatjuk, hogy saját forrásaink terhére megkezdtük a részvétellel járó feladatokat, bízva abban, hogy képesek leszünk új támogatásokat bevonni.

Az Admatis az összesen 58 kg tömegű műszeregyüttesből egy 1–1,2 kg tömegűre tervezett részegység, a Cheops passzív radiátorainak megtervezését és elkészítését vállalta. A „Focal Plane Array” és a „Front End Electronics” hűtő radiátorok speciális fémötvözetből készült tartóelemek, amelyek legfontosabb szerepe a távcső fókusz síkjában, a képrögzítő CCD-kamera által, illetve az egyéb fedélzeti elektronikai rendszerek által termelt hő elvezetése és kisugárzása a világűr felé. Ezáltal biztosítható a mérés végző eszközök stabil hőmérséklete, illetve minimalizálható a fotometriai mérések pontosságát csökkentő termális zaj.

Mindez elég egyszerűen hangzik, ám a megvalósítás több évig tartó fejlesztőmunka volt. Az Admatis mérnökei 2013 elején kezdték a tervezést, lényegében heti-kétheti telekonferenciákkal a Cheops többi ipari partnerével és a projektmenedzsmenttel. Egy űrmisszióban mindennek mindenhez illeszkednie kell, ezért a tökéletes együttműködés rengeteg kommunikációt igényel. Mindent nagyon szigorúan le kell dokumentálni, bármi történik egy alkatrész tervezése, kialakítása, tesztelése, javítása, újratervezése stb. esetén, azt az űrpari sztenderdeknek megfelelően le kell dokumentálni. Iratok száza (!) készültek el csak az Admatis által a két radiátor kapcsán, miközben többször

kellett ténylegesen újratervezni az elemeket. A feladat szerencsére tökéletesen illeszkedett a cég szakértelméhez és az eredetileg 2017-re tervezett indításhoz jól kapcsolódóan 2016 végére le is gyártották az FPA és FEE radiátorokat. 2017. január 9-én egyedi fejlesztésű konténerben le is szállították az alkatrészeket a Berni Egyetemre, ahol a távcső, a kamera, az elektronikák és a teljes hasznos teher összeépítése megtörtént. Az Admatis számára itt tulajdonképpen véget is ért a Cheops története és mindössze abban bíztak, hogy egyszer majd repülni fog az űrteleszkóp, számukra pedig a sikeres működés tökéletes szakmai referencia lesz újabb űrprojektek elnyeréséhez.

Magyar részvétel: a tudományos program előkészítése

Tudományos részvételünk kezdettől fogva három kulcsszereplőre támaszkodott. Én magam sikeres kutatásfinanszírozási háttérrel kapcsolódó űrfotometriai szaktudással, elsődlegesen a Kepler Asztroszeizmológiai Konzorciumban folytatott munkámmal definiáltam azokat a kereteket, amikben elindult a tudományos előkészítő munka az MTA csillagászati intézetében. Ennek köszönhetően lettem a Cheops legfelső irányító testületének, a Cheops Tudományos Tanácsnak (Science Board) a magyar kutatókat képviselő tagja. Szabó M. Gyula 2012-ben a Lendület-csoportom legproduktívabb tagja volt, és elsődlegesen mi ketten vezettük doktori cselekménye felé Simon Attilát, aki a Szegedi Tudományegyetemről jött át Budapestre a csoportom megalakítása után. Gyula a mindmáig hipotetikus exoholdak egyik vezető nemzetközi szakértője és noha ma már lassan hét éve az ELTE Gothard Asztrofizikai Observatórium és Multidiszciplináris Kutatóközpont igazgatója, a Cheops operatív tudományos testületében, a Tudományos Csoportban (Cheops Science Team) továbbra is ő a magyar képviselő. Attila korán megkezdte a Svájc felé történő orientálódást, előbb SciEx kutatócsere-programban töltött egy évet a Berni Egyetemen, majd ott maradt, jelenleg pedig



2017. január 9.: elkészültek és szállításra készek a Cheops FPA és FEE hűtő radiátorai (fotó: Admatis Kft.)



