

A műholdseregek már a spájzban vannak

„Mintha az egész bolygón fémkupola alatt zajlott volna az élet.”

Asimov: Alapítvány

Gyerekkoromban (majd később is) lelkesen olvastam Isaac Asimov Alapítvány-trilógiáját, amiben többek között a bolygó élete már teljesen kupolák alatt zajlik, és liffel kell felmenni, ha valaki a valódi égboltot is látni szeretné. Akkor még kimehettem az alföldi udvarunkra, és megcsodálhattam a háborítatlan égboltot. Ez az élmény meghatározó volt további életem szempontjából is. Közel fél évszázad alatt a fantasztikumból sok minden megvalósult. Habár nem épültek még fémkupolák a fejünk fölé, de sajnos valami hasonló már megvalósulni látszik.

2021. október 3–7. között zajlott a „Sötét és csendes égbolt a tudomány és a társadalom szolgálatában (Dark & Quiet Space for Science and Society)” online konferencia. A rendezvény fő szervezői az ENSZ Világűr Hivatala és a Nemzetközi Csillagászat Unió – ami jelzi, hogy kellően magas szinten foglalkoznak ezzel a problémával. Ha nem történt volna éppen vulkánkitörés La Palma szigetén, akkor részben személyes jelenléttel zajlott volna a konferencia, de ez meghiúsult.

Végighallgattam az öt nap előadásait – boldogabb nem lettem tőle. Ahogy az egyik kommentelő fogalmazott, a technológia sokkal gyorsabban fejlődik, mint a jogi szabályozás. Szabályozás híján pedig sok projekt a környezetünket teszi tönkre – ahol a hagyományos értelemben vett környezetet ki kell terjesztenünk a bioszférán kívülre is. Eredendően a cél az lenne, hogy olyan javaslatok szülessenek, amelyekkel megakadályozhatók, elkerülhetők lennének a sok szempontból szerencsétlen megoldások. Azonban ezen a konferencián többnyire hangsúlyosabban szerepelt az, miként lehet

(majd) együtt élni a megvalósuló rosszal. Ezt jól szemlélteti, hogy több előadás is a tervezett programokról, központokról szólt, amelyek azt segítik majd, hogy a műholdak helyzete, fényessége jobban előrejelezhető legyen, segítve a csillagászati mérések tervezését és feldolgozását.

Két teljes napot szenteltek a hagyományos értelemben vett fényszennyezésre, két nap a műholdseregekkel kapcsolatos információkról szólt, az utolsó nap első felére a rádiócsillagászat problémái jutottak, és ezt követte a teljes téma összefoglalása.

Fényszennyezés terén sok újat már nem lehet elmondani – főként az ismert tényeket hangsúlyozták. A mostani esemény egy sorozat második konferenciája volt. Egy évvel ezelőtt azonos címmel zajlott már egy online konferencia, aminek a javaslatai egy külön kötetben is megjelentek. Az előkészítésben akkor én is szerepeltem, az Optikai Csillagászat Munkacsoport tagjaként. Számunkra fontos eredmény volt, hogy az általunk javasolt metrika bekerült az égbolt mérésével kapcsolatos ajánlásba. A mostani konferencián a munkacsoportok vezetői adták a bevezető előadások zömét, összefoglalva a lényegét és az elmúlt év újdonságait. A fényszennyezés kapcsán nem győzték hangsúlyozni a világítás kék komponenséből eredő problémákat. Ökológiai, biológiai és egészségügyi szempontból ez fordult elő a leghangsúlyosabban. Konszenzus alakult ki arról is, hogy a világítás kék komponense határozott egészségügyi kockázatot jelent. Jó lenne, ha tudnák ezt azok is, akik például a kaposvári Esterházy gyaloghíd világítását tervezték.

„Ha a világítás környezeti hatását egy bizonyos fajnál még nem dokumentálták, annak a valószínű oka az, hogy még nem vizsgálták. Minden esetben, ha egy kutatást elvégeztek, a hatást kimutatták”. Talán ez az idézet jelzi azt, hogy méltatlanul elhanya-

golt kérdés a fényszennyezés káros környezeti hatása. A téma kutatói abban is egyetértenek, hogy a rovarok eltűnésének oka jelentős mértékben a mesterséges fény, elsősorban a rossz világítás. A LED-ek fejlődése egyre olcsóbbá teszi a fény termelését, több vélemény szerint is ennek következtében jelenleg exponenciálisan növekszik a kibocsátott fény mennyisége, és ez kifejezetten igaz a különösen káros kék komponensre.

Sok év telt el azóta, hogy a csillagászati megfigyelésekre igazán alkalmas égboltra meghatároztak egy kritériumot. Ez alapján a zenitől 45 fokra az égbolt mesterséges fényessége nem lehet nagyobb, mint a ter-

talán egyáltalán nincs már ilyen hely a földfelszínen. Alacsony Föld körüli pályán (LEO: Low Earth Orbit) ugyanis nem csak a működő műholdak keringenek, hanem óriási mennyiségű törmelék is. Csak az 1 centiméter körüli mérettartományban milliós darabszámmal kell számolni, a kisebb méretek felé pedig növekszik a számuk. Ezekből az adatokból kiindulva becsülték meg, hogy mennyi az az átlagos összes fényesség járuléka, ami LEO objektumoktól származik. Úgy tekinthetünk erre, mint a halvány csillagok összegzett fényességéből származó háttérre (a Tejút fénye is ilyen). Nagy látószögű fényességmérő eszközök ezt a háttér növe-



A fényszennyezés-felmérések kapcsán rendszeresen készítünk nagy látószögű felvételeket érzékeny kamerákkal. Ma már a képek jó részén találunk műholdakat. Az itt látható kép ISO 6400 érzékenységgel, $f/1,4$ fényerővel készült egy 24 mm-es optikával 6 másodperc alatt. A fotó felénél valamivel kisebb kivágaton kilenc műhold látszik egyszerre, a másik felén is van még kettő. A felvétel bal alsó sarkában a fényes Arcturus, jobb oldalon pedig a Göncöl rúdja jól azonosítható (Kolláth Zoltán felvétele)

mészetes égi háttér tíz százaléka. Elsőre ez nem tűnik túl szigorú megkötésnek, de Európa szinte teljes területén már csak elvétve találunk ilyen helyeket (és ebben nincs hazai helyszín). A műholdak s az űrszemét kapcsán vetődött fel az, hogy

kedésének jeleznék, és a jelenlegi becslés szerint különösen a csillagászati éjszaka elején és végén ez már kiteszi a 10%-ot. Már elvesztettünk valamit a csillagos égboltból, pedig jószerint még csak a spájzban vannak a műholdseregek...

meteor

2019-ben már 32 szervezet, cég tervezett alacsony Föld körüli pályára állítani műholdakat, jelenleg a megcélzott mennyiség eléri a százezer darabot. Ma már nem kérdéses, hogy a műholdseregek, a műhold megakonstellációk negatív hatással lesznek a megfigyelő csillagászatra. És itt nem csak a földfelszíni megfigyelésekre kell gondolni, hiszen több olyan űrteleszkóp van, amelyek maguk is alacsony pályán keringenek és látómezőjükbe bekerül a többi keringő objektum. A műholdseregek fényességeloszlásáról is műholdas mérések (pl. a kanadai NEOSAT adatai) alapján vannak a legpontosabb adatok. A légkörön kívüli megfigyelőeszközök közül a kárvallottak között van pl. ami a Földre potenciális veszélyt jelentő kisbolygókat keresi.

A műholdseregekkel foglalkozó munkacsoport fő célkitűzései között szerepel egy olyan központ létrehozása (SatHub), amely koordinálja a műholdseregek megfigyelését, az oktatást, ismeretterjesztést és azt, hogy összhangba hozza az együttműködést az összes érdekelt között – beleértve a műholdak üzemeltetőit is –, hogy elősegítse a pontos előrejelzéseket. Szükség van egy olyan központi adatbázisra és webes szolgáltatásra, ami mindenki számára elérhető, és segít abban, hogy olyan mérési ablakokat találjunk, ahol kevésbé zavarnak a műholdak, illetve a műholdak nyomai könnyen kiszűrhetők legyenek. A támogatott programok között szerepel „közösségi kutatás” (civil science), pl. azzal, hogy asztrofotósok is feltölthetnek majd olyan képeket, amin műholdak szerepelnek (persze megfelelő kiegészítő adatokkal), de akár szabadszemes megfigyelések is bekerülhetnek az adatbázisba. Érdekes lehetőség lesz ez majd mindenkinek, de azért ne feledjük el, hogy valami nehezen elkerülhető rossz következményeit próbáljuk ezzel enyhíteni.

Természetesen a megelőzés is fontos lenne. Hosszasan elmélkedtek a jogi szabályozás lehetőségein. Persze nem egyszerű a helyzet. Szigorúbb nemzetközi szabályozásra lenne szükség, de az érdekelt országok törvénykezéseinek is összhangban kellene lenni

mindezzel. Jelenleg a fő probléma az, hogy egy országon belül engedélyezhetnek egy projektet úgy, hogy nem veszik figyelembe a csillagászati megfigyelések érdekeit, és utána más országok kutatói is kárvallottjai az „eredménynek”.

A jelenlegi javaslatok szerint a műholdseregeknek alacsony (600 km alatti) pályán kellene maradniuk, maximum 7 magnitúdós fényességgel. Az alacsony pálya segít abban, hogy a csillagászati szűrőket után gyorsan árnyékba kerüljenek a napfényt reflektáló objektumok, a megadott határfényesség pedig csak annyit tesz, hogy szabadszemmel láthatatlanok maradnak. Persze ez még nem jelent igazi megoldást... Sajnos nem is igazán teljesült akkor sem, amikor az eredeti Starlink műholdak sötétebb verziói (Visorsat) pályára kerültek. Ezek is fényesebbek 7 magnitúdónál, a medián fényességük 6,5 magnitúdó.

A magassági határral is gondok vannak. A brit Oneweb eddig 321 műholdat állított 1200 km-es pályára – a terve közel 7000 darab. Habár ezek valamivel halványabbak, de a nyári időszakban egy részük folyamatosan látható lesz.