A Cheops mérnöki csapata a Konkoly Obszervatórium normafai telephelyén (2016. április 20–21).

Cheops Fellow-ként a legszűkebb Cheops-működtető csapat tagja. Mi hárman voltunk kezdetől fogva benne a Cheops-szal kapcsolat hazai aktivitásban, amihez az évek során kisebb-nagyobb mértékben sokan csatlakoztak (pl. Szabó Róbert, Derekas Aliz, Dobos Vera, Boldog Ádám, Bódi Attila).

Amikor 2012 végén először beszéltem Willy Benz-zel, egyből kiderült, hogy az Admatis-féle radiátoros történet mellett tudományosan is szerencsénk volt: mi már évek óta intenzíven dolgoztunk az exoholdak kimutatási lehetőségein, fontos cikket publikáltunk vezető szakfolyóiratokban, míg a Cheops csapatában ez a terület teljesen gazdátlanul hevert a virtuális parlagon. Így egyértelmű volt, hogy a Cheops tudományos programjának részletes kidolgozásában ez a terület lehet a miénk.

Az ESA a Cheops konzorcium számára 2013 novemberét tűzte ki a Definition Study Report (ESA-szövegben a „red book”) elkészítési határidejéül. Ez volt az a dokumentum, ami 105 oldalon részletesen bemutatta, hogy hogyan és mire kívánjuk használni a Cheopsot 3,5 évre tervezett működése során.

A dokumentumban hat nagy fejezetben írtuk le a Cheops tudományos célkitűzéseit, a pontos követelményeket, a hasznos teher részleteit (távcső, CCD, elektronika, tubus, elektronikák, tömeg és elektronos teljesítmény stb.), a küldetés tervezetét (pálya, adatgyűjtés, koordinálás), a földi kiszolgáló szegmenst és a konzorcium működését irányító menedzsmentet. A végső zöld fényt az ESA döntéshozói 2014 tavaszán hozták meg a „red book” alapján (noha valójában senki nem gondolta, hogy egyetlen projektként bárki is leállítaná az előkészületeket), ezért ez az irat nagyon fontos mérföldkő volt az űrtávcső el(ő)készítésében. Az exoholdas alfejezetet mi írtuk Gyulával, így kezdetől fogva valódi együttműködés alakult ki.

Miközben a tervezőmérnökök terveztek, a gyártó laboratóriumok gyártottak, az adminisztrátorok pedig adminisztráltak, addig a tudományos csapat teljes gözzel dolgozott a Cheops várható teljesítménye mellett a tudományos értékek maximalizálásán. Nagyon fontos eleme az előkészítésnek az adatszimulátor: a CHEOPS Simulator (CHEOPSim) fejlesztéséért felelős intézmény

a Genfi Obszervatórium volt, ahol kidolgozták azt a lehető legtöbb effektust figyelembe venni képes szoftverrendszert, amelynek végterméke szimulált CCD-képek sorozata. Ebben a szimulátorba javasoltuk beépíteni az exoholdas exobolygók tranzitjait, amit végül is Simon Attila közreműködésével meg is tettek. Ezt megelőzően be kellett mutatnunk az exoholdak különböző detektálási módszereit a Cheops várható pontossága, időbeli mintavételezése, lehetséges megfigyelési időtartamai függvényében, illetve ki kellett dolgoznunk egy megfigyelési stratégiát a potenciális exoholdas rendszerek optimális mérési érdekében. Munkáinkból időnként szakcikkekkel írtunk (pl. Simon, Szabó, Kiss, Fortier & Benz, 2015, PASP, 127, 1084), ám az idő nagy részében beszámolókat, szoftvereket és szoftverdokumentációkat készítettünk, amelyek a tudományetria szempontjából láthatatlan termékek, a projekt előrehaladásához viszont nélkülözhetetlenek.

A 2017-re tervezett indulás felé haladva a Tudományos Csoport munkája egyre intenzívebbé vált. A Didier Queloz által vezetett Science Team feladata annak meghatározása, hogy mikor hova nézzen az űrtávcső. A csoport negyedévente találkozik a tudományos program véglegesítéséhez, további finomításához szükséges megbeszélésekre. A Cheops tudományos programját „alulról jövő” kezdeményezésben, a Science Teamen belüli projektpályázatokkal indították, majd a projekteket a csoporton belül bírálták és öt témába szerkesztették. Az objektumlistákat az adott projekthez illesztik, az új felfedezések fényében folyamatosan frissítik, és objektumként meghatározzák a prioritásokat (vagyis hogy mennyire szeretnék, hogy az adott rendszert a Cheops ténylegesen megfigyelje).

Az objektumok szerkesztése, az észlelési körülmények meghatározása önálló feladat, amit kötelezően egy másik kutató végez, mint aki a kutatási javaslatot jegyzi. Ezzel növekszik az objektivitás, és egy-egy célpont-hoz, konkrét kérdéshez már az előkészítő szakaszban elég sok szakértő be tud

kapcsolódni. Így lett Szabó M. Gyula az élről látható törmelék-korongos rendszerekben a korong csomósodásainak tranzitjait kereső program szerkesztője, a Párizsi Obszervatórium kutatóinak javaslata alapján. Az általunk javasolt exoholdas célpontokat pedig a párizsi Institut de Physique du Globe (IPGP) kutatói stábjába szerkesztte. Szintén a tématerülethez tartozik a tranzit-időpont-változások vizsgálata, amit a közéleti érdeklőségeinek összegyűjtő tématerületi csoporton belüli olasz kutatócsoport koordinál, így erre is közvetlen rálátásunk, illetve jelentős együttműködési lehetőségünk van. Az objektumlistákat végül összerakjuk a vendégkutatói pályázatok listáival, mindezt szoftveresen optimalizálják, figyelve arra, hogy a témacsoportok arányos távcsőidőt kapjanak.

2020. április 6–8. között immáron a tizenhetedik Science Team-megbeszélés történt, a koronavírus miatt először a projekt történetében videokonferenciás megoldással, távoli részvételekkel. Szabó M. Gyula a Science Team-megbeszéléseken szinte hiánytalanul részt vett idáig, így elképzelhető, kicsoda aktív feladat folyamatában követni és frissíteni a közvetlen célokat.

2012 óta nagyon sokat fejlődött az exobolygók kutatása, ma már valójában egészen mások az elérhető és izgalmas célok, mint azt hét-nyolc évvel ezelőtt látni lehetett. Azt kezdetől fogva jól gondoltuk, hogy a Cheops a NASA TESS-űrtávcsőve mellett kiváló nyomon követő („follow-up”) űrteleszkóp lesz – bár többet csúsztunk a Cheops indításával, mint az amerikaiak a TESS-kilövésével (mindkettőt 2017-re tervezték először; a TESS 2018 nyarára csúszott, a Cheops pedig 2019 legvégére), de legalább jobban értjük a TESS adatait és felfedezéseit. Ugyanakkor a vörös törpecsillagok bolygó-rendszerei, a Kepler végső bolygóstatistikái, az elmúlt öt évben felfedezett új exobolygók folyamatosan módosítják a szakma által érdekesnek és/vagy fontosnak érzett kutatásokat. Ezekhez minden űrprogramnak adaptálódnia kell, s a Cheops-csapat ebben szerintem kimondottan jó.

Három dolog, ami egy űrtávcsőhöz kell: pénz, pénz és pénz

Üzleti titkok megsértése nélkül próbáljunk meg beszélni egy kicsit a piszkos pénzügyekről. Mi kerül egy nagyobb mosógép méretével összevethető műholdon és programján 105 millió euróba? Hogyan lehet forrásokat találni az itthoni környezetben egy ilyen nemzetközi együttműködésre?