Az előadások jelentős része foglalkozott azzal, hogy mire számíthatunk a LEO műholdseregek látható térbeli- és fényességeloszlásával, valamekkora látószög és expozíciós idő esetén hány műholdra számíthatunk egy képen. Érdekes aspektusa volt ezeknek a modelleknek az, hogy a műholdak esetleges darabolódása esetén milyen mértékben romlana a helyzet. A sok apró törmelék jelentősen növelné a teljes fényességet. Habár ma még nem látszik annak az esélye, hogy egy űtközeési kaskád bekövetkezzen, említettek intő jeleket. A magasabb pályán keringő műholdak esetén már kell hogy legyen üzemanyag arra, hogy a működésképtelenné váló egyedeket letérítsék a pályáról, és azok a légkörben elégjenek. De az egyik előadó szerint nem igazán mérték fel annak a kockázatát, hogy a következő ciklusban éppen erősödő naptevékenység folyamán egy jelentősebb kitérés tönkretetheti a műholdak egy részének

kommunikációs vagy vezérlő elektronikáját, amivel megszűnik az irányított megsemmisítés lehetősége.

A rádiócsillagászat szempontjából még kritikusabbak a műholdszeregek, a gondok korábban is érződtek már. Az új-mexikói VLA rádiótávcső-hálózat 160 km-es körzetében tilos a műholdas telefonok használata. Ennek ellenére az Iridium rendszer szatellitái oda is besugároznak. A példaként bemutatott OH emisszió 1612 MHz-es felvételen normál esetben csak egy objektum látszik, de az irányától 22 fokra elvonuló műhold teljesen zajjá változtatta a képet. A jelenségért az antenna rossz tervezése a felelős: térben és frekvenciában is olyan oldalsávban sugároz, ami nem hasznosul, de zavart okoz. Furcsa állapot: az amerikai szabályozás megtiltja a telefonok használatát a területen, de ez nem vonatkozik a műhold okozta sugárzásra...

A rádiótávcsövekre csatlakozó detektorok szempontjából akár végzetes is lehet, ha egy erősebb nyaláb kerül a megfigyelési irányba. A kozmikus háttérsugárzás hőmérsékletének, szerkezetének meghatározására a 10–20 GHz-es sávot is használják. Tanulságos volt az az ábra, amely ebben a frekvenciatartományban mutatja az égboltot. Normál esetben a Nap lenne a legfényesebb forrás, de a geostacionárius pályán lévő műholdak rádiósugárzása „túlragyogja” azt. Az égbolt egy sávjában két tucatnyi forrás azonosítható – ez a terület nem használható a mérésekhez.

Sorolhatnánk a létező problémákat a rádiócsend hiányáról, de bemutatnak néhány olyan elképzelést, amelyek mindenben túlmutatnak. Egy névtelen adakozó százmillió dollárt juttatott a Kaliforniai Műszaki Egyetemnek (Caltech), abból a célból, hogy kidolgozzanak egy rendszert, amivel a világhírben begyűjtött napenergiát a Földre

sugározzák. Az elgondolás szerint 100 km²-nyi napelempanelt juttatnának Föld körüli pályára, a begyűjtött energiát pedig mikrohullámú rádiósugárzás formájában „lőnék” le a felszínre. Csak a rádiósugárzó antenna is 1 négyzetkilométer méretű lenne, főleg azért, hogy jól irányítható legyen a nyaláb. Ha megvalósul, több szempontból is katasztrofális lesz. A nyalábban gyakorlatilag a mikrohullámú sütő belsejének megfelelő állapotok lennének, ami az átrepülő madaraknak is végzetes.

Voltak persze pozitív eredmények is – például a rádiócsillagászati frekvenciákat elosztó tudományos bizottságnak sikerült megállapodni az Európai Űrügynökséggel, ami megakadályozza, hogy felhő szerkezeteket mérő 94 GHz-es radarjel károsítsa a rádiótávcsövek vevőit. Több szervezet több éves együttműködésére, a radarantennák teljes áttervezésére volt ehhez szükség.

Néhány oldalban nem lehet leírni mindent, ami elhangzott a konferencián. Asimov és kortársai fantasztikumából kezd sok minden megvalósulni, de nem úgy, ahogy igazán szeretnénk volna. A konferencia összefoglalásában sok negatív tendenciát felsoroltam, de az előadók egyik célja is az volt, hogy minél több problémát bemutassanak, hiszen a folytatásban konkrét ajánlásoknak kell születniük, megfelelő megalapozottsággal. Ebből a szempontból is eredményesnek mondható a konferencia. Csak bizhatunk abban, hogy az ENSZ és a Nemzetközi Csillagászati Unió égisze alatt megjelenő javaslatok előbb-utóbb értő fülekbe jutnak, és elindul valami előremutató a törvénykezés kapcsán is. Végezetül egy rövid idézet az egyik előadótól: „Tudni sem fogjuk, mi az, amit nem fedezünk fel a műholdak miatt.”

Kolláth Zoltán