A Cheops alapvetően az ESA és a svájci nemzeti űrügynökség által vállalt 50–50 millióból, illetve a jelentősen kisebb további nemzeti (általában kormánydöntésekkel biztosított) vállalásokból épült meg. Nincs egy darab "Cheops bankszámla" a Berni Egyetem kiszolgáló svájci bankban, ahová mindenki befizeti a saját vállalatát, hanem mindenki nemzeti eljárásrendben elvégzi a rá kirótt feladatot (a költségek függvényében ez lehet ESA által levezényelt közbeszerzés), majd a feladat eredményét a Berni Egyetem rendelkezésére bocsátja. Hardverelemek esetén ez konkrét „vas”, ami speciális konténerben egyszer csak megérkezik, szoftverek, egyéb know-how esetén pedig virtuálisan, a lehető legrészletesebben ledokumentáltan kapja meg a terméket a konzorciumvezető.

Úrbe helyezni eszközöket drága. Ennek elsődleges oka a műszerek, alkatrészek elvárt magasabb tűrőképessége (amit ki kell bírni: vákuum, nagy hőmérséklet-tartomány, erőteljes részecske- és elektromágneses sugárzások, az indítás mechanikai terhelése, gyorsulások és rázkódások). Szintén hatalmas költségnövelő tényező a pályára állítás: a Cheops fellövése magában több tízmillió euróba került. És hát ne felejtjük el, hogy az űrpar az egyik legmagasabb hozzáadott értéket termelő gazdasági tevékenység, ennek megfelelően a magasán képzett mérnököket nagyon jól meg kell fizetni, hogy fura csillagászok fantazmagóriáit kielégítő eszközökön dolgozzanak.

A magyar hozzájárulás kapcsán a már említett ESA PECS-program támogatása volt jelentős, elsődlegesen az Admatis Kft. oldalán, hozzávetőlegesen (néhány) száz ezer eurós nagyságrendű forrásokkal. A Konkoly Observatórium csapata még a

korai fázisokban (2013–14-ben) kapott egyszer 50 ezer eurós ESA PECS-támogatást, amivel megvalósíthatósági tanulmányokat folytattunk a Cheops és az exoholdak témájában. Az akadémiai állásokon alkalmazott kutatók számára a legnagyobb költséget sokáig a konzorciumi megbeszéléseken való részvétel kiadásai jelentették. Szerencsére egy tudományos kutató fő tevékenysége nyugodtan lehet egy projekt megvalósításán dolgozni, ilyenkor a más forrásból, pl. akadémiai költségvetésből fizetett bére közvetlen költségként jelenik meg a projekt teljes kiadási oldalán.

Esetünkben a Lendület-projektem 2014 végéig fedezte nagyjából a tudományos előkészítő munka költségeit, a PECS-forrás pedig a hiányzó fedezetet biztosította. A cikk elején említett TÁMOP (pontosabban KTIA_AIK_12) pályázatot beadtuk 2012 végén, 200 millió forintot meghaladó költségvetéssel, ám a projekt elvérzett, nem kaptunk támogatást (a személyes történeti érdekesség kedvéért hadd jegyezzem meg, hogy több mint húsz év (!) sikersorozata után ez volt az első sikertelen pályázatom Magyarországon). Több alkalommal próbálkoztunk alapkutatást finanszírozó pályázatokkal (OTKA), ám mindig az jött vissza, hogy a bírálók túl nagy kockázatúnak ítélték egy felbocsátás előtti űrtávcső jövőben megszülető adataira alapuló projekt támogatását („mi van, ha felrobban a rakéta?”). Néhány éven keresztül az MTA pályázati előkészítést támogató forrásai adták meg a szükséges útiköltségek fedezetét, míg végül 2019-ben Szabó M. Gyula vezetésével és az MTA támogatásával elindulhatott egy ötéves exobolygós kutatási program az ELTE GAO MKK-ban, aminek a Cheops az egyik fontos műszere lesz. A Konkoly Observatóriumban dolgozó kutatók támogatása továbbra is nyitott kérdés, jelen sorok írásakor zajlik egy újabb OTKA-pályázatunk bírálati folyamata, eredmény talán idén nyáron várható.

Szóval a lényeg, hogy a forrásokért folyó küzdelem sok kitartást és adott esetben financiai kreativitást igényel, ám a vég-

eredmény jó esetben igazolja az erőfeszítéseket. Érdemes hozzátenni, hogy más országokban ugyanilyen nehéz a kutatók élete, a kutatásfinanszírozás forrásokból mindenütt nehézkes, bizonytalan és kiszámíthatatlan 4–5 éven túlnyúló távlatban.

A konzorcium felépítése és működése

Tizenegy ország kutatóhelyei és űrpari cégei dolgoztak együtt a Cheops megvalósításán. Egy ekkora szerveződés hatékony irányításához nélkülözhetetlen egy jól felépített szervezeti struktúra, a feladatok leosztása és összehangolása. Svájc, Ausztria, Belgium, Németország, Magyarország, Olaszország, Franciaország, Portugália, Svédország, Nagy-Britannia és Spanyolország kutatói és ipari szereplői mellett az ESA technikai személyzete is végig fontos szerepet játszott, így a különböző mentalitású és munkamorálú résztvevők egyben tartása Willy Benz személyes hitvallása szerint a Cheops-csapat egyik legnagyobb sikere. A Berni Egyetem a Cheops központja, a Genfi Observatórium pedig a másik erős svájci

tartóoszlop. A stratégiai döntések minden egyes esetben testületi döntések, ezekhez a Tudományos Tanács (Science Board) és Tudományos Csoport (Science Team) a konzultációk helyszíne. A tudományos programot munkacsoportok (Working Group) hajtják végre, melyek vezetői jellemzően a Science Team tagjai közül kerülnek ki.

A munkacsoportok szintjén a feladatok heti rendszerességgel telekonferenciákon egyeztetik, írásos emlékeztetőkkel, weben szerkeszthető megosztott dokumentumok tömegeivel. Ilyen intenzitású elektronikus kommunikációt képtelenség lenne pusztán emailekkel összefogni, ezért internetes projektmenedzsment-rendszereket használunk a feladatok nyomkövetésére (kulcsszavak: redmine, plone, alfresco). Röviden: a nagy nemzetközi együttműködésekben folytatott kutatómunka nagyon más kihívásokkal jár, mint amit megszoktunk a kisebb kutatócsoportok tevékenységében. A több ezer szerzős cikkeket publikáló részecskefizikusok már régen belejöttek a kihívások kezelésébe, míg a csillagászatban – néhány kivételtől



A Cheops Science Team látogatása az ESA ESTEC-ben (Noordwijk, Hollandia) 2018. szeptemberben. A kép bal oldalán az összeszerelt Cheops (fotó: ESA)

eltekintve – csak az utóbbi 10–15 évben kezdtek jobban elterjedni az ilyen volumenű projektek. A Cheops projektmenedzsmenetet dicséri, hogy viszonylag könnyen átlátható rendszert sikerült kialakítani.

A Cheops adatai egyébként egy év után publikussá válnak, addig kizárólag a konzorcium tagjai férhetnek hozzá a fő megfigyelési program során gyűjtött mérésekhez. Lesz vendégészlelői program is, amire elvileg bárki pályázhat a világból. A lényegében kezdettől datálható konzorciumi részvételünk eredménye, hogy minden adatot azonnal látunk mi is, illetve hogy a Science Board és Science Team összes tagja társszerzőként szerepelni fog a konzorcium mindegyik Cheops-cikkében.

És végre a nagy pillanat, az indítás!

2017 közepe óta tudtuk, hogy a Cheops indítása csúszni fog. Az űrtávcső viszonylag ritkábban igénybe vett poláris napszinkron pályán kering 670 km-es magasságban, folyamatosan a nappalt és éjszakát elválasztó terminátor vonalán. A platform és hasz-



Boldog magyarok Kourou-ban. Balról jobbra: Simon Attila, Kiss László, Bárczy Tamás és Boldog Ádám. A háttérben egy Ariane 5 rakéta



A 2019. december 17-i indulásra érkezett ESA VIP-csapat. Háttérben a Szojuz rakéta a védőépületben (fotó: ESA)

nos teher együttes tömege nem haladta meg a 300 kg-ot, ezért önálló indításról soha nem volt szó, a terv mindig is más műhoddal együtt fellövés volt. Willy Benz több indító céggel tárgyalt éveken keresztül, végül az orosz Szojuz-Fregat hordozóra esett a választás. 2018 közepétől a terv 2019 őszé volt, ami aztán több halasztás után csúszott el 2019. december 17-re.

A Cheops Tudományos Tanács tagjaként automatikusan felkerültem a Kourou-ból (Francia-Guyana) tervezett indításra meghívott konzorciumi képviselők közé. Szállításunkról ESA-különgép gondoskodott Párizs és Dél-Amerika között. Meghívást kapott még Bárczy Tamás, aki az Admatis ügyvezetőjeként szintén a Tudományos

Tanács tagja, illetve Magyarország fejkvótaként további három főt elvihetett volna (saját költségen) a kourou-i űrkikötőbe. Boldog Ádám, a Konkoly Observatórium tudományos segédmunkatársa így jutott el velünk egyidőben Dél-Amerikába, más viszont már nem fért bele a költségkeretünkbe.

Az indításról röviden már beszámoltam a Meteor 2020. februári számában (32. o.), itt most csak annyiban idézném fel a december 17-i, majd a technikai problémák miatt december 18-ára csúszott hajnali történéseket, hogy hihetetlen élmény volt személyesen részt venni a eseményen. Eleve ott értettem meg, hogy mi következik a terminátoron húzódó poláris pályából: már az indításnak is definíció szerint a terminátor közelében kellett bekövetkezni és emiatt volt mindössze 5 perc széles a reggeli, napkelte előtt kb. fél órával megnyíló indítási ablak. Szintén geometriai követelmény volt a reggeli indítás: ekkor lehetett észak felé, azaz a nyílt óceán irányába küldeni a rakétát; esti indításkor dél felé kellett volna irányítani, ott viszont Dél-Amerika lakott(abb) területei felett húzódott volna a pályáív, ami túl nagy kockázat az esetleges kudarc esetére.

Az űrkikötő Jupiter-terméből követve tapintani lehetett a feszültséget a levegőben, hiszen rengeteg ember sokévi munkája testesült meg a Szojuz-Fregat hordozórakétán helyet kapott öt műholdban. (A rakéta további „utasai” az olasz COSMO-SkyMed radaros műholdrendszer második generációs tagjainak első elkészült példánya (CSG-1) és három CubeSat műhold voltak.) A december 17-i leállított indítás alatt vágott igazán belém a felismerés, hogy mennyi minden múlik azon, hogy sikerrel elindul-e a rakéta, megfelelő pályára kerülnek-e az egységek és a végső pályát elérve tényleg minden működjön is rendben. Hiába volt már globálisan több ezer indítás az elmúlt évtizedekben, egyáltalán nem hétköznapi rutin felküdenni valamit Föld körüli pályára, esetleg ki a bolygóközi térbe. A kourou-i űrkikötőben a Cheops és társai indítása volt az év utolsó felbocsátása, mindösszesen a kilencedik indítás 2019-ben. Nem véletlen,



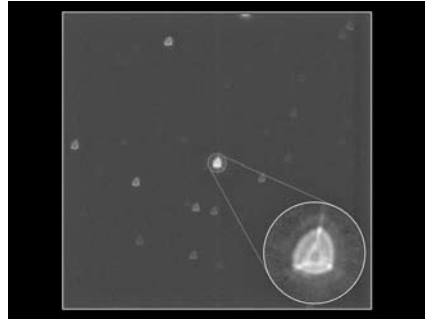
„Ott repül!” (Fotó: Julio Aprea)

hogy az öt felküldött műhold csapatai mellett az ESA tudományos igazgatója, az ESA Tudományos Program volt és jelenlegi vezetői is mind részt vettek, illetve háromórás sajtónyilvános esemény keretében élőben közvetítették és kommentálták az eseményeket.

A mérnöki tesztfázis és az első tudományos eredmények: 2020 tavasz

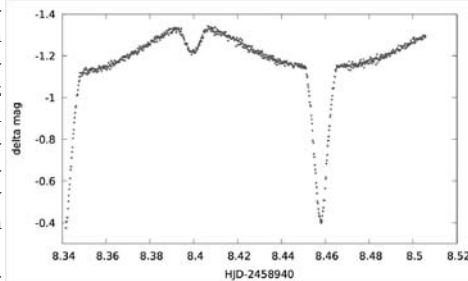
Az indítás után azonnal biztonsági üzemmódban kikapcsolták a Cheops fedélzeti egységeit, és mindenki elment karácsony-évvégi szabadságra. 2020. január 8-án a berna központ bekapcsolta a Cheops-ot, ezzel elindult az eredetileg március közepéig tartó mérnöki tesztelés („commissioning”). Az első hetekben a távcső tubusát lezáró kupak a helyén maradt, így belépő fény nélkül lehetett vizsgálni a CCD, a vezérlő elektronika, a telekommunikációs egységek, a fedélzeti állapotjelzők (pl. hőmérséklet) változásait. Január 9-én elkészült a Cheops CCD-kamerájának legelső teljes képe, egy sötétkép (dark frame), amin pár forró pixel-től eltekintve semmilyen struktúra nem látszott – ettől függetlenül végig visszahangozta a konzorcium belső levelezőlistáját az össz-európai megkönnyebült felsőhajtás. A következő fontos mérföldkő a tubus kinyitása volt, és talán nem kell nagyon részletezni, miért szerepelt sokak rémálmaiban egy elromlott tubusfedő miatt használhatatlan űrteleszkóp képe...

Szerencsére január 29-én, a reggeli órákban a tubusfedő is gond nélkül kinyílt és megkezdődhetek az igazi tesztmérések. Február 7-én készült el az első teljes kép csillagokkal és derült ki végre, mennyire élte túl az optikai rendszer az indítás rázkódásait. Mint a mellékelt felvétel is mutatja, a Cheops defókuszált képeket készít, ez azonban nem hiba, ezelve így lett megtervezve, fix fókuszhelyeztetéssel, enyhén szétkent csillagprofilokkal, mint kiderült a képek elemzéséből, az 1 ívmásodperc/pixel képskálájú CCD-n kb. 16 pixel átmérőjű, enyhén torzult alakzat a csillagok képe, ami nagyjából 10%-kal nagyobb, mint a földi laborban beállított



A Cheops első teljes képe. A csillagprofil jól láthatóan defókuszált és enyhén torzult (CHEOPS PR)

érték. Ez azonban nem érinti jelentősen a fotometriai pontosságot, amihez eleve kell a defókuszáltság. A sok pixelre szétkent csillagkép minimalizálja a távcső iránytartási pontatlanságainak hatásait (4"-en belül képes fixen maradni a teleszkóp irányzéka), illetve a pixelek nem egyenletes érzékenységből származó mérési hibák is jobban kiátlagolódnak.



A HW Virginis szűrő nélküli CCD-s fénygörbéje a piszkéstartói 1 m-es RCC-teleszkóppal, 2020. április 8-án (Seli Bálint – Kalup Csilla)

Mivel nincs GPS-vevő a műholdon, a fedélzeti óra pontosságát érdekes módon ellenőriztük: egy rövidperiódusú és éles minimumokat kirajzoló fénygörbéjű fedési változócsillagot a Cheops-szal közel egy időben földi obszervatóriumok is megmértek és a leghalványabb állapot időpontját összevetettük az űradatokból és a földi mérésekből. Ebben a kampányban február végétől április elejéig a Piszkéstartói Obszervatórium 1 m-es távcsöve és az ELTE GAO új, 80 cm-es robot-

távcsöve is részt vett, az adatoknak kb. felét mi magyarok szolgáltattuk. A HW Virginis jelzésű fedési kettőscsillag minimumidőpontjait 1 másodperces, vagy jobb pontossággal kimérve ki is derült, hogy a Cheops fedélzeti órája 5 másodperccel elcsúszott időpontokat mért, amit valójában szoftveres hiba okozott (az elmúlt évek szökőmásodperceit rosszul korrigálták egy korábbi állapotban véglegesített programkódban).



„Laci, szerinted jó lesz ez?” „Gyula, minden bizonyos!” (Szabó M. Gyula (j1) és Kiss László (j2) a noordwijk-i ESTEC-ben) (Fotó: ESA)

Jelen sorok írásakor (április 13/14.) egyelőre még véglegesítjük az első Cheops tudományos sajtóközleményt, így nem áll módomban konkrét eredményeket bemutatni. Anyit már nyugodtan ki lehet jelenteni, hogy a Cheops a terveknek megfelelő pontosságot képes elérni, így a következő években lesz sok dolgunk az űrből érkező exobolygó-fénygörbékkel. A Cheops legfőbb előnye, hogy szinte bárhova irányítható

az égen, így bármikor lehet módosítani a célpontjain, azaz jöhetnek újabb egzotikus felfedezések más programoktól, a Cheops nagyon unikális adatokat lesz képes szállítani de facto azonnal.

Általános következtetések

Az ezekben a hetekben éppen nyolc éves történet számomra nagyon sok tanulsággal szolgált. A legfontosabb talán az, hogy a tudományban soha nincsenek előre lejátszott meccsek, minden lehetőséget meg lehet és meg kell ragadni az együttműködések továbbfejlesztésére. Igen, elindultunk a PlaVi-val, aztán az ESA döntéséhez alkalmazkodva, az addig összegyűjtött tapasztalatainkkal hasznos tagokká válhattunk a Cheopsban is. Ha nem keresem meg 2012 novemberében személyesen Willy Benz, talán soha nem derült volna ki, hogy az Admatis képességei tökéletesen illeszkednek a Cheops egyik hiányzó részeleméhez. Ezek az információk nem terjednek nyilvánosan, egyszerűen szükséges az informális csatornák ismerete és használata.

Szintén nagyon sokat tanultam az űrprogramok tervezéséről, működéséről, az ESA belső folyamatairól és eljárásairól. Végigkövethettem egy ötlet (ESA S-misszió) megvalósulását, beleláthattam az európai szakmai közösség egyébként nem látszó belső viszonyaiba és lelkes munkatársaimmal, barátaimmal, illetve ipari partnerünkkel képesek voltunk elérni, hogy legyen egy akármilyen kis százalékban is (kb. 1%), de mégis részben magyar űrtávcső. Mint írtam, a Cheops Science Team-et a Nobel-díjas Didier Queloz vezeti, így a nemzetközi elvonalhoz tartozás garantált. Ha volt valami értelme a 2009-ben exobolygós kutatócsoport létrehozására elnyert Lendület-pályázatnak, akkor ezek így együtt biztosan megtestesítik a kiíró egykori szándékait.

A háttérben pedig felkészülnek a PLATO (2026) és az ARIEL (2028) exobolygós űrtávcsövek magyar csapatai. De azokat a történeteket már nem én fogom megírni.

Kiss